Cambio Climático en México:
un enfoque costero y marino

Evelia Rivera-Arriaga,
Isaac Azuz-Adeath,
Leticia Alpuche Gual y
Guillermo J. Villalobos-Zapata

Editores

Cambio Climático en México: un Enfoque Costero y Marino

Evelia Rivera-Arriaga, Isaac Azuz-Adeath
Leticia Alpuche Gual y Guillermo J. Villalobos-Zapata

editores

2010

Cambio climático en México: un enfoque costero y marino

Rivera Arriaga, E., I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G. J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio climático en México: un enfoque costero y marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad. Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

© Universidad Autónoma de Campeche
© Cetys-Universidad
© Gobierno del Estado de Campeche

ISBN 978-607-7887-20-1 (versión impresa)
ISBN 978-607-7887-19-5 (versión electrónica)

Centro epomex, Universidad Autónoma de Campeche
Av. Austín Melgar s/n. Cd. Universitaria
Col. Lindavista. C.P. 24039
Campeche, Campeche. México
Tel: (981) 8119800 ext 62300
Fax: (981) 8119800 ext 62399
http://etzna.uacam.mx/epomex/epomex.html

Contenido

Presentación i

Prólogo v

Directorio de autores ix

► **Elementos ambientales para tomadores de decisiones**

La zona costera frente al cambio climático: vulnerabilidad de un sistema biocomplejo e implicaciones en el manejo costero
Alejandro Yáñez-Arancibia y John W. Day 3

Elementos oceánicos que impactan la hidrología costera
Orzo Sánchez Montante 23

Evidencias de cambios de largo plazo en algunas variables climáticas de los estados costeros de México
Isaac Azuz Adeath 33

Escurrimiento medio anual y disponibilidad de agua en la vertiente del Golfo de México
Gabriel Arcos Espinosa, Sergio B. Jiménez Hernández y Roberto Padilla-Hernández 61

Impactos del cambio climático en las regiones hidrológicas del Golfo de México
Jesús E. Ospina Noreña, Gerardo Sánchez Torres Esqueda y Cecilia Conde Álvarez 73

Problemática ambiental en la gestión costera-marina
Arturo Carranza Edwards, Ana Pilar Marín Guzmán y Leticia Rosales Hoz 89

Criterios para estimar la vulnerabilidad física de las costas de barrera ante los impactos hidrometeorológicos
Mario A. Ortiz Pérez, Irene Sommer Cervantes y Oralia Oropeza Orozco 101

La geomorfología como herramienta para el análisis de las formaciones costeras y sus alteraciones de largo plazo. Aplicación a la península de Yucatán
Gabriel Ruiz, Edgar Mendoza, Rodolfo Silva, Gregorio Posada e Ismael Mariño 125

Análisis de vulnerabilidad orientado a la gestión litoral a partir del uso de hábitat
Anamaría Escofet, Rosa Contreras y Alejandro Monti 159

Factores de riesgo para los arrecifes coralinos y sus mecanismos de respuesta ante los efectos del cambio climático global
Claudia Padilla Souza, Héctor Alafita-Vásquez y Erika Andreu-Montalvo 181

Vulnerabilidad costera: caso de estudio del sistema de humedales Marismas Nacionales
Guadalupe de la Lanza Espino, Juan Carlos Gómez Rojas, Manuel Blanco y Correa, Francisco Flores Verdugo y Salvador Hernández Pulido 205

Manglares frente al cambio climático: ¿tropicalización global del Golfo de México?
Alejandro Yáñez-Arancibia, John W. Day, Robert R. Twilley y Richard H Day 231

Cambio climático global, eventos extremos y biodiversidad costera de la península de Yucatán
Daniel Pech 263

Importancia de la diversidad y ecología marina microbiana en los ecosistemas marinos costeros
Maurilio Lara Flores 277

► **Economía y usos de espacios costeros y marinos**

Enfoques para contemplar el cambio climático
Miguel Angel Haces Zorrilla 291

Efectos sociales, económicos y políticos del cambio climático en las pesquerías mexicanas
L. Rafael Solana-Sansores 305

Una reflexión sobre el impacto del cambio climático en las actividades acuícolas costeras de México
Alejandro Flores Nava 319

Cambio climático y actividades agropecuarias y forestales en zonas costeras
Pilar Barradas M. 335

El turismo y el cambio climático
Isaac Azuz Adeath, Lidia Silva, Evelia Rivera-Arriaga, Alfredo Ortega y Juan Carlos Chávez 347

Cambio climático y turismo: visión general institucional
Ana Pricila Sosa Ferreira 361

La geometría humana del turismo y su relación con el cambio climático en el Caribe mexicano
Julia Fraga, Pricila Sosa y Leila Khafash 381

Las vías de comunicación y el transporte ante las amenazas del cambio climático y su impacto en el desarrollo regional de México
Juana Treviño Trujillo, Julio César Rolon Aguilar y Roberto Pichardo Ramírez 407

Los manglares de Yucatán y el cambio climático global
Jorge A. Herrera-Silveira, Arturo Zaldivar-Jimenez, Claudia Teutli-Hernandez, Rosela Pérez-Ceballos y Juan Caamal-Sosa 421

Las pesquerías y el cambio climático
Domingo Flores Hernández, Julia Ramos Miranda, Luis Amado Ayala Pérez y Atahualpa Sosa López 437

Cambio climático y el colapso de la pesquería de camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*) de la Sonda de Campeche
Francisco Arreguín-Sánchez 453

Efectos del cambio climático en la pesquería mexicana del atún del Pacífico
L. Rafael de J. Solana-Sansores y G.A. Compeán-Jiménez 465

Calamar gigante (*Dosidicus gigas*) y cambio climático: adaptaciones y vulnerabilidad
Gastón A. Bazzino Ferreri 473

Cambio climático en México: caso sardina
Daniel Lluch-Belda 483

Efectos del cambio climático en las poblaciones de ostión (*Crassostrea virginica*) de las lagunas costeras del Golfo de México
Víctor M. Zárate-Noble y L. Rafael Solana-Sansores 493

Efectos del cambio climático en las poblaciones de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*)
A. Anahí Rodríguez-Hernández, Salome Hernández Gonzáles y L. Rafael Solana-Sansores 499

Efectos ambientales sobre la pesquería del abulon en la península de Baja California
Daniel B. Lluch Cota y Salvador E. Lluch-Cota 505

Cambio climático y la pesquería de la almeja generosa (*Panopea spp*) en el Pacífico mexicano
Sergio Scarry González-Peláez y Daniel B. Luch-Cota 519

Ordenamiento ecológico territorial y desarrollo costero
Ileana Espejel, Oscar Delgado-González, Georges Seingier, Cuauhtémoc León, Fernando Rosete, M.C. Arredondo-García, Alejandro García-Gastelúm y José Luis Fermán-Almada 533

El imperativo de la incorporación del riesgo en la planeación y gestión de nuevas ciudades, un ejercicio analítico para un puerto por nacer
Ileana Espejel, Verónica Palacios-Chávez, Cuauhtémoc León, Carolina Nieves y Alejandro García-Gastelum 545

► Habitantes y patrimonio

El patrimonio inmueble costero en Campeche ante el cambio climático
Lorraine A. Williams-Beck, Armando Anaya Hernández, Orquídea Pérez Romero y Martha E. Arjona García 561

Valoración y gestión del riesgo por inundaciones en municipios costeros (Una aproximación con base en indicadores)
Dora María González Turrubiates 591

Evaluación de zonas inundables para la ciudad de San Francisco de Campeche
Gregorio Posada Vanegas y Beatriz Edith Vega Serratos 607

Condiciones socioeconómicas y vulnerabilidad de la península de Yucatán
Ana Pricila Sosa Ferreira 623

El patrimonio arqueológico en costas y mares de México ante el cambio climático
Helena Barba Meinecke, Belynda Díaz Fuentes y Pilar Luna Erreguerena 639

Las adaptaciones culturales en la prehistoria del noroeste de Baja California: inferencias arqueológicas ante el cambio climático
Carlos Figueroa Beltrán 655

Vulnerabilidad de las poblaciones costeras ante la peligrosidad natural, enfoque estatal y municipal
Georges Seingier, Ileana Espejel, José Luis Fermán y Oscar Delgado 669

Las Áreas Naturales Protegidas costeras y marinas de México ante el cambio climático
Juan E. Bezaury-Creel 689

► Gobernanza para el cambio climático

La gobernanza de las costas y océanos de México en un clima cambiante
Evelia Rivera Arriaga e Isaac A. Azuz Adeath 739

Cambio climático y gestión costera en España. Un análisis de instrumentos
J. Adolfo Chica Ruiz 773

Análisis de capacidad de gestión ambiental ante el cambio climático en instrumentos de planeación de la costa de Quintana Roo
Laura Elena Vidal Hernández 789

► Formación de recursos humanos

Tendencias mundiales de las nuevas carreras para el cambio climático
Norma Patricia Munoz S. y María Concepción Martínez R. 813

Educación ambiental en situación de cambio climático
Blanca Gutiérrez-Barba, Evelia Rivera-Arriaga, Leticia Alpuche Gual, Shafía Súcar, Felipe Reyes, Ricardo Torres, e Isaac Azuz-Adeath 823

► Indicadores para el cambio climático

Referentes internacionales sobre indicadores e índices. Historia y estado del arte
Isaac Azuz-Adeath, Ileana Espejel, Evelia Rivera-Arriaga, Jose Luis Ferman y Georges Seingier 845

Selección de índices sociales, económicos y ambientales para la construcción de modelos de evaluación y de monitoreo del contexto costero mexicano
Georges Seingier, Ileana Espejel y José Luis Fermán 859

Antecedentes del proceso de construcción de indicadores para la gestión costera y marina ante el cambio climático de la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino
Isaac Azuz-Adeath, José Luis Fermán, Ileana Espejel, Evelia Rivera-Arriaga, Georges Seingier y Cesar Vázquez González 873

Propuesta de indicadores de la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino
Isaac Azuz-Adeath, María Concepción Arredondo-García, Ileana Espejel, Evelia Rivera-Arriaga, Georges Seingier y Jose Luis Fermán 901

Presentación

El cambio climático es uno de los mayores retos que ha enfrentado la humanidad. Sus efectos están reflejándose ya en todos los niveles y sectores poniendo en riesgo la seguridad de las poblaciones más vulnerables, sobre todo las ubicadas en la zona costera de México.

Los estudios revelan cuando menos cambios importantes en la climatología y en el paisaje costero. La constatación de un incremento progresivo de las temperaturas o la amenaza de la elevación del nivel medio del mar y del número, frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos nos obligan a reflexionar, a prestar especial atención a las fórmulas de crecimiento y desarrollo y a poner todos los medios a nuestro alcance para frenar los efectos negativos del cambio climático.

Los poderes públicos, cada uno en el ámbito de sus competencias, tenemos la responsabilidad de garantizar un crecimiento próspero pero especialmente cuidadoso con el medio ambiente. El cumplimiento del Protocolo de Kyoto, implantar la Estrategia Nacional de Cambio Climático y diseñar las estrategias adecuadas para cada estado costero, constituyen en este momento un reto ambicioso que requiere esfuerzo adicional por parte de todos.

El desarrollo tecnológico, el progreso de nuestras empresas, la mejora de los transportes o de la infraestructura y el crecimiento de nuestras ciudades, no pueden entenderse sino desde un respeto absoluto a nuestro entorno. En este sentido, la política medioambiental se debe insertar de forma transversal en todas y cada una de las actuaciones de gobierno.

Campeche con sus acciones pone de manifiesto la voluntad de mejorar y el nivel de compromiso que se ha adquirido en materia de política ambiental. El Gobierno del Estado entiende que son fundamentales las medidas preventivas, la planeación estratégica y las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático y a ellas dedicamos un esfuerzo especial.

Actualmente, los esfuerzos y el énfasis sobre el cambio climático alrededor del mundo se han centrado en las zonas geográficas alejadas de las costas y en acciones de mitigación más que de adaptación. La alta vulnerabilidad que muchas costas mexicanas presentan a la elevación del nivel medio del mar afectará tierras bajas, humedales costeros e islas. Esto es, tendrá impactos negativos en asentamiento humanos costeros e isleños, actividades pesqueras y de acuacultura, ganadería y agricultura de tierras bajas, sitios turísticos de playa, reservorios de agua dulce, infraestructura de comunicaciones y transportes vitales para la interconectividad, crecimiento y desarrollo local y regional; incluyendo puertos, carreteras, líneas telefónicas y de energía eléctrica, etcétera.

La Estrategia Nacional de Cambio Climático, propone de manera contundente la enorme importancia que cobran las zonas costeras ante efectos diversos del cambio en el clima. Sin embargo, no resulta suficiente para que a nivel estatal y local se tenga la comprensión en toda su magnitud de los retos a los que nos enfrentamos los habitantes de la costa.

El libro *Cambio Climático en México: un Enfoque Costero y Marino* es el resultado de un esfuerzo colectivo que surge de la Red Mexicana de Manejo Costero Integrado y que conjunta los conocimientos y experiencias de sus integrantes en un espacio profesional, respetuoso y ético, cuyo objetivo es el contribuir hacia propuestas constructivas que mejoren las condiciones de la gestión pública de los litorales mexicanos; basándose en la mejor información científica en cada área y asumiendo el compromiso de emitir propuestas viables y responsables para abordar los efectos del cambio climático en cada costa del país.

En este libro se refleja el estado del conocimiento del tema climático y sus impactos en la franja costera, presentándolos de manera accesible, convirtiéndolo en un orientador vital para la gestión pública. La invaluable colaboración de expertos e instituciones de investigación, organizaciones no gubernamentales y de diferentes entidades de gobierno, permitió cubrir casi todos los ámbitos del quehacer costero y marino desde un enfoque de manejo integrado.

Con este esfuerzo, se refleja de igual manera el interés patente que el Estado de Campeche tiene para con la problemática climática, ya que desde el inicio de la presente administración el Gobierno del Estado desarrolló una propuesta totalmente innovadora para la región y el país, liderando una coalición de seis estados de la región sur-sureste, para llevar su propuesta y presentarla en la Reunión de Partes COP15 en Copenhague.

Un año después, el Gobierno del Estado de Campeche se enorgullece en presentar esta obra, producto de los mejores científicos del país, que ofrece un análisis de seis temáticas cruciales para los tomadores de decisiones y que brindará información accesible y útil para la compresión de los efectos del cambio en el clima, para mejorar el entendimiento de los retos a enfrentar a través del análisis de casos similares y de las lecciones aprendidas; y para emitir políticas públicas y diseñar estrategias y acciones tendientes a disminuir el riesgo y vulnerabilidad que el clima cambiante impondrá en todos los estados costeros de México.

Campeche siempre se ha distinguido por estar a la vanguardia en los temas de gestión y política costeros y marinos; su trayectoria así lo ha demostrado a nivel nacional e internacional y ahora con este libro, presenta una contribución substancial en el manejo costero-marino integrado que apoyará a todos los órdenes de gobierno en la propuesta de políticas y planes de acción para el cambio climático.

Se demostró una vez más, que nuestro país cuenta con un excepcional capital humano de gran nivel técnico y capaz de afrontar los retos que implica el cambio climático global y sus expresiones más significativas a nivel estatal, regional y local. Las costas y mares de México representan un porcentaje muy alto dentro del territorio nacional y son sin duda alguna uno de los recursos más valiosos para todo estado que las posee.

Esta obra en definitiva contribuirá para prepararnos ante los retos futuros, a que con conocimiento sólido sepamos definir las acciones que coadyuven a no poner en riesgo el futuro de nuestras costas, de nuestro patrimonio, el futuro de nuestros hijos; para asegurar a los ciudadanos que tendrán una costa más segura, adaptada a lo que enfrentaremos, para que los habitantes costeros sigamos teniendo el privilegio de disfrutar plenamente de este maravilloso pero vulnerable espacio.

Con herramientas efectivas como este libro; de la mano del conocimiento y el profesionalismo conjugados con la sensibilidad de los habitantes de esta noble tierra, el patrimonio invaluable que significan nuestras costas podrá ser un legado del que también se enorgullezcan los futuros hijos de Campeche.

Lic. Fernando Ortega Bernés
C. Gobernador Constitucional del Estado de Campeche

Prólogo

Los mares mexicanos cubren una superficie casi dos veces mayor que la del territorio continental, y muestran una diversidad igualmente asombrosa. Situados en la transición entre los templados y los tropicales, nuestro mares cubren arrecifes coralinos, fosas abisales, surgencias de elevadísima productividad, fondos someros arenosos, ventilas submarinas hidrotermales, cayos, islas rocosas y grandes ambientes pelágicos. Sitios de algunas de las pesquerías más productivas del mundo, rutas históricas de comunicación y comercio, los mares de México han sido fuente de contactos económicos y culturales, el escenario donde la cultura mexicana se mira a sí misma viendo al resto del mundo.

Lejos de las costas, el mar profundo es un ecosistema en movimiento, un abismo poblado de vida, un sitio vertiginoso en el que no parece haber confines ni límites. Es el hábitat por excelencia del pez vela, del marlin, del pez espada y de todos aquellos peces que viven alejados de los arrecifes y fondos marinos. En la oscuridad más total, miles de metros más abajo, prosperan en un negro silencio, en las más absolutas tinieblas, los extraños peces abisales y las asombrosas especies de las ventilas hidrotermales, un fondo oceánico que, a pesar de nuestra capacidad y tecnología, aún hoy conocemos menos que la superficie de la luna.

Dada la naturaleza fluida del agua y el aire, los cambios climáticos y ecológicos ocurren en los mares con rapidez, a veces de un año al otro. Un cambio de unos pocos grados en la temperatura superficial del mar puede generar pulsos de sequía, incendios forestales, o huracanes destructivos. Las corrientes oceánicas y los vientos del mar han generado y mantienen los extraordinarios ecosistemas de México. Desde las selvas tropicales hasta los desiertos del noroeste, nuestros ecosistemas terrestres existen porque nuestro mar existe. El clima de México es dinámico porque las corrientes costeras operan como inmensas bandas transportadoras de calor y energía entre el mar y el continente.

Impulsada por la rotación de la tierra, las capas superficiales del mar son desviadas hacia el oeste en la costa occidental de México, generando la surgencia de aguas profundas del Pacífico que llegan a la superficie cargadas de nutrientes. De estas surgencias de aguas profundas se sustentan las cadenas alimenticias que mantienen algunas de las pesquerías más importantes de México, como la sardina y el atún, así como muchas especies que alguna vez fueron ferozmente cazadas y que ahora se encuentran protegidas y en recuperación: las tortugas de mar, los lobos y elefantes marinos, los cachalotes y las ballenas, valiosas especies marinas que el país se ha comprometido a proteger.

Las corrientes frías son, asimismo, la causa principal de la aridez de la tierra, porque los vientos provenientes del mar se calientan y secan cuando penetran en la tierra caliente. Por esa razón, un corredor de desiertos, matorrales y selvas secas ocupa casi la totalidad de las costas del Pacífico mexicano, desde Sinaloa hasta la mesa central de Chiapas, donde las lluvias ocurren sólo en verano cuando la tierra caliente trae humedad del mar.

Si las corrientes oceánicas detienen su flujo, el océano se calienta, las surgencias cesan y las aguas pierden su productividad. El sur de México languidece bajo la sequía, pero en los desiertos del norte, en cambio, la tierra árida se ve anegada por lluvias invernales provenientes de la humedad que se evapora de las ahora cálidas aguas del océano. Mientras las selvas del trópico y las pesquerías se colapsan bajo la sequía del verano, los desiertos del norte florecen en lluviosas primaveras. Como un implacable director de orquesta, el Océano Pacífico modula lluvias y sequías, pulsos de productividad y de colapso, espectacularmente visibles en las congregaciones de aves marinas y en el frenesí alimentario de los grandes bancos de sardinas, delfines y ballenas. Origen de la vida terrestre, las aguas del mar deciden sobre la vida y la muerte en las costas de México.

En el oriente mexicano los suaves vientos alisios, que llegan del este cargados de la humedad del Océano Atlántico, cruzan el Golfo antes de depositar, en un murmullo de lluvia, su fértil carga húmeda sobre las laderas de la Sierra Madre Oriental. En otoño, el rostro del mar cambia: Los huracanes que golpean con frecuencia la costa oriental se forman en el Caribe, pero adquieren velocidad y furia en las aguas cálidas del Golfo, y más tarde, en invierno, los "nortes" asolan con frío y lluvia invernal.

Los habitantes del Golfo han aprendido a conocer este mar en todas sus múltiples personalidades, desde los días de calma total, en los que no se mueve una ola y el agua parece un denso mar de aceite, hasta los negros cilindros de los frentes fríos que avanzan ominosamente sobre el mar anunciando la pronta llegada de un norte, con frío, viento, y días enteros de mal tiempo; o hasta la furia enloquecida de los huracanes, cuando hay que sacar las embarcaciones a tierra y mirar hacia el mar entrecerrando los ojos para evitar las gotas de agua que caen como alfilerazos.

Pero el Golfo no sólo reina sobre las costas de México: Hace unos tres millones de años, al cerrarse el istmo de Centroamérica, la corriente ecuatorial comenzó a fluir hacia el norte, hacia el estrecho espacio que separa la Florida de Cuba, para desde allí enfilarse a través del Atlántico hacia Europa, llevando algo del calor del trópico hasta las costas del Viejo Mundo. Sin la corriente del Golfo, Europa sería un continente gélido e inhabitable.

Y en el Caribe, nuestro mar más tropical, reinan los corales: Aunque restringidos a las cálidas aguas del trópico, donde las surgencias son débiles, los arrecifes de coral se encuentran entre los ambientes del planeta con más rápida fijación de carbono atmosférico, con el que construyen sus colonias calcáreas. Son también los ambientes acuáticos con el mayor número de especies de plantas y de animales, verdaderas aglomeraciones de biodiversidad.

Las condiciones de la temperatura son muy importantes para el arrecife. La precipitación del carbonato de calcio, con el que los corales forman sus esqueletos externos y fijan CO_2 atmosférico, ocurre a temperaturas muy precisas, de entre 23 y 26°C. Cualquier perturbación que incremente la temperatura del mar puede dañar severamente este ecosistema. Como en las selvas tropicales y en otros ambientes vulnerables, la adaptación de los arrecifes coralinos a su ambiente los hace uno de los ecosistemas más frágiles y vulnerables del mundo.

La vulnerabilidad del arrecife está a flor de piel. El incremento de la turbidez del agua por las actividades humanas como el dragado o el tráfico de barcos, o el aumento en nutrientes por la llegada de fertilizantes y aguas negras al mar, atentan contra la salud de los corales. El decaimiento de los corales en muchas partes del mundo ha sido vinculado a los aumentos anómalos de temperatura en los diferentes mares regionales, y a la acidificación de los océanos por el incremento del CO_2 atmosférico. Así, el cambio climático global producido por el incremento en los gases de efecto de invernadero complica críticamente su supervivencia.

Curtidas por vientos y huracanes, por chubascos y alisios, por virazones y gélidos nortes, nuestras costas son el lugar donde sentimos todavía cómo las fuerzas del mundo natural moldean nuestra vida cotidiana y donde atisbamos la inmensa diversidad de ese otro universo que yace silencioso, casi invisible, debajo de la superficie del océano.

Todo el delicado balance termodinámico de las costas de México, todos estos delicados y dinámicos ecosistemas, pueden cambiar —ya están cambiando— con el aumento de las temperaturas globales del planeta. El cambio climático amenaza seriamente nuestras costas, y al hacerlo, pone en riesgo la salud ecológica del país entero.

De eso trata este libro. De la supervivencia de nuestros mares y de la supervivencia de nuestras costas frente a la amenaza del cambio climático global. Una supervivencia que es, en última instancia, la supervivencia de México.

Exequiel Ezcurra
UC Institute for Mexico and the United States (UC MEXUS)

Directorio de participantes

Héctor Alafita-Vásquez.
GPPA. Av. Tulum 319. Despacho 203B. Supermanzana 9 Mzna 2 77500. Cancún Q Roo. México.

Leticia Alpuche Gual.
EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n Col. Buenavista. Campeche 24039 Campeche. México.

Armando Anaya Hernández.
CIHS. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n Col. Buenavista. Campeche 24039 Campeche. México.

Erika Andreu-Montalvo.
GPPA. Av. Tulum 319. Despacho 203B. Supermanzana 9 Mzna 2 77500 Cancún Q Roo. México.

Gabriel Arcos Espinosa.
Instituto de Investigación en Ingeniería. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Tampico-Madero. Tampico, 89500 Tamaulipas, México.

Martha E. Arjona García.
Secretaría del Medio Ambiente y Aprovechamiento Sustentable, Gobierno del estado de Campeche. Av. Patricio Trueba de Regil Esq. con Calle Niebla. Campeche 24090 Campeche. México

M.C. Arredondo-García.
Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Km 103 autopista Tijuana-Ensenada. A.P. 453 Ensenada, 22860 B.C. México.

Francisco Arreguín-Sánchez.
CICIMAR. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n Col. Playa Palo de Santa Rita Apdo. Postal 592. La Paz 23096 B.C.S. México.

Luis Amado Ayala Pérez.
UAM-Xochilimilco. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud. Del. Coyoacán 04960 México D.F. México

Isaac Azuz Adeath.
Cetys-Universidad. Km. 1 camino a Microondas Trinidad s/n Ensenada 22860, Baja California. México.

Helena Barba Meinecke.
INAH. Centro INAH Campeche, Calle 59 Nº 38, colonia Centro, Campeche 24000 Campeche. México.

Gastón A. Bazzino Ferreri.
CIBNOR. Mar Bermejo No. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Apdo. Postal 128; La Paz 23090 BCS. México.

Juan E. Bezaury-Creel.
The Nature Conservancy. Programa Latinoamérica. Rio San Angel 9. Colonia Guadalupe Inn. Del. Alvaro Obregon 01020. México, D.F. México.

Manuel Blanco y Correa.
Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura "Amado Nervo" Tepic 63155 Nayarit. México.

Juan Caamal-Sosa.
CINVESTAV-Unidad Mérida. Km. 6 Antigua carretera a Progreso Apdo. Postal 73. Cordemex, 97310 Mérida, Yucatán. México.

Arturo Carranza Edwards.
ICMYL, UNAM. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México D.F. México.

Juan Carlos Chávez.
Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima. Kilómetro 20, carretera Manzanillo-Barra de Navidad. Manzanillo 28860 Colima. México.

J. Adolfo Chica Ruiz.
Universidad de Cádiz. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Polígono Río San Pedro, s/n, 11510 - Puerto Real. Cádiz, España.

G. A. Compeán-Jiménez.
Comisión Interamericana del Atún Tropical (IATTC). 8604 La Jolla Shores Drive. La Jolla, CA 92037-1508. USA.

Cecilia Conde Álvarez.
Division de Estudios de Posgrado e Investigacion. Facultad de Ingenieria "Arturo Narro Siller". Universidad Autonoma de Tamaulipas C.U. Tampico-Madero 89339 Tamaulipas. Mexico.

Rosa Contreras.
Instituto de Planeación Ambiental de la Facultad de Arquitectura y Ciencias del Paisaje de la Universidad Leibniz de Hanover, Alemania.

John W. Day.
Department of Oceanography and Coastal Sciences. Louisiana State University, Baton Rouge, 70803 Louisiana, USA.

Richard H. Day.
United States Geological Survey USGS. 700 Cajundome Boulevard, Lafayette, 70506 Louisiana, USA

Guadalupe de la Lanza Espino.
Instituto de Biología, UNAM. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México D.F. México.

Oscar Delgado-González.
Universidad Autónoma de Baja California. Km 103 autopista Tijuana - Ensenada. A.P. 453 Ensenada, 22860 B.C. México.

Belynda Díaz Fuentes.
INAH. Centro INAH Campeche, Calle 59 Nº 38, colonia Centro, Campeche 24000 Campeche. México.

Anamaría Escofet.
Departamento de Ecología, CICESE.
Km. 107 Carr. Ensenada-Tijuana
No. 3918, Zona Playitas. Ensenada,
22860 Baja California. México.

Ileana Espejel.
Universidad Autónoma de Baja
California. Km 103 autopista
Tijuana - Ensenada. A.P. 453
Ensenada, 22860 B.C. México.

José Luis Fermán-Almada.
Universidad Autónoma de Baja
California. Km 103 autopista
Tijuana - Ensenada.A.P. 453
Ensenada, 22860 B.C. México.

Carlos Figueroa Beltrán.
Facultad de Ciencias Administrativas
y Sociales-Facultad de Ciencias
Marinas. Universidad Autónoma de
Baja California. Km 103 autopista
Tijuana - Ensenada. Ensenada,
22860 B.C. México.

Domingo Flores Hernández.
EPOMEX, Universidad Autónoma de
Campeche. Av. Agustín Melgar s/n
Col. Buenavista. Campeche 24039
Campeche. México.

Alejandro Flores Nava.
Oficina Regional de la FAO para
América Latina y El Caribe.Equipo
Multidisciplinario para América del
Sur. Av. Dag Hammarskjöld 3241,
Vitacura. Santiago, Chile.

Francisco Flores Verdugo.
ICMYL, UNAM. Unidad Académica
Mazatlán. Av. Joel Montes Camarena
S/N. Apartado Postal 811 Mazatlán
82040 Sinaloa. México.

Julia Fraga.
CINVESTAV-Unidad Mérida.
Km. 6 Antigua carretera a Progreso
Apdo. Postal 73 Cordemex,
97310 Mérida, Yucatán. México.

Alejandro García-Gastelúm.
Universidad Autónoma de Baja
California. Km 103 autopista
Tijuana - Ensenada. A.P. 453
Ensenada, 22860 B.C. México.

Juan Carlos Gómez Rojas.
Instituto de Biología, UNAM.
Circuito Exterior s/n, Ciudad
Universitaria. Del. Coyoacán,
04510 México D.F. México.

Dora María González Turrubiates.
Division de Estudios de Posgrado e
Investigacion. Facultad de Ingenieria
"Arturo Narro Siller". Universidad
Autonoma de Tamaulipas. C.U.
Tampico-Madero 89339
Tamaulipas. Mexico.

Blanca Gutiérrez-Barba.
Centro Interdisciplinario de
Investigación y Estudios sobre Medio
Ambiente y Desarrollo, IPN
Calle 30 de Junio de 1520 s/n,
Barrio la Laguna Ticomán 07340
México D.F. México.

Miguel Angel Haces Zorrilla.
Division de Estudios de Posgrado e
Investigacion. Facultad de Ingenieria
"Arturo Narro Siller". Universidad
Autonoma de Tamaulipas
C.U. Tampico-Madero 89339
Tamaulipas. Mexico.

Salome Hernández Gonzáles.
Biotecnología, Ingeniería, Innovación y Gestión (BIIG-Consultores). Av. Pirules # 735. Fracc. Valle Verde. Ensenada, 22839 B.C. México.

Salvador Hernández Pulido.
Instituto de Biología, UNAM. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México D.F. México.

Jorge A. Herrera-Silveira.
CINVESTAV-Unidad Mérida. Km. 6 Antigua carretera a Progreso Apdo. Postal 73 Cordemex, 97310 Mérida, Yucatán. México.

Sergio B. Jiménez Hernández.
Instituto de Investigación en Ingeniería. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Tampico-Madero. Tampico, 89500 Tamaulipas, México.

Leila Khafash.
CINVESTAV-Unidad Mérida. Km. 6 Antigua carretera a Progreso Apdo. Postal 73. Cordemex, 97310 Mérida, Yucatán. México.

Maurilio Lara Flores.
EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n. Col. Buenavista. Campeche 24039 Campeche. México.

Cuauhtémoc León.
Centro de Especialistas en Gestión Ambiental. (CEGAM). Andador Luis Martínez No. 18. Col Romero de Terreros. Mexico D.F. 04310 México.

Daniel Lluch-Belda.
CICIMAR. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n Col. Playa Palo de Santa Rita. Apdo. Postal 592. La Paz 23096 B.C.S. México.

Daniel B. Lluch Cota.
CIBNOR. Mar Bermejo No. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Apdo. Postal 128. La Paz 23090 BCS. México.

Salvador E. Lluch-Cota.
CIBNOR. Mar Bermejo No. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Apdo. Postal 128. La Paz 23090 BCS. México.

Pilar Luna Erreguerena.
INAH, Subdirección de Arqueología Subacuática, Moneda 16, Centro Histórico, 06070, México, D.F.. México.

Ana Pilar Marín Guzmán.
ICMYL, UNAM. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México D.F. México.

Ismael Mariño.
CINVESTAV-Unidad Mérida. Km. 6 Antigua carretera a Progreso Apdo. Postal 73 Cordemex, 97310 Mérida, Yucatán. México.

María Concepción Martínez R.
Centro Interdisciplinario de Investigación y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, lPN. Calle 30 de Junio de 1520 s/n, Barrio la Laguna Ticomán 07340 México D.F.

Edgar Mendoza.
Intituto de Ingeniería, UNAM. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México D.F. México.

Alejandro Monti.
Instituto de Investigaciones Geográficas de la Patagonia. Belgrano y 9 de julio. Trelew, Chubut, Argentina.

Norma Patricia Munoz S.
Centro Interdisciplinario de Investigación y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo IPN. Calle 30 de Junio de 1520 s/n, Barrio la Laguna Ticomán 07340 México D.F.

Carolina Nieves.
Universidad Autónoma de Baja California. Km 103 autopista Tijuana - Ensenada. A.P. 453 Ensenada, 22860 B.C. México.

Mario A. Ortiz Pérez.
Instituto de Geografía. UNAM. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México D.F. México.

Oralia Oropeza Orozco.
Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía. UNAM. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México D.F. México.

Alfredo Ortega.
CIBNOR. Mar Bermejo No. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Apdo. Postal 128. La Paz 23090 BCS. México.

Jesús E. Ospina Noreña.
Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México D.F. México.

Roberto Padilla-Hernández.
Instituto de Investigación en Ingeniería. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Tampico-Madero. Tampico, 89500 Tamaulipas, México.

Claudia Padilla Souza.
Bacabes del Mar.
Av. Nizuc No. 9 Depto 706
Fracc. Mediterranee. Supermanzana 17, 77505 Cancun Q. Roo. México.

Verónica Palacios-Chávez.
Universidad Autónoma de Baja California. Km 103 autopista Tijuana - Ensenada. A.P. 453 Ensenada, 22860 B.C. México.

Daniel Pech.
EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n Col. Buenavista. Campeche 24039 Campeche. México.

Rosela Pérez-Ceballos.
CINVESTAV-Unidad Mérida. Km. 6 Antigua carretera a Progreso Apdo. Postal 73 Cordemex, 97310 Mérida, Yucatán. México.

Orquídea Pérez Romero.
CIHS. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín melgar s/n Col. Buenavista. Campeche 24039 Campeche. México.

Roberto Pichardo Ramírez.
Division de Estudios de Posgrado e Investigacion. Facultad de Ingenieria "Arturo Narro Siller". Universidad Autonoma de Tamaulipas C.U. Tampico-Madero 89339 Tamaulipas. Mexico.

Gregorio Posada Vanegas.
EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n Col. Buenavista . Campeche 24039 Campeche. México.

Julia Ramos Miranda.
EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche. Av. AgustínMelgar s/n Col. Buenavista. Campeche 24039 Campeche. México.

Felipe Reyes.
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. 1a. Avenida Sur Poniente Nº 1460 Colonia Zona Centro Tuxtla Gutiérrez 29000 Chiapas.

Evelia Rivera-Arriaga.
EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche. Av. AgustínMelgar s/n Col. Buenavista. Campeche 24039 Campeche. México.
Secretaría del Medio Ambiente y Aprovechamiento Sustentable. Gobierno del estado de Campeche. Av. Patricio Trueba de Regil Esq. con Calle Niebla. Campeche 24090 Campeche. México.

A. Anahí Rodríguez-Hernández.
Biotecnología, Ingeniería, Innovación y Gestión (BIIG-Consultores). Av. Pirules # 735. Fracc. Valle Verde. Ensenada, 22839 B.C. México.

Julio César Rolon Aguilar.
Division de Estudios de Posgrado e Investigacion. Facultad de Ingenieria "Arturo Narro Siller". Universidad Autonoma de Tamaulipas C.U. Tampico-Madero 89339 Tamaulipas. Mexico.

Leticia Rosales Hoz.
ICMYL, UNAM. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México D.F. México.

Fernando Rosete.
Instituto Nacional de Ecologia. Periférico sur 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco. Deleg. Coyoacán, 04530 México D.F. México.

Gabriel Ruiz.
Instituto de Ingeniería, UNAM. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México D.F. México.

Gerardo Sánchez Torres Esqueda.
Division de Estudios de Posgrado e Investigacion. Facultad de Ingenieria "Arturo Narro Siller". Universidad Autonoma de Tamaulipas C.U. Tampico-Madero 89339 Tamaulipas. Mexico.

Orzo Sánchez Montante.
CICATA-IPN UA. Km. 14.5 Carretera Tampico-Puerto Industrial Altamira. Altamira 89600, Tamaulipas. México.

Sergio Scarry González-Peláez.
CIBNOR. Mar Bermejo No. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita. Apdo. Postal 128; La Paz 23090 BCS. México.

Georges Seingier.
Universidad Autónoma de Baja California. Km 103 autopista Tijuana - Ensenada. A.P. 453 Ensenada, 22860 B.C. México.

Lidia Silva.
Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima. Kilómetro 20, carretera Manzanillo-Barra de Navidad. Manzanillo 28860 Colima. México.

Rodolfo Silva Casarin.
Instituto de Ingeniería, UNAM. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México D.F. México.

L. Rafael Solana-Sansores.
Facultad de Ciencias, UABC Carretera Tijuana - Ensenada Ensenada 22800 Baja California. México.

Irene Sommer Cervantes.
Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía. UNAM. Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México D.F. México.

Ana Pricila Sosa Ferreira.
Universidad del Caribe Supermanzana 78, Mzna. 1, Lote 1 esquina Fraccionamiento Tabachines Cancún 77528 Quintana Roo. México.

Atahualpa Sosa López.
EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín melgar s/n Col. Buenavista. Campeche 24039 Campeche. México.

Shafía Súcar.
PIMAUG. Universidad de Guanajuato Calzada de Guadalupe S/N, Colonia Centro. Guanajuato 36000 Guanajuato. México.

Claudia Teutli-Hernandez.
CINVESTAV-Unidad Mérida. Km. 6 Antigua carretera a Progreso Apdo. Postal 73 Cordemex, 97310 Mérida, Yucatán. México.

Ricardo Torres.
Universidad de Quintana Roo. Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, Col. del Bosque Chetumal 77019 Quintana Roo. México.

Juana Treviño Trujillo.
Division de Estudios de Posgrado e Investigacion. Facultad de Ingenieria "Arturo Narro Siller". Universidad Autonoma de Tamaulipas C.U. Tampico-Madero 89339 Tamaulipas. Mexico.

Robert R. Twilley.
Department of Oceanography and Coastal Sciences. Louisiana State University, Baton Rouge, 70803 Louisiana, USA.

Beatriz Edith Vega Serratos.
EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n Col. Buenavista. Campeche 24039 Campeche. México.

Cesar Vázquez González.
Universidad Autónoma de Baja California. Km 103 autopista Tijuana - Ensenada. A.P. 453 Ensenada, 22860 B.C. México.

Laura Elena Vidal Hernández.
Universidad de Quintana Roo.
Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio
Comonfort, Col. del Bosque
Chetumal 77019 Quintana Roo.
México.

Lorraine A. Williams-Beck.
CIHS. Universidad Autónoma de
Campeche. Av. Agustín Melgar s/n
Col. Buenavista. Campeche 24039
Campeche. México.

Alejandro Yáñez-Arancibia.
Unidad de Ecosistemas Costeros.
Instituto de Ecología A. C.
Km. 2.5 carretera antigua a Coatepec
351, Congregación El Haya
Xalapa 91070, Veracruz, México.

Arturo Zaldivar-Jimenez.
CINVESTAV-Unidad Mérida.
Km. 6 Antigua carretera a Progreso
Apdo. Postal 73 Cordemex,
97310 Mérida, Yucatán. México.

Víctor M. Zárate-Noble.
Facultad de Ciencias, Universidad
Autónoma de Baja California. Km
103 autopista Tijuana - Ensenada
A.P. 453 Ensenada, 22860
B.C. México.

Cambio Climático en México
un Enfoque Costero y Marino

Elementos ambientales para tomadores de decisiones

Yáñez-Arancibia, A., y J. W. Day, 2010. La zona costera frente al cambio climático: vulnerabilidad de un sistema biocomplejo e implicaciones en el manejo costero, p. 3-22. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobo-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

La zona costera frente al cambio climático: vulnerabilidad de un sistema biocomplejo e implicaciones en el manejo costero*

Alejandro Yáñez-Arancibia y John W. Day

Resumen

El enfoque de este trabajo plantea como punto central el manejo-ecosistémico y como variables esenciales, la vulnerabilidad de las costas como sistemas biocomplejos, los costos reales por desastres naturales inducidos por el cambio climático, y las estrategias de mitigación hacia un manejo integrado. El enfoque-ecosistémico es la situación que debe prevalecer cuando el hombre busca utilizar los recursos naturales e interrumpe la dinámica de los sistemas provocando los decrementos de las utilidades, todavía más ante los impactos climáticos meteorológicos. Desde el punto de vista de escalas espaciales y temporales y con la premisa de preservar la integridad ecológica del sistema, se concluye que la cuenca de drenaje en la unidad de hábitats acoplados: "*cuenca baja-humedales-delta-lagunas costeras-estuario-pluma estuarina sobre la plataforma continental*", es el nivel ecosistémico óptimo para un enfoque exitoso de manejo integrado de la zona costera, severamente amenazada por los impactos del cambio climático. Si no se comprende este funcionamiento, nunca habrá una aproximación al manejo-ecosistémico costero y serán incomprendidos los efectos del impacto por el cambio climático.

* Basado en las Conclusiones del Panel Internacional sobre Cambio Climático: La Zona Costera y sus Impactos Ecológicos, Económicos y Sociales (inecol, noaa, ine-Semarnat). 1er Panel 30 agosto 2007, 2do Panel 16 octubre 2008. Xalapa, Ver., México.

Introducción

Para efecto de este capítulo, se considera la *zona costera* como una amplia eco-región con intensas interacciones físicas, biológicas y socioeconómicas, donde ocurre un dinámico intercambio de energía y materiales entre el continente, las aguas dulces, la atmósfera, y el mar adyacente; típico de esta región son la llanura (planicie) costera, cuenca baja de los ríos, humedales, manglares, dunas, lagunas costeras, estuarios y el océano adyacente (Scura *et al.,* 1992; Yáñez-Arancibia, 1999, 2000, 2005; Schwartz, 2005). Las lagunas costeras y estuarios incluyen varios de esos ambientes, como humedales forestados o de pastizales, dunas costeras, y planicies de inundación deltaicas. Además son altamente productivos, muy vulnerables y, particularmente en costas tropicales son altamente diversos en especies y hábitats. Una gran proporción de la población humana vive aledaño a estos sistemas biocomplejos, que reciben una gran cantidad de contaminantes, y por su deterioro ambiental se incrementa su vulnerabilidad a los impactos del cambio climático (Cicin-Sain y Knecht, 1998; Schwartz, 2005; Gregory *et al.*, 2008).

La integración dinámica del gradiente que se extiende desde la planicie costera y hasta la pluma estuarina sobre la plataforma continental, es el concepto clave para un manejo-ecosistémico comprehensivo, basado en la integridad ecológica como elemento base para el desarrollo social y económico sustentable, y el referente para contender con los impactos que induce el cambio climático sobre la zona costera (Mann, 2000; Yáñez-Arancibia *et al.*, 2009a). Si no se comprende la estructura ecosistémica de la zona costera, el manejo-ecosistémico parece una utopía y serán incomprendidos los efectos del impacto por el cambio climático.

Enfoque ecosistémico para comprender la vulnerabilidad de la zona costera y el impacto del cambio climático

La planicie costera se caracteriza por la heterogeneidad de humedales que presenta. Entre los humedales más representativos se encuentran los pastos sumergidos, los manglares, los bajos de mareas, llanuras de inundación deltaicas, estuarios, lagos, selva baja inundable, entre otros. En todos ellos se refleja una mezcla de suelo, agua, plantas, animales y microorganismos, con intensas interacciones biológicas y físico químicas (Maltby *et al.*, 1992; Mitsch y Gosselink, 2000; Dugan, 2005). La combinación de estas funciones y productos, junto con el valor de diversidad biológica y cultural, otorgan a estos ambientes enorme importancia para el desarrollo social y económico en cualquier latitud.

Esta llanura costera es un conjunto integrado de atributos naturales a nivel de ecosistema y recursos adyacente a la zona litoral, con dinámicas interacciones entre las tierras bajas y el mar. Normalmente se le asocia con la geografía de la cuenca baja de los ríos, y se extiende sobre la porción continental condicionado por la fisiografía de las tierras bajas, las inundaciones estacionales, y la vegetación hidrófila (figura 1). Esta subregión costera se caracteriza por: a) importantes humedales, b) alta diversidad de especies biológicas y de hábitats críticos, c) recarga

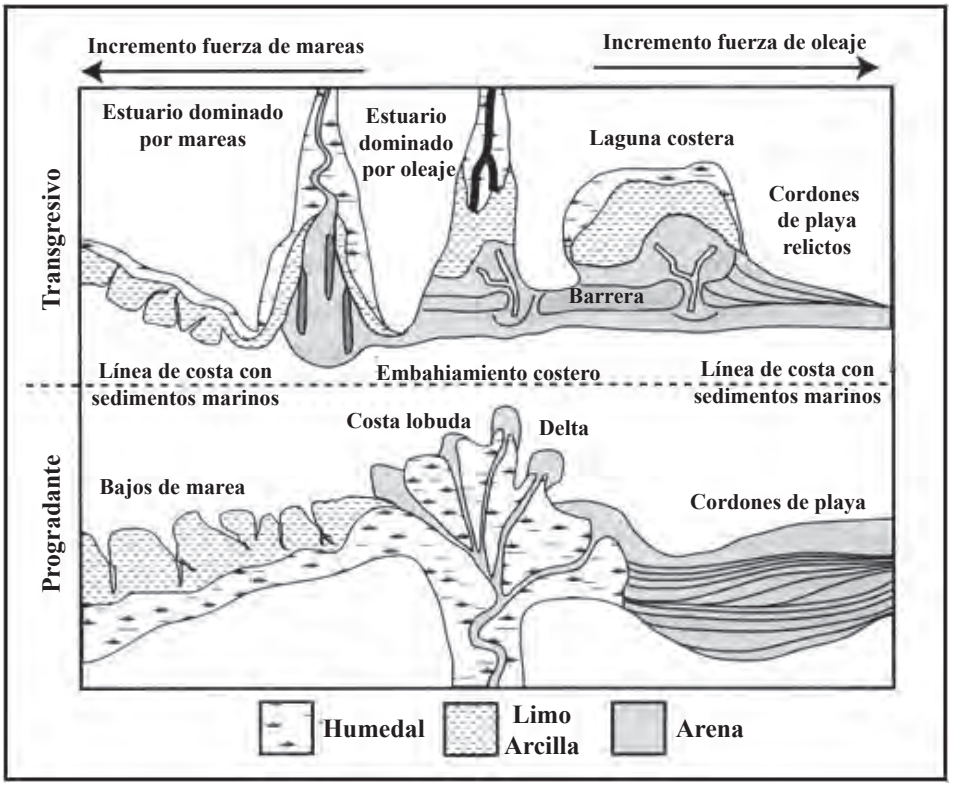


Figura 1. Diagrama de ambientes de depósito costero. La fuerza ambiental del oleaje erosiona los cordones de playa. La fuerza ambiental de las mareas erosiona la planicie de inundación deltaica y sus bajos. Una costa de delta lobulado es la imagen contraria del embahiamiento de un estuario dominado por oleaje. Modificado de Boyd *et al.* (1992) *in* Yáñez-Arancibia *et al.* (2007a).

de aguas subterráneas, d) gradiente de humedales de agua dulce hasta marinos que dependen del rango de las mareas y del volumen de descarga del agua dulce, e) filtración de aguas para mitigar calidad, contaminación y eutrofización, y f) sostienen importantes actividades económicas en la zona costera (Yáñez-Arancibia *et al.*, 2007a).

Desde un punto de vista estructural y funcional, las figuras 1 y 2 representan el universo del paisaje de la zona costera y su dinámica, y permite visualizar los puntos de vulnerabilidad frente al impacto que induce el cambio climático, además de ofrecer el referente para el enfoque de manejo-ecosistémico de lagunas costeras y estuarios. Los pulsos de intercambio y exportación no ocurren exclusivamente siguiendo el ritmo de las mareas y los volúmenes de descarga de agua dulce, sino también ocurren en un proceso intermitente que provocan las tormentas, inundaciones, vientos, huracanes, y otros eventos climáticos meteorológicos condicionados por el cambio climático. La geomorfología general de los ambientes sedimentarios costeros resulta afectada por la importancia relativa del oleaje y las mareas, que controlan la cantidad,

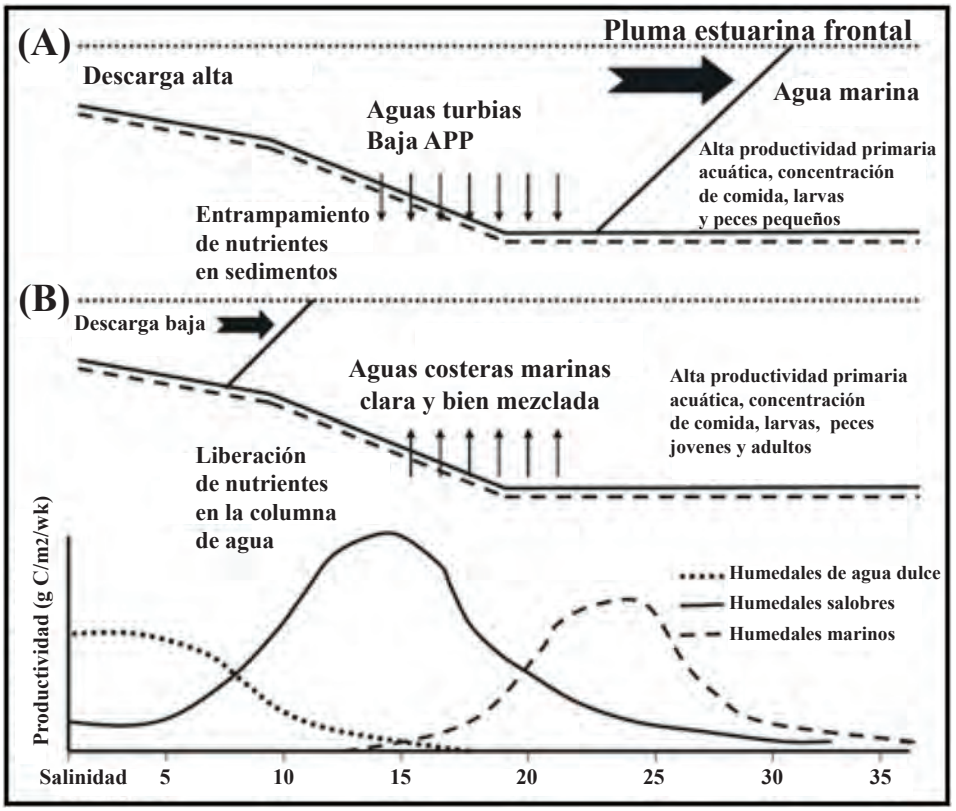


Figura 2. Enfoque-ecosistémico del funcionamiento de humedales. **(A)** Modelo conceptual de la descarga del sistema fluvio deltáico y respuestas del ecosistema estuarino. Larvas, juveniles y adultos de peces y macro invertebrados, utilizan el sistema de aguas abiertas y el gradiente de la zona frontal en la pluma estuarina (como hábitat esencial), antes y después de sus movimientos hacia los humedales de la llanura costera o hacia el océano. **(B)** Los pulsos físicos, químicos y biológicos, y los gradientes, modulan el funcionamiento del sistema fluvio deltáico y los efectos positivos de las inundaciones; los hábitats alternan su funcionamiento en terminos de los efectos de la salinidad sobre los tipos de humedales; la producción primaria de las plantas está en función de la salinidad, y el diagrama muestra los niveles de salinidad donde tiene lugar la sucesión de hábitats en un modelo para tres tipos de hábitat en el sistema estuarino. La productividad más alta se da en humedales salobres. Modificado de Yáñez-Arancibia *et al.*, (2007).

naturaleza, distribución y transporte de sedimentos a lo largo de la costa. Un tren de oleaje persistente genera transporte activo de sedimentos a lo largo de la costa, produciendo perfiles sedimentarios paralelos de tipo "*spits*", barras arenosas o islas de barrera. En contraste, las mareas significativas asociadas con fuertes corrientes de mareas generalmente producen perfiles sedimentarios normales en la costa incluyendo bancos arenosos alargados, amplias bocas estuarinas, vigorosos canales distributarios deltaicos, y amplias llanuras de inundación intermareales.

De esta forma, es posible distinguir entre costas dominadas por oleaje (*e.g.* deltas dominados por oleaje, estuarios dominados por oleaje, entrantes de mar hacia la planicie costera, y lagunas costeras), y costas dominadas por mareas (*e.g.* deltas dominados por mareas, estuarios dominados por mareas, y deltas mareales progradantes) (figura 1). La geomorfología condiciona la estructura y dinámica ecológica de la zona costera y es el referente para interpretar los impactos que induce el cambio climático (Yáñez-Arancibia, 2005); no sólo desde el punto de vista de forma-geológica y función-biológica, sino también en relación con los hábitats críticos (o esenciales) definidos como el rango de condiciones ambientales en el cual las especies y poblaciones pueden vivir y desarrollar su ciclo biológico (Yáñez-Arancibia *et al.,* 2009b).

La figura 3 muestra diversos compartimentos en el ciclo de los nutrientes (principalmente nitrógeno) en las lagunas costeras y estuarios, los cuales han sido bien analizados por Deegan *et al*. (1994). Procesos y compartimentos importantes incluyen gran dinámica entre los nutrientes y la materia orgánica, los productores primarios, fito- y zooplancton, dinámica microbiológica, organismos bénticos y pelágicos, transporte de nutrientes y sustancias orgánicas, y exportación a través de las bocas estuarinas sobre la pluma estuarina en la plataforma continental. La pluma estuarina es el área donde las condiciones estuarinas se extienden sobre el mar en la plataforma continental (figura 3). La pluma estuarina tiene salinidades de menos de 35 ppm, alta turbidez, gran concentración de materia orgánica particulada y disuelta y en la zona frontal, ocurre la mayor productividad primaria acuática en costas tropicales. Su magnitud y extensión depende de la magnitud y dinámica de las bocas estuarinas, la descarga de los ríos, el ritmo y rango de las mareas, las corrientes litorales, la estacionalidad de vientos, y la dinámica de importación/exportación de energía, materiales y organismos entre las aguas protegidas y el océano (Yáñez-Arancibia *et al.,* 2007a). La pluma estuarina es mayor cuando está asociada con sistemas deltaicos, y la productividad acuática de la pluma es un indicador de la sustentabilidad ambiental de los deltas y se correlaciona con recursos pesqueros demersales en costas tropicales (Pauly, 1986; Day *et al.,* 1997; Cardoch *et al*., 2002; Sánchez-Gil *et al.*, 1997, 2008). La descarga de agua dulce en la zona costera puede ser superficial, como ocurre con los grandes ríos, o descarga subterránea como ocurre en zonas cársticas (Yáñez-Arancibia *et al.,* 2007, 2009a, 2009b, 2009c). Por lo tanto, la protección y mitigación de la zona costera y sus hábitats críticos, es un asunto de fundamental importancia para la sustentabilidad ambiental del desarrollo social y económico de las costas. Por lo tanto, la protección de la integridad ecológica de estos hábitats es un asunto de fundamental importancia para sostener los estocs de peces en el Golfo de México y el Caribe.

El enfoque-ecosistémico propuesto para este trabajo, como "una estrategia para manejar el suelo, el agua y los recursos naturales, promoviendo la conservación y el uso sustentable de manera equitativa", fue adoptado en *The Second Conference of the Parties of the Convention on Biological Biodiversity* (CBD), como el marco básico de acción (Smith y Maltby, 2003). Para la zona costera, un trabajo muy anticipado planteando la necesidad del enfoque-ecosistémico para el manejo de lagunas costeras y estuarios, fue publicado por Day y Yáñez-Arancibia (1982). Qué es lo distintivo del enfoque-ecosistémico en términos De Fontaubert *et al.* (1996):

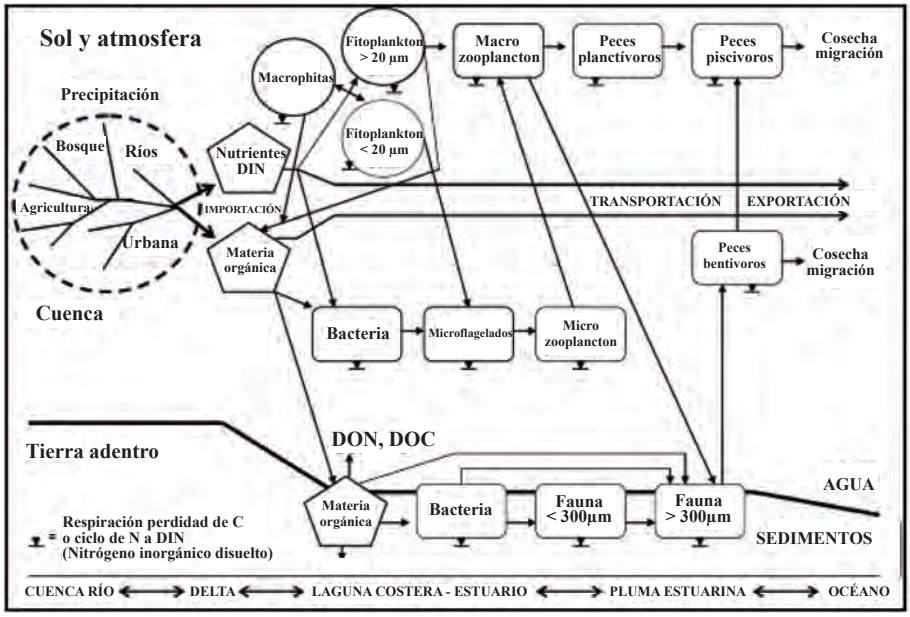


Figura 3. Modelo conceptual del flujo de nutrientes en un ecosistema estuarino, enfatizando el aporte de nitrógeno orgánico e inorgánico desde la llanura costera, y los cuatro principales patrones tróficos pelágicos y bentónicos que permiten el éxito de la producción de carnívoros superiores (recursos pesqueros). DIN= Nitrógeno inorgánico disuelto, DON= Nitrógeno orgánico disuelto, DOC= Carbón orgánico disuelto, C= Carbón. El gradiente principal es desde la cuenca baja de los ríos, hacia el delta y las lagunas costeras y estuarios, continuando a la pluma estuarina, y finalmente al océano abierto. Los puntos de vulnerabilidad mayor por el cambio climático son las fronteras de contacto inter hábitats. Tomado de Yáñez-Arancibia *et al.* (2009b).

- Provee un marco de trabajo para la planificación y la toma de decisiones.
- La sociedad se sitúa en el centro del manejo de la biodiversidad.
- Se enfatiza en los beneficios funcionales que ofrece el ecosistema.
- Se enfatiza en el manejo de la biodiversidad más allá de los límites de las áreas naturales protegidas.
- Las áreas protegidas son reconocidas como de vital importancia para la conservación.
- El enfoque es flexible con respecto a escalas espaciales y temporales.
- La sociedad juega un papel importante en el manejo del suelo, del agua y los recursos extraíbles.
- El manejo debe considerar los efectos reales y potenciales de las actividades de desarrollo en ecosistemas vecinos.
- Reconoce las ventajas económicas de un manejo racional y articulado.
- El manejo debe ser descentralizado al menor nivel de decisión posible (municipal?).

Por lo tanto el enfoque-ecosistémico es de principal importancia para contender con el manejo-ecosistémico de lagunas costeras y estuarios y sus planes de protección, mitigación y adaptación frente a los impactos que induce el cambio climático.

El cambio climático y sus efectos sobre la zona costera está normando fuertemente el manejo-ecosistémico. Los conceptos avanzan progresivamente y actualmente el manejo-ecosistémico enfatiza principios comunes destacando que un manejo efectivo debe: 1) integrar los componentes estructurales y funcionales del ecosistema, los usos, los recursos, y los usuarios, 2) guiar soluciones sustentables, 3) ser precavido evitando acciones deletéreas, 4) ser adaptativo buscando enfoques efectivos basados en experiencias, 5) ser actualizado al aplicar ciencia y tecnología para restaurar/rehabilitar humedales costeros, 6) internalizar los impactos de la crisis alimentaria, energética y climática sobre la zona costera, (Costanza, 1994; Boesch *et al.*, 2001; Boesch, 2006; Day *et al.*, 2005, 2007, 2008, 2009; Day y Yáñez-Arancibia, 2009; Yáñez-Arancibia *et al.* 2006, 2009a, 2009b, 2009c). Estos principios tienen importantes implicaciones para enfrentar la crisis costera en cualquier latitud. Aunque el marco para integrar objetivos de manejo existe, la habilidad técnica para la evaluación cuantitativa frente a múltiples tensores y estrategias es primaria, y todavía se aprecia un estado emergente de desarrollo metodológico integrado, particularmente lo que concierne a planificación ambiental estratégica, y a la restauración/rehabilitación en los principales ecosistemas costeros del Golfo de México y el Caribe, (que gravemente NO están incluyendo las variables del impacto del cambio climático). La realidad frente a esta última observación, debe enfrentarse a un nuevo paradigma, basado en siete principios necesarios para una visión sustentable del manejo costero enfrentado a las variables que induce el cambio climático (Costanza *et al.*, 2006; Day *et al.*, 2007, 2008, 2009): 1) permitir que el agua decida su curso, 2) evitar barreras severas que interrumpen la comunicación de las aguas de la planicie costera con el océano, 3) restaurar el capital natural, 4) utilizar los recursos sedimentarios del sistema fluvio deltáico para restaurar la costa, cambiando la perspectiva actual de aislar el río de la planicie deltaica (error sistemático en Mississippi-Louisiana, y en Tabasco-Campeche), 5) internalizar la crisis económica en las decisiones de manejo referente al desarrollo industrial, 6) internalizar la crisis de desigualdad social en la zona costera referente al desarrollo turistico, y 7) restaurar el funcionamiento de sistema fluvio deltáico para mitigar la contaminación (propiciando el metabolismo natural de depuración de aguas residuales), y las inundaciones naturales (que son benéficas para la integridad ecológica de la zona costera), por ejemplo, Nueva Orleans en Louisiana y Villahermosa en Tabasco.

Conclusiones e implicación hacia el manejo costero

Las lagunas costeras y estuarios son marcadamente diferentes de otros ecosistemas marino costeros, debido a que son ambientes de interacciones entre los ríos y el mar. Son sistemas biocomplejos, abiertos, dinámicos, dominados por variables físicas que inducen las principales fuentes de energía que modulan la estructura funcional de estos sistemas. Funcionan normalmente en

los umbrales de estrés de la mayoría de los parámetros físico-químicos que los caracterizan, y eso los hace más vulnerables aún a los impactos que marca el cambio climático. Si los impactos del hombre en las cuencas hidrológicas cambian la calidad del agua y sedimentos que entran al sistema, las consecuencias serán severas para el medio ambiente costero. A nivel de ecosistema biocomplejo las lagunas costeras y estuarios presentan las siguientes características generales (Day y Yáñez-Arancibia, 1982; Day *et al.*,1989; Yáñez-Arancibia *et al.*, 2007a): Son altamente productivos. Son ecológicamente complejos. Son ecológicamente estables coexistiendo en un medio físicamente variable. Tienen diversas fronteras abiertas e intensas interacciones con ecosistemas vecinos. La tabla 1 resume la *Vulnerabilidad* de esos ecosistemas. La tabla 2 resume los *Costos de los Impactos* causados por el cambio climático. La práctica política habitual es la estimación de costos al impacto directo, pero la columna de la derecha muestra que los costos ocultos indirectos, a mediano y largo plazo, sugieren una marcada sub estimación "real" del costo de los impactos por el cambio climático.

Tabla 1. Vulnerabilidad natural e inducida por el cambio climático en lagunas costeras y estuarios.

1. Los mecanismos que propician una eficiente trampa de nutrientes, también contribuyen con éxito como trampa de contaminantes. Estos mecanismos son alterados por impacto antrópico o eventos climático-meteorológicos; la turbulencia provocada reincorpora contaminantes a la columna de agua.
2. La destrucción de macrofitas como pastos de pantanos o bosques de manglar disminuye dramáticamente la productividad natural, la fuente de alimento, la biomasa pesquera, la integridad del hábitat, y magnifica el efecto destructivo de los eventos de tormenta.
3. Las cadenas tróficas en aguas someras son muy susceptibles de interferencia por el hombre y por el cambio climático. Generalmente hay una preferencia por los niveles tróficos superiores (carnívoros), que dependen de algunas especies claves de niveles tróficos inferiores consumidores de detritus orgánico y restos vegetales.
4. La mayoría de las especies (animales y vegetales) están viviendo al límite de sus rangos de tolerancia. Estos organismos pueden ser excluidos del sistema por estrés adicional como el causado por contaminación, anoxia, sobreexplotación pesquera, impacto ambiental antrópico, o por el cambio climático.
5. Los ambientes sedimentarios estabilizados son importantes por favorecer el ciclo natural de los nutrientes, como áreas de crecimiento de humedales, prevenir exceso de turbidez en la columna de agua, y como hábitats de organismos bentónicos. Eventos climático-meteorológicos severos inducen erosión en estos ambientes.
6. La condición somera provoca un estado natural de eutrofización. Razón que los hace vulnerables a cualquier proceso natural o inducido que contribuya a incrementar la demanda química o bioquímica de oxígeno.
7. La zona más valiosa y productiva de estos sistemas es la región intermareal y somera de los humedales costeros. Esta región de frontera es altamente impactada por el cambio de uso de suelo (como construcción de bordos, dragados, rellenos, reconversión en agricultura), y por el cambio climático (como fuerte oleaje, vientos, erosión litoral).
8. Las lagunas costeras y estuarios son un usuario más de agua dulce y sedimentos, y lo requieren para su óptimo funcionamiento. La zona de baja salinidad es importante para alimentación, reproducción y protección, de muchas especies vegetales y de peces y macro invertebrados. La presencia de un gradiente de salinidad es esencial para el ciclo de vidas de numerosas especies que utilizan estos sistemas desde el mar o desde aguas continentales. El cambio climático está desarticulando estacionalmente los gradientes de parámetros físicos químicos.

Tabla 2. Costos por riesgo y desastres sobre los ecosistemas costeros y sus recursos naturales.

Evento o condición	Impacto y costos directos	Impacto y costos ocultos
	Pérdida de recursos viables naturales comerciales (sembradíos, árboles, agricultura, pesquerías. Mortandad de plantas y animales.	Declinación del recurso comercial (forestal, agrícola, pesquero). Incremento de riesgo de incendios por árboles muertos. Incremento de la vulnerabilidad a invasión de plagas.
Viento, oleaje e inundación.	Pérdida de árboles en parques y residencias.	Incremento en la demanda de electricidad por calefacción o enfriamiento. Efectos psicológicos. Pérdida de vegetación nativa.
	Diseminación invasiva de plantas y animales exóticos. Sustitución por abundancia de especies oportunistas.	Alteración de hábitats. Incremento de la vulnerabilidad a invasión de plagas.
Daño o destrucción del paisaje.	Pérdida de hábitats.	Pérdida de biodiversidad. Incremento en número de plantas y animales amenazados o en peligro. Riesgo de Áreas Natuarles Protegidas (ANP).
	Erosión de suelos y bancos ribereño-deltáicos y pérdida de tierras.	Degradación de la calidad de agua. Azolve de distributarios. Pérdida de cobertura vegetal. Incremento de temperatura del agua. Incremento de turbidez. Abatimiento del oxígeno disuelto. Contaminación de fuentes no-puntales (plaguicidas, herbicidas, fertilizantes, sistema séptico, otros).
	Erosión de playas, dunas y humedales.	Pérdida de hábitats litorales (dunas, playas, humedales). Desestabilización de cimientos de construcción (daño y riesgo de deterioro futuro de infraestructura). Incremento en demanda de fortificaciones costeras, con efecto potencial adverso. Pérdida de playas recreativas y de oportunidades turísticas. Pérdida del turismo y de empleos.
Disturbio de ecosistemas naturales.	Pérdida de bosques viejos únicos, dunas, pantanos, erosión de desembocadura de ríos y otros ecosistemas costeros.	Alteraciones permanentes o pérdida de hábitats a futuro. Incremento de especies amenazadas o en peligro. Extinción o exclusión de especies. Pérdida de resiliencia y mayor vulnerabilidad a eventos futuros. Sobre estimación de la capacidad de asimilación del ecosistema.

Tabla 2 (continuación). Costos por riesgo y desastres sobre los ecosistemas costeros y sus recursos naturales.

Evento o condición	Impacto y costos directos	Impacto y costos ocultos
	Pérdida de sedimentos de la cuenca baja, distributarios y estuario. Asolve en lagunas costeras.	Incremento en turbidez. Acumulación de contaminantes en sedimentos. Decremento del oxígeno disuelto. Pérdidas de vegetación acuática, vertebradas e invertebrados. Decremento de capacidad de circulación de canales distributarios. Pérdida de canales de navegación. Incremento en costos de dragado. Incremento a riesgos futuros de inundación. Declinación de pesquerías comerciales y recreativas.
	Intrusión salina en aguas superficiales o freáticas.	Pérdida de disponibilidad de agua para humanos y animales. Pérdida de especies dulceacuícolas. Pérdida de sembradíos en llanura costera. Sustitución de cultivos adaptables. Alteración de hábitats.
Disturbio de ecosistemas naturales.	Incremento de agua dulce dentro del estuario.	Declinación de especies marinas. Incremento de especies de agua dulce. Incremento de materia orgánica y decremento de oxígeno disuelto. Declinación de la pesquería estuarina. Simplificación del ecosistema por pérdida de biodiversidad.
	Fragmentación de islas de barrera.	Pérdida de hábitats. Pérdida de propiedades privadas o públicas. Pérdida de Áreas Naturales Protegidas (APN). Daño o pérdida de infraestructura diversa.
	Contaminación de hábitats en el largo-plazo por liberación de contaminantes e inundación salobre.	Pérdida de hábitats. Incertidumbre en recuperación de la vida silvestre. Incremento del número de especies amenazadas o en peligro.
	Incremento de la vulnerabilidad de ecosistemas costeros a eventos subsecuentes. Pérdida de resiliencia. Sobre estimación de la capacidad de asimilación.	Pérdida de hábitats a futuro o alteración permanente. Incremento en número de especies amenazadas o en peligro. Extinción o exclusión de especies animales y vegetales.

Tabla 2 (continuación). Costos por riesgo y desastres sobre los ecosistemas costeros y sus recursos naturales.

Evento o Condición	Impacto y Costos Directos	Impacto y Costos Ocultos
	Descarga de fuente-puntual de contaminación en el aire, agua y canal de navegación (químicos, basura, aguas negras, materiales tóxicos).	Pérdida de recursos acuáticos. Declinación de pesquería comercial y recreativa. Impacto a la salud y seguridad humana.
	Descarga de fuente no-puntual de contaminación en el agua, canal de navegación y sedimentos (pesticidas, herbicidas, fertilizantes, descarga urbana, falla del sistema séptico).	Pérdida de recursos acuáticos. Declinación de pesquería comercial y recreativa. Impacto a la salud y seguridad humana.
	Liberación de basura, acumulación de desechos sólidos en el medio ambiente, por el evento o por esfuerzos de limpieza.	Degradación de la calidad del agua. Pérdida de humedales por relleno de tierras bajas. Degradación de la calidad del aire por putrefacción o por quemas de basura. Decremento de la estética natural del paisaje.
Viento, oleaje, ascenso del nivel del mar, lluvias, inundaciones. Daño ambiental en aumento por persistencia severa.	Pérdida del acceso a la playa (daño de senderos, terrazas, muelles). Esfuerzos de reconstrucción.	Declinación de las actividades recreativas (*e.g.* pesca, canotaje). Pérdida de turismo e impacto económico.
	Esfuerzos de reconstrucción.	Relleno no regulado de humedales y otros habitats sensitivos. Pérdida de habitats. Disposición no regulada de tierras suburbanas para construcciones de casas de emergencia post evento. Prácticas de diseminación de construcciones sin regulación de la resiliencia-urbana a futuros eventos.
	Daño de largo-plazo a maquinaria, vehículos e infraestructura, debido a inundaciones, intrusión de sedimentos, derrumbes, o daños mecánicos similares	Decremento sostenido del presupuesto fiscal y recursos para prevención, mitigación, restauración, o subsidios. Encarecimiento sostenido de la energía, alimentos e insumos. Prevalece política coyuntural de alto costo.

La tabla 3 resume *Estrategias de Mitigación* para contender con el problema del cambio climático. Para los tomadores de decisiones, si no se comprende este funcionamiento, nunca habrá una aproximación al manejo ecosistémico de estos ambiente costeros y serán incomprendidos los efectos del impacto por el cambio climático.

Lagunas costeras, estuarios y humedales son intensamente utilizadas por los humanos

Revisando los problemas del manejo de lagunas costeras y estuarios, se aprecia que el tópico más frecuente de preocupación es la sobrecarga de nutrientes. La aplicación de nutrientes en la agricultura, especialmente compuestos de nitrógeno, provoca gran incremento en la producción fitoplanctónica. La cantidad de producción primaria que no es consumida por el pastoreo, es atrapada en el fondo y se descompone, utilizando oxígeno y creando aguas estratificadas deficientes en oxígeno. Esto puede causar mortalidad masiva de organismos bentónicos. También, la turbidez y la alta biomasa fitoplantónica bloquean la penetración de la luz y provoca la muerte de la vegetación macrofita sumergida. Los efectos de largo plazo pueden causar la pérdida de la producción de peces y macro invertebrados y, a menudo, la pérdida del potencial recreativo porque las aguas se hacen turbias y distróficas. Adicionalmente, el cambio de uso del suelo -actividad frecuente en la zona costera- altera sustancialmente el ciclo del nitrógeno y eso magnifica los impactos inducidos por el cambio climático (Downing *et al*., 1999).

La reducción del aporte de nutrientes desde las ciudades y desde la agricultura, es un asunto costoso. Es un proceso de varias etapas (Day *et al.*, 2009). *Primero*, es necesario educar al público para preocuparse del problema. *Segundo*, es necesario obtener un consenso sobre los detalles del problema y de los pasos necesarios para remediarlo, teniendo en cuenta los frecuentes conflictos de interés a distintos niveles de la población. *Tercero*, sólo entonces los políticos podrán encontrar el fundamento para disponer de recursos necesarios para la solución. *Cuarto*, el siguiente paso es la implementación de la solución tecnológica, después de lo cual es fundamental implementar un programa de monitoreo que será capaz de evaluar la efectividad de los pasos y decisiones tomadas

El uso intenso de lagunas costeras y estuarios, acoplado con los impactos que provoca el cambio climático y los efectos sinérgicos residuales, han provocado un deterioro y desintegración ambiental, que complica el manejo-ecosistémico y el desarrollo costero óptimo hacia el futuro. La consecuencia de este uso intenso y los impactos adicionales por el cambio climático, han alterado directamente la estructura y el funcionamiento de estos ecosistemas (Day *et al.*, 2008; Yáñez-Arancibia *et al*., 2009a, 2009b). Desde el enfoque de manejo-ecosistémico, se presenta una síntesis de cómo los humanos y el cambio climático impactan el funcionamiento de estos sistemas biocomplejos (tablas 1, 2, 3)

Tabla 3. Técnicas de mitigación para proteger recursos naturales en la zona costera ante el impacto del cambio climático.

Playas	1. Ordenanza que restringe el retiro de material de relleno después de la tormenta (material acumulado en una determinada zona, se repetirá en la próxima tormenta). 2. Prohibición de actividades que pudieran reducir o alterar la configuración de playas, islas de barrera, y altitud de las dunas (como remoción de vegetación o construcción de estructuras –formales o artesanales- que desvían el transporte de sedimentos). 3. Favorecer la fuente de sedimentos y/o procesos de transporte que mantienen -de manera natural- las barreras arenosas, bajos de mareas, y línea de costa (como el uso adecuado de depósitos del dragado para canales de navegación). 4. Prohibición de la remoción de pastos marinos de la zona intermareal (como remoción –por estética- de la vegetación sumergida adyacente a la playa). 5. Restaurar las playas post-evento en áreas que proveen habitats críticos para tortugas marinas y aves costeras. 6. Análisis de vulnerabilidad de hábitat críticos para establecer prioridades pre- y post- tormenta para protección y restauración de hábitats en alto riesgo. 7. Restauración de la vegetación sobre la playa e islas de barrera después de la tormenta para prevenir pérdida de sedimentos y para favorecer la recuperación de dunas y playas. 8. Establecimiento de una línea base comprensiva de las características ecológicas y los procesos que aseguran que las medidas de mitigación están diseñadas apropiadamente y sean capaces de fundamentar un monitoreo post-tormenta.
Humedales	1. Ordenanza que protege los humedales costeros y zonas de amortiguamiento frente a los desarrollos. 2. Análisis de vulnerabilidad de los humedales, para establecer prioridades de restauración post-evento, y restringir actividades que pueden degradar o destruir humedales importantes. 3. Rehabilitar (árboles, arbustos, hierbas), captar sedimentos, control de especies exóticas, para restaurar humedales que proveen funciones críticas (como amortiguamiento para las comunidades costeras, y hábitat para especies amenazadas). 4. Desarrollo de planes para remover estructuras, chatarra, embarcaciones abandonadas, que impiden la dinámica costera que favorece la "salud" de los humedales y persistencia de hábitat críticos. 5. Favorecer los procesos para la acreción de sedimentos, que de manera natural restauran los humedales costeros (como también la redistribución adecuada de sedimentos obtenidos por dragados en canales de navegación). 6. Establecimiento de una línea base comprensiva para entender, ecológicamente, que los humedales son "usuarios naturales" de agua y sedimentos.
Bosques	1. Manejo forestal costero para reducir el daño que provocan los vientos y la erosión litoral. 2. Manejo de la composición de especies (como cultivo y mantenimiento de especies de árboles más tolerantes a las tormentas en areas urbanas pobladas). En los trópicos son recomendables los manglares. En latitudes intermedias son recomendables pinos de hojas largas. 3. Uso de quema controlada para minimizar acumulación de combustibles. Esto ayuda en el manejo de malezas y favorece el regreso de plantas herbáceas deseables. 4. Desarrollo de planes y regulaciones pre-tormenta para operar quemas controladas y remover fragmentos de árboles. 5. Desarrollo de nidos artificiales y cavidades para compensar la carencia por pérdida de los árboles durante y después de la tormenta. 6. Establecimiento de una línea base comprensiva para explorar la opción, ecológica, de introducción de árboles en áreas normalmente no forestadas.

Tabla 3 (continuación). Técnicas de mitigación para proteger recursos naturales en la zona costera ante el impacto del cambio climático.	
Pesquerías Moluscos y crustáceos	1. Ordenanza y planes para clausurar la pesquería de ostiones, mejillones y almejas post-tormenta (debido a los altos niveles eventuales de microorganismos patógenos). Colaborar con los pescadores en planes de contingencia y subsistencia temporal después de la tormenta. 2. Propiciar el desarrollo de planes de negocio para acomodar la clausura temporal de las pesquerías. 3. Desarrollo de planes para depositar material calcáreo post- evento (como conchas) hacia la rehabilitación de hábitats adecuados en el restablecimiento de "camas de reclutamiento" de moluscos y crustáceos.
Pesquerías Camarones	1. Desarrollo de planes para la provisión de hielo y generación de electricidad en los centros de desembarque del recurso, bodegas de almacenamiento refrigerado, y en embarcaciones que manejan captura viva. 2. Recuperar/reconstruir estructuras y otras facilidades tierra adentro para reducir futuras pérdidas en el almacenaje del recurso post- evento. 3. Remoción de la basura post-desastre en las áreas de pesca y canales de navegación, para prevenir daños en las artes de pesca y embarcaciones. Este recurso se captura en el mar adyacente y en áreas protegidas (como bahías cerradas, lagunas, estuarios, muy vulnerables al impacto físico). 4. Desarrollo de planes de compensación post-desastre (fondo de emergencia) para recuperar la infraestructura pesquera (embarcaciones, maquinaria, artes de pesca).
Pesquerías Peces	1. El impacto sobre las pesquerías de altura es mucho menor (como recurso vivo), comparado con las otras pesquerías. Sin embargo, el impacto sobre la infraestructura es similar a la pesquería del camarón. Los planes de compensación post-desastre son similares.
Pesca deportiva (turismo asociado)	1. Desarrollo de estrategia alternativa para reemplazar el aspecto recreativo, importante en la economía local. 2. Desarrollo de planes de construcción y recuperación de embarcaciones y otras facilidades, mejor adaptadas a los efectos de tormentas.
Calidad de agua	1. Desarrollo de planes para minimizar descarga de contaminantes durante la tormenta (como residuos líquidos o sólidos de las terminales pesqueras, de los centros urbanos, de otras industrias), y facilidades de recuperación de la calidad. 2. Al calcular la descarga permisible de contaminantes de fuentes puntuales y no puntuales, considerar el efecto acumulativo del contaminante en los sedimentos en bahías, lagunas y estuarios, que podrían ser removidos durante las tormentas. 3. Desarrollo de estándares normativos y medidas de emergencia para prevenir la liberación de contaminantes tóxicos durante las tormentas. 4. Desarrollo de tecnologías ambientales para depuración de aguas residuales (como el uso de humedales para el tratamiento secundario y terciario de las aguas, con lo cual se fortalece el paisaje, se previene la subsidencia sedimentaria, se amortigua la costa contra eventos de tormenta y ascenso del nivel del mar, se genera nuevos hábitats críticos para la flora y la fauna, y son mucho más baratas que las plantas convencionales de tratamiento de aguas).

Lagunas costeras, estuarios y humedales frente al cambio climático global

El calentamiento global implica diversas consecuencias para los hábitats de la zona costera (IPCC, 2007). Se espera que la temperatura de la superficie del océano se incremente, con los mayores cambios hacia las latitudes altas. Este incremento provocará gran cantidad de evaporación próxima al ecuador induciendo un ciclo hidrológico más vigoroso. Las latitudes intermedias tendrán mayor incremento en evaporación, mientras que las altas latitudes, y algunas zonas tropicales montañosas, tendrán mayor incremento en precipitación, y en el caso de los trópicos se asocian con mayor frecuencia e intensidad de huracanes. Como resultado, el gradiente de salinidad costera norte-sur se podrá incrementar, creando condiciones menos salinas hacia el norte y condiciones más salinas en latitudes tropicales-subtropicales. Pero el impacto más significativo seleccionado en UNCED Río'92 y de atención urgente en la zona costera, ha sido el acelerado ascenso del nivel medio del mar.

El IPCC (2007) predice una elevación del nivel del mar de aproximadamente 40 a 45 centímetros para el año 2100, debido a la expansión térmica del océano y el derretimiento de los hielos sobre el continente. En lugares donde el ambiente costero es adyacente a pantanos salobres, manglares, u otros humedales, es posible que las comunidades naturales puedan migrar tierra adentro al ritmo de la elevación de las aguas; pero si la migración no es posible, como ocurre con diferentes macrofitas, ese hábitat morirá al ser inundado a un ritmo mayor a su tolerancia adaptativa a las inundaciones, dejando el desarrollo socio económico costero expuesto a los efectos de las tormentas e inundaciones (Day *et al.,* 2008). Bajo el escenario de 50 centímetros de elevación del mar para fines del siglo XXI, se estima que las islas del Caribe estarán bajo severa presión ambiental, y más de 2 000 millas^2 de humedales en México y 4 000 millas^2 en los Estados Unidos, se perderán.

Algunos reportes recientes difieren con la proyección conservadora del IPCC (2007). Por ejemplo, se sugiere que la elevación del mar podría ser tan alto como 100 centímetro para el año 2100 (Rahmstorf, 2007) o incluso entre 80 y 200 centímetros (Pfeffer *et al*., 2008); que la frecuencia e intensidad de huracanes rebasará el 80% (Hoyos *et al.*, 2006) y que la subsidencia sedimentaria en humedales costeros podrá llegar a más de 3.5 milímetros por década (McKee, 2008). Estos trabajos recientes ofrecen información verdaderamente preocupante. Con esto, muchos desarrollos urbanos costeros en el Golfo de México estarán en el franco umbral del drama ambiental (*e.g.* Tampa, Mobile, Nuevo Orleans, Galveston, Corpus Christi, Tuxpan, Panuco, Veracruz, Alvarado, Villahermosa, Ciudad del Carmen, Chetumal, entre otros), especialmente por la severidad sinérgica de las inundaciones episódicas asociadas con tormentas severas y lluvias intensas. Todas estas ciudades costeras están vinculadas con lagunas costeras y estuarios, altamente vulnerables al cambio climático global (tabla 1). En los trópicos, muchas áreas de la planicie costera litoral, actualmente con asentamientos urbanos e industriales, serán prácticamente inhabitables y los costos por desastres serán muy elevados (tabla 2). La degradación ambiental de los hábitats costeros actuales, en incremento, sólo exacerbarán estos efectos ecológicos y económicos (Yáñez-Arancibia *et al.,* 2009a), y la restauración de los humedales

costeros existentes se torna urgente para mitigar el ascenso del nivel del mar (tabla 3) (Day *et al.*, 2009; Yáñez-Arancibia *et al.*, 2007b).

Enfoque-ecosistémico hacia el manejo costero

Con 75% de superficie del planeta cubierta de agua, además de gran cantidad de aguas subterráneas, la Tierra es un planeta acuático. Un planeta azul con agua en estado sólido, liquido, gaseoso; almacenada en la atmósfera, en los continentes y en el mar. El único lugar del planeta donde converge el agua proveniente de la atmósfera (lluvia, granizo), del continente (superficial y subterráneo) y del océano, es en la región geográfica conocida como la *zona costera*. Aquí es el punto de reunión del agua dulce, el agua salada y la atmósfera. Son tres grandes fronteras ambientales naturales que le otorgan a la zona costera una condición *sui generis*, única. La zona costera es una porción geográfica considerable que abarca el mar adyacente e incluye toda la llanura costera hacia el interior del continente.

El enfoque de este trabajo indica como punto central el manejo-ecosistémico y como variables esenciales, la vulnerabilidad de las costas como sistemas biocomplejos (tabla 1), los costos reales por desastres naturales o inducidos (tabla 2), y las estrategias de mitigación hacia un manejo integrado (tabla 3). El desarrollo social y económico debe comprender los requerimientos para un manejo en términos holísticos del ecosistema, en lugar de insistir en alguna especie biológica, un uso, o actividad en particular. El enfoque-ecosistémico integrado es la situación que debe prevalecer cuando el hombre busca utilizar los recursos naturales e interrumpe la dinámica de los sistemas provocando el decremento de las utilidades. Desde el punto de vista de escalas espaciales y temporales y con la premisa de preservar la integridad ecológica del sistema, concluimos que la cuenca de drenaje en la unidad de habitats acoplados: "*cuenca baja-humedales-delta-lagunas costeras-estuario-pluma estuarina sobre la plataforma continental*", es el nivel ecosistémico óptimo para un enfoque exitoso de manejo integrado de lagunas costeras y estuarios, severamente amenazados por los impactos del cambio climático. Algunos principios fundamentales que pueden guiar el manejo ecosistémico frente a los impactos del cambio climático son:

a) Preservar la estructura básica del ecosistema y asegurar la dinámica de su funcionamiento,
b) Utilizar las entradas naturales de energía al sistema,
c) Plantear el desarrollo social y económico integrado con la dinámica natural,
d) Incorporar técnicas y métodos de ingeniería ecológica para restaurar/rehabilitar habitats esenciales degradados,
e) Definir a largo plazo las capturas sustentables de los recursos naturales extraíbles,
f) Definir a corto y medio plazo los efectos del impacto del cambio climático sobre la zona costera, particularmente en regiones del Golfo de México y Caribe y,
g) Establecer vigilancia del funcionamiento del sistema por medio de un monitoreo permanente.

Literatura citada

Boesch, D. F., 2006. Scientific requirements for ecosystem-based management in the restoration of Chesapeake Bay and coastal Louisiana. *Ecological Engineering*, 26 (1): 6-26.

Boesch, D. F., E. Burreson, W. Dennison, E. Houde, M. Kemp, V. Kennedy, R. Newell, K. Paynter, R. Orth, y R. Ulanowicz, 2001. Factors in the decline of coastal ecosystems. *Science*, 293: 1589-1590.

Boyd, R., R. Dalrymple, y B. A. Zaitlin, 1992. Classification of clastic coastal depositional environments. *Sedimentary Geology*, 80: 139-150

Cardoch, L., J. W. Day, y C. Ibáñez, 2002. Net primary productivity as an indicator of sustainability in the Ebro and Mississippi deltas. *Ecological Applications*, 12 (4): 1044-1055.

Cicin-Sain, B., y R. W. Knecht, 1998. Integrated Coastal and Ocean Management. UNESCO and University of Delaware. Island Press, Inc., Washington DC, 517 p.

Costanza, R., 1994. Ecological economics and the management of coastal and estuarine systems, p. 387-394. *In*: K. R. Dyer and R. J. Orth (eds.), Changes in Fluxes in Estuaries: Implications from Science to Management. ECSA/ERF Symposium, Institute of Marine Studies, University of Plymouth. Olsen & Olsen, International Symposium Series, 485 p.

Costanza, R., W. J. Mitsch, y J. W. Day, 2006. A new vision for New Orleans and the Mississippi delta: applying ecological economics and ecological engineering. *Frontiers in Ecology*, 4 (9): 465-472.

Day, J. W., y A. Yáñez-Arancibia, 1982. Coastal lagoons and estuaries: ecosystem approach. *Ciencia Interamericana,* 22 (1-2): 11-25.

Day, J. W., y A. Yáñez-Arancibia (eds.), 2009. The Gulf of Mexico: Ecosystem-based Management. The Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. Texas A & M University Press, College Station, TX (in press).

Day, J. W., C. A. S. Hall, W. M. Kemp, y A. Yáñez-Arancibia, 1989. Estuarine Ecology. John Wiley & Sons, Inc., New York, 558 p.

Day, J. W., J. F. Martin, L. Cardoch, y P. H. Temple, 1997. System functioning as a basis for sustainable management of deltaic systems. *Coastal Management*, 25 (2): 115-153.

Day, J. W., J. Barras, E. Clairain, J. Johnston, D. Justic, G. P. Kemp, J. Y. Ko, R. Lane, W. J. Mitsch, G. Steyer, P. Templet, y A. Yáñez-Arancibia, 2005. Implications of global climatic change and energy cost and availability for the restoration of the Mississippi delta. *Ecological Engineering*, 24: 253-266.

Day, J. W., D. F. Boesch, E. Clairain, G. P. Kemp, S. B. Laska, W. J. Mitsch, K. Orth, H. Mashriqui, D. J. Reed, L. Shabman, C. A. Simenstad, B. J. Streever, R. R. Twilley, C. C. Watson, J. T. Wells, y D. F. Whigham, 2007. Restoration of the Mississippi delta: lessons from hurricanes Katrina and Rita. *Science*, 315: 1679-1684. www.sciencemag.org

Day, J. W., R. R. Christian, D. M. Boesch, A. Yáñez-Arancibia, J. Morris, R. R. Twilley, L. Naylor, L. Schaffner, y C. Stevenson, 2008. Consequences of climate change on the ecogeomorphology of coastal wetlands. *Estuaries and Coasts,* 31: 477-491.

Day, J. W., A. Yáñez-Arancibia, y W. J. Mitsch, 2009. Management approach to address water quality and habitat loss problems in coastal wetlands: Ecotechnology and ecological engineering. Ocean Yearbook, 23: 389-402. The University of Chicago Press. 990 p.

Deegan, L. A., T. Finn, C Hopkinson, A. Giblin, B. Peterson, B. Fry, y J. Hobbie, 1994. Flow model analysis of the effects of organic matter-nutrient interactions on estuarine trophic dynamics, p. 273-281. In: K. R. Dyer and R. J. Orth (eds.), Changes in Fluxes in Estuaries: Implications from Sci-

ence to Management. ECSA/ERF Symposium, Institute of Marine Studies, University of Plymouth. Olsen & Olsen, International Symposium Series, 485 p.

De Fontaubert, A. C., D. R. Downes, y T. S. Agardy, 1996. Biodiversity in the Seas: Implementing the Convention on Biological Diversity in Marine and Coastal Habitats. IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 82 p.

Dugan, P. (ed.), 2005. Guide to Wetlands. A Firefly Book, Ltd., Ontario, Canada, 304 p.

Downing, J. A., M. McClain, R. R. Twilley, J. M. Melack, J. Elser, N. N. Rabalais, W. M. Lewis, R. E. Turner, J. Corredor, D. Soto, A. Yáñez-Arancibia, J. A. Kopaska, y R. H. Howarth, 1999. The impact of accelerating land-use change on the N-Cycle of tropical aquatic ecosystems: currents conditions and projected changes. *Biogeochemistry*, 46: 109-148.

Gregory, K. J., I. G. Simmons, A. J. Brazel, J. W. Day, E. A. Keller, A. G. Sylvester, y A. Yáñez-Arancibia, 2008. Environmental Science: A Student's Companion. SAGE Publications Ltd, London UK, 442 p.

Hoyos, C. D., P. A. Agudelo, P. J. Webster, y J. A. Curry, 2006. Deconvolution of the factors contributing to the increase in global hurricane intensity. *Science*, 312: 94-97.

IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. The Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Maltby, E., P. J. Dugan, y J. C. Lefeuvre, (eds.), 1992. Conservation and Development: The Sustainable use of Wetland Resources. Proceedings of the Third International Wetlands Conference, Rennes, France, 19-23 September 1988. IUCN, Gland Switzerland, 219 p.

Mann, K. H., 2000. Ecology of Coastal Waters with Implications for Management. Blackwell Science Inc., Malden Massachusetts, 406 p.

McKee, K., 2008. Sea level rise 1991-2009 . United States Geological Service. http://www.sealeel.colorado.edu/results.phb

Mitsch. W. J., y J. G. Gosselink, 2000. Wetlands, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 920 p.

Pauly, D., 1986. Problems of tropical inshore fisheries: fishery research on tropical soft bottom communities and the evolution of its conceptual base, p. 29-37. *In*: E. M. Borgese and N. Ginsburg (eds.). Ocean Yearbook, 6: 29-37. The University of Chicago Press, 686 p.

Pfetter, W. T., J. T. Harper, y S. O'Neal, 2008. Kinematics constraint on glacier contributions to 21st Century Sea-Level-Rise. *Science,* 321: 1340-1343.

Rahmstorf, S. 2007. A semi-empirical approach to predicting sea-level rise. *Science*, 315: 368-370.

Sánchez-Gil, P., y A. Yáñez-Arancibia, 1997. Grupos ecológicos funcionales y recursos pesqueros tropicales, p. 357-389. *In*: D. Flores Hernández, P. Sánchez-Gil, J. C. Seijo y F. Arrequín (eds.). Análisis y Diagnostico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX Serie Científica 7. 496 p.

Sánchez-Gil, P., A. Yáñez-Arancibia, M. Tapia García, J. W. Day, C. A. Wilson, y J. H. Cowan, 2008. Ecological and biological strategies of *Etropus crossotus* and *Citharichthys spiloterus* (Pleuronectiformes Paralichthyidae) related to the estuarine plume, Southern Gulf of Mexico. *Journal of Sea Research,* 59 (3): 173.185.

Scura, L. F., T. E. Chua, M. D. Pido, y J. N. Paw, 1992. Lessons for integrated coastal management: The Asian experience, p. 1-68. *In:* T. E. Chua and L. F. Scura (eds.), Integrative Framework and Methods for Coastal Area Management. ICLARM Conference Proceedings 37.

Smith, R. D., y E. Maltby, 2003. Using the Ecosystem Approach to Implement the Convention on Biological Diversity: Key Issues and Case Studies. IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 118 p.

Schwartz, M. (ed.), 2005. The Encyclopedia of Coastal Sciences, Springer, Dordrecht, The Netherlands. 1211 p.

UNCED, 1992. United Nations Conference on Environment and Development. Agenda 21, Chapter 17. Rio de Janeiro, Brazil.

Yáñez-Arancibia, A., 1999. Terms of reference towards coastal management and sustainable development in Latin America: Introduction to special issue on progress and experiences. *Ocean & Coastal Management* 42 (2-4): 77-104.

Yáñez-Arancibia, A., 2000. Coastal management in Latin America. Chapter 28: 447-456. *In:* C. Sheppard (ed.), The Seas at The Millennium: An Environmental Evaluation. Elsevier Science Ltd. 3 vols. 2400 p.

Yáñez-Arancibia, A., 2005. Middle America, coastal ecology and geomorphology, p. 639-645. *In: M.* Schwartz (ed.), The Encyclopedia of Coastal Sciences. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 1211 p.

Yáñez-Arancibia, A., A. L. Lara-Domínguez, P. Sánchez-Gil, y J. W. Day, 2007a. Estuary-sea ecological interactions: a theoretical framework for the management of coastal environment, p. 271-301. *In*: K. Withers and M. Nipper (eds), Environmental Analysis of the Gulf of Mexico. Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, Special Publication No. 1, Texas A&M University-Corpus Christi, 700 p.

Yáñez-Arancibia, A., J. W. Day, R. R. Twilley, y J. W. Mitsch, 2007b. Enfoque-ecosistémico para restaurar humedales costeros ante los cambios globales. *Ambientico*, 165: 35-38.

Yáñez-Arancibia, A., J. W. Day, W. J. Mitsch, y D. F. Boesch, 2006. Following the ecosystem approach for developing projects on coastal habitat restoration in the Gulf of Mexico. Commission on Ecosystem Management Newsletter 5, 2006, Highlights News, CEM-IUCN, Gland Switzerland. www.iucn.org/themes/cem/documents/cem/membes_2006/restoration_esa_a.yanez_arancibia_nov2006.pdf

Yáñez-Arancibia, A, J. J. Ramírez-Gordillo, J. W. Day, y D. Yoskowitz, 2009a. Environmental sustainability of economic trends in the Gulf of Mexico: What is the limit for Mexican coastal development?, Chapter 5: 82-104. *In:* J. Cato (ed.) Ocean and Coastal Economy of the Gulf of Mexico, The Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, Texas A&M University Press, College Station, TX, 110 p.

Yáñez-Arancibia, A, J. W. Day, B. A. Knoppers, y J. A. Jiménez, 2009b. Coastal lagoons and estuaries: ecosystem-based management. *In:* L. M. Fanning & R. Mahon (eds.) Marine Ecosystem Based Management in the Caribbean. The University of Dalhousie, Nova Scotia Canada, and the University of West Indies, Barbados. (in press).

Yáñez-Arancibia, A, J. W. Day, y B. Currie-Alder 2009c. The Grijalva-Usumacinta river delta functioning: challenge for coastal management. Ocean Yearbook, 23: 473-501. The University of Chicago Press, 990 p.

Sánchez Montante, O., 2010. Elementos oceánicos que impactan la hidrología costera, p. 23-32. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Elementos oceánicos que impactan la hidrología costera

Orzo Sánchez Montante

Resumen

En esta sección se describen los elementos de la interacción océano-atmósfera que impactan la hidrología costera y los recursos hídricos disponibles. En este contexto se recopilan los resultados que se han encontrado en el dominio público, derivado de los estudios de la interacción océano-atmosfera y su impacto en el cambio climático, así como también de las proyecciones de las variables oceánicas en escenarios de cambio climático. En el desarrollo del texto se hace hincapié en la relación bilateral que existe entre las variaciones en los procesos que conforman el ciclo hidrológico del agua y los elementos oceánicos que impactan en el cambio climático actual a través de los procesos de interacción océano-atmósfera.

Introducción

Aún cuando aproximadamente 10% de la superficie terrestre esta constituida por glaciares y casi el 80% del agua continental (agua dulce) es almacenada en la forma de hielo (Untersteiner, 1984), la mayor parte de los recursos hídricos son originados por la precipitación meteorológica, en sus diferentes formas (agua líquida y sólida). En términos medios, el territorio mexicano percibe una precipitación de alrededor de los 700 mm por año (García, 2003). Aproximadamente 72% se evapora y el resto constituye la recarga de los reservorios por escurrimiento fluvial (25%) e infiltración subterránea (3%) (Conagua, 2007). La mayor parte de la precipitación (67%) se presenta durante los meses del verano (mayo-octubre) (Mosiño y García, 1974). La disponibilidad del recurso se evalúa en términos de la cantidad natural del agua *per capita*. La distribución regional de la precipitación en México depende en gran medida de la proximidad a las costas, del relieve orográfico y de las características sinópticas de la circulación atmosférica (García, 2003). No obstante la región sureste del país tiene una disponibilidad 7 veces mayor que el resto del país (Conagua, 2007). Los estudios recientes indican variaciones relativas a la precipitación total anual, de incremento en las zonas áridas, semiáridas (1.8%) y lluviosas (0.9%) pero también de decremento de 1.2% en las regiones húmedas (Mendez *et al.*, 2008).

Los recursos hídricos son transportados en forma natural a través del ciclo hidrológico mediante flujos de vapor atmosférico, corrientes oceánicas, descargas de ríos, escurrimientos e infiltraciones subterráneas. El transporte de estos recursos se realiza entre los diversos reservorios en que se almacenan, tales como glaciares, cuencas oceánicas y fluviales, estuarios, lagos, mantos acuíferos y otros reservorios de ingeniería humana. El transporte efectivo entre un reservorio y otro es considerada la recarga del mismo. Los recursos hídricos son considerados renovables en el supuesto de que existen fuentes de recarga para estos, excepto de aquellos que yacen en bolsones de aguas subterráneas fósiles. Es decir, acuíferos existentes, que actualmente por modificaciones climáticas o cambios orográficos ocurridos en tiempos geológicos, ya no tienen fuente de recarga (Davis y De Weist, 1967). Los volúmenes de recarga y las razones de transferencia entre uno y otro reservorio son muy variables en tiempo y espacio a lo largo del planeta (Chahine, 1992).

Actualmente hay una gran preocupación por mitigar los impactos que se perciben en estos recursos debido a diferentes factores tales como la degradación de las zonas costeras adyacentes a centros urbanos y turísticos, las altas tasas de explotación de recursos naturales, entre otros los pesqueros, los altos índices de contaminación e impacto ambiental en sus ecosistemas y los cambios ambientales que inciden en la distribución y abundancia de humedales y de la fauna marino costera (peces, aves y mamíferos). La acción conjunta de estos factores induce una mayor vulnerabilidad de los recursos hídricos a los efectos del cambio climático global. La magnitud del impacto potencial asociado a esté depende tanto de las tendencias de variación en el volumen y calidad del agua de las recargas que son transportados por los distintos flujos hidrológicos, como de las características propias del sistema y de su capacidad para sobrellevar las presiones antropogénicas ejercidas sobre el sistema. Por lo que se puede anticipar que la pre-

servación de los recursos hídricos dependerá de la forma en que se aplique la gestión de manejo y las adaptaciones al cambio climático actual.

Es preciso tener presente que el vapor de agua, una de las formas de existencia de los recursos hídricos, es uno de los gases de invernadero que mayormente contribuyen al calentamiento global del planeta en conjunto con otros gases tales como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y ozono (O_3). La conformación de nubes, en la que interviene el vapor de agua, es uno de los procesos hidrológicos que se llevan a cabo en una de las escalas temporales más rápidas en el clima terrestre. La nubosidad y el ambiente de vapor de agua en el que estas se encuentran, modulan el balance de radiación del planeta, por lo que los modelos climáticos y los pronósticos acertados del tiempo atmosférico requieren de una cuidadosa representación paramétrica de los procesos hidrológicos que se presentan en las nubes. En contraparte, el desarrollo de la estructura dinámica y termodinámica del océano es responsable de la modulación del clima en escalas largas de tiempo. De tal forma, los procesos de interacción océano-atmósfera son responsables de la rectificación temporal de los procesos hidrológicos de alta frecuencia que incide en las variaciones del clima de baja frecuencia. Asimismo los procesos costeros que intervienen en el ciclo hidrológico del agua se llevan a cabo en distintas escalas espacio-temporales. El impacto potencial en la hidrología costera relativo al cambio climático actual, está intrínsecamente relacionado con la acción de los procesos de interacción océano-atmósfera en el entendido de que estos modulan el clima. La determinación de las tendencias en los procesos hidrológicos es la tarea actual de la modelación climática regional en escenarios de cambio climático (Conde, 2003; Gay *et al.*, 2006; Bindoff *et al.*, 2007).

Interacción océano-atmósfera y el cambio climático actual

La tendencia de calentamiento del clima actual ha sido evidenciada por las diversas observaciones del incremento de las temperaturas oceánicas y atmosféricas, derretimiento de glaciares y el incremento del nivel del mar. Estas condiciones tienen asociadas variaciones de mayor amplitud en los niveles de inundación y en la intensidad de vientos y corrientes dominantes, las cuales inducen un mayor grado de erosión costera y de intrusión de agua marina en los reservorios de agua continental con una consecuente degradación de humedales (Titus, 1987). Una menor extensión en estos ecosistemas representa también una menor retención de carbono, mayor liberación de dióxido de carbono y otros gases de invernadero responsables de más del 60% de las tendencias de calentamiento en el cambio climático actual. Asimismo los humedales representan sistemas ecológicos de protección al paisaje costero (natural y urbano) de primera línea. Las playas, dunas, estuarios y manglares, entre otros humedales costeros están integralmente adaptados de forma natural para mitigar los incrementos del nivel mar, la intensidad del oleaje, corrientes y vientos dominantes. No obstante, los cambios previstos como resultado del cambio climático se realizan con mayor rapidez en comparación con el índice de cambio natural a los que estos sistemas están adaptados. En algunas regiones se suma

el impacto de tormentas, incrementando aún más la amplitud de las variaciones de las condiciones físicas antes mencionadas además del régimen local de precipitación y de los consecuentes escurrimientos pluviales e infiltraciones subsuperficiales. La amplitud y la gravedad de los impactos de tormentas, incluidas las inundaciones por temporales y las sobre-elevaciones instantáneas del nivel mar, se ha previsto como un efecto asociado al cambio climático actual. Aunque no esta bien entendido si un incremento en la actividad de tormentas es una respuesta de retroalimentación positiva o negativa del clima oceánico-atmosférico.

Asociado a la formación de nubes y la existencia de la biosfera terrestre, el albedo actual de la Tierra (aproximadamente igual a 0.3) actúa en conjunto con el efecto invernadero confiriendo al planeta una temperatura cerca de 5 veces mayor a la del punto de congelación del agua (Webster, 1994). Razón por la cual la mayor cantidad de agua en el planeta se encuentra en forma líquida. Es bien sabido que los océanos contienen en una gran extensión la mayor parte del agua líquida del planeta, y que debido a las propiedades salinas del agua marina, funcionan como un factor regulador del balance de las distribuciones de calor, momento y la densidad de una gran cantidad de gases que intervienen en la actividad atmosférica, tales como el oxigeno y CO_2 entre otros. Por lo que en términos generales funciona como regulador del clima global, más aún si se considera la diversa biósfera que alberga y que es en gran medida el responsable del intercambio de sustancias climatológicamente activas con la atmósfera. Es mediante este proceso de intercambio que la biosfera marina contribuye en la modulación de las características de la superficie del planeta a través de la constitución de gases en la atmósfera y la turbidez del océano.

Así por ejemplo, el CO_2 absorbido en el océano mediante la fotosíntesis es transferido en un gran porcentaje hacia la atmósfera, a través de un ciclo regular y estable, no obstante una porción menor es sedimentada y almacenada en las profundidades del océano y retenida en periodos que exceden los 500 años. El secuestro de CO_2 que constituye la bomba a largo plazo de esta misma sustancia, es en gran medida dependiente de la estructura y distribución de la comunidad de plancton que a su vez depende las condiciones del clima. Otro ejemplo en el que también interviene de manera importante la comunidad de plancton, reside en la producción de dimetilsulfuro, el cual es un gas de azufre producido por el plancton y que los océanos liberan continuamente en pequeñas cantidades hacia la atmósfera, en donde se oxida para formar partículas que reflejan la radiación solar tanto de forma directa como a través del aumento en la densidad de gotas de agua que forman las nubes. En este sentido el azufre de origen oceánico funciona como un gas de anti-invernadero, es decir de efecto contrario al efecto invernadero, debido a su contribución en el aumento de nubosidad la cual absorbe parte de la radiación solar que incidiría en el mar en condiciones sin nubosidad. El resultado de este proceso es el de un menor calentamiento de la superficie del mar e incluso en la prolongación de los episodios de eventos meteorológicos extremos.

No obstante el océano actúa en forma bidireccional a la tendencia de cambio climático actual. El incremento de las concentraciones de los gases de invernadero y en consecuencia el de la temperatura, atmosférica y oceánica, son características del cambio climático actual que

inducen un incremento en el régimen regional de mezcla oceánica vertical, afectando de este modo la disponibilidad de nutrientes para el fitoplancton y en última instancia para la producción pesquera. Por su parte el incremento en las concentraciones oceánicas de CO_2, aumenta la acidez del agua marina, impidiendo a los corales generar carbonato cálcico o la transformación de calcio necesaria para la supervivencia de los moluscos y el plancton calcáreo. La excedente absorción de CO_2 en complemento con una alta absorción de nutrientes, principalmente nitrógeno proveniente de la quema de combustibles fósiles y el vertimiento de residuos y fertilizantes agrícolas, producen bajas concentraciones de oxigeno en el agua marina. Estas condiciones de hipoxia no son favorables para la sobrevivencia de peces, moluscos y otros organismos marinos, lo que ha dado como resultado la conformación de "zonas muertas" en el océano.

Condiciones actuales

La tendencia de calentamiento global observada en décadas pasadas es consistente con los patrones de cambio observados en el océano, tal como el contenido de calor oceánico, salinidad, nivel del mar, expansión térmica, evolución de las masas de agua y parámetros biogeoquímicos. Estos cambios son también consistentemente asociados con las variaciones observadas en los procesos del ciclo hidrológico, tales como régimen de precipitación, densidad del vapor de agua atmosférica, tasas de evaporación y descarga de ríos. Sin embargo, se tienen incertidumbres significativas en las tendencias de las variables hidrológicas, debido principalmente a las limitaciones en espacio y tiempo de la resolución espacial y temporal de las redes de monitoreo (Houghton *et al.*, 2001).

Contenido de calor oceánico

El cambio en el contenido de calor oceánico representa el cambio en el promedio vertical de la temperatura de un volumen de agua marina. Esta variable oceanográfica es utilizada para determinar la cantidad de calor que fluye a través de la superficie oceánica hacia la atmosfera y que es absorbida por ésta en el proceso de evaporación. La condensación del vapor de agua liberado en este proceso de evaporación por flujo de calor latente, dispone energía calorífica que se manifiesta en la intensificación de la circulación del viento y de la precipitación atmosférica. Es en este contexto que el contenido de calor oceánico superficial, hasta 200 m de profundidad, es una variable que está siendo utilizada para pronosticar la intensificación repentina de huracanes (Mainelli *et al.,* 2008).

En el periodo de 1961 a 2003, la temperatura global del océano se incremento en 0.10°C desde la superficie hasta los 700 m de profundidad. Esto es 7.4 veces menor que el calentamiento estimado en la atmosfera, desde la superficie hasta la troposfera media. De acuerdo IPCC (tercer reporte de cálculos), el contenido de calor oceánico se ha incrementado en la profundidad media de 3 000 m, equivalente a la energía promedio global absorbida de 0.2 Wm^{-2} en el periodo 1961-2003. Aproximadamente 65% de esta energía es absorbida en los primeros

700 m de profundidad (Willis *et al.*, 2004). Las observaciones del contenido de calor oceánico indican una variabilidad interdecadal superpuesta a una tendencia de largo plazo. Relativa al periodo 1961-2003, el periodo 1993-2003 se caracterizó por las máximas razones de calentamiento. Posterior al periodo del año 2003 se ha venido registrando un decremento en las tasas de calentamiento.

Cambio en el nivel del mar

El volumen de los océanos se ha incrementado como consecuencia del calentamiento global que induce la expansión térmica del agua marina. El resultado de esta expansión marca la tendencia de incremento del nivel del mar en las últimas décadas. La altura del nivel del mar en las zonas costeras determina los niveles de inundación de las planicies costeras. El incremento en la altura de esta variable induce un decremento en las descargas de ríos, principalmente en costas de escasa pendiente. De tal manera que los niveles de inundación no solo son determinados por el potencial arribo del agua marina sobre las planicies costeras, sino también por el aumento del nivel de agua en las cuencas fluviales. En estas condiciones los suelos de las zonas costeras inundables se saturan, los mantos acuíferos se salinizan, afectando la producción intermareal de los ecosistemas costeros y en última instancia el intercambio de gases en las regiones de humedales (Webster, 1994). Incrementado el nivel del mar se exacerban los riesgos de las planicies costeras al impacto de las tormentas.

Durante los últimos 100 años, el nivel del mar se ha elevado en el promedio global entre 10 y 20 cm, o bien 1 a 2 mm/año (Bindoff *et al.*, 2007). En el periodo de 1993 a 2003, utilizando mediciones de altimetría satelital, se ha evaluado un incremento de 3.1±0.7 mm/año, sin embargo no está bien entendido si este incremento es debido a fluctuaciones en la variabilidad interdecadal o de más largo plazo (Davis y De Wiest, 1967). Las tasas de cambio registradas en el Golfo de México varían de 3 a 5 mm/año en las costas de Texas y Louisiana así como en otras regiones costeras del Golfo de México nororiental. Estas variaciones han sido asociadas a las diferencias regionales en la extracción de agua del subsuelo e hidrocarburos submarinos, la compactación de suelos fangosos, efectos isostáticos y de subsidencia así como también por levantamientos tectónicos.

Las proyecciones de los modelos climáticos en los próximos 100 años indican que el calentamiento global acelere la razón de incremento del nivel del mar principalmente debido al derretimiento de los glaciares y en menos grado a la expansión térmica del agua oceánica (Bindoff *et al.*, 1007). El rango de los modelos de proyección de los más recientes cálculos en el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) abarca incrementos de 9 a 88 cm en el promedio global para el 2100. Estas proyecciones son consistentes con estudios previos (Houghton *et al*., 2001). Aunque la emisión de los gases de invernadero sean estabilizados, la razón de cambio del nivel del mar continua aumentando en el promedio global más allá del 2100. Esto debido al tiempo que requieren los océanos y las capas de hielo para aproximarse a las condiciones de equilibrio con la atmósfera. Las diferencias regionales en el movimiento

terrestre y el impacto climático en la presión atmosférica y los vientos a lo largo de la costa producen diferencias en el nivel del mar relativo a los márgenes continentales. Incertidumbres del nivel del mar local futuro son mayores al 50% que para el promedio global del nivel del mar (Houghton *et al.*, 2001).

Circulación oceánica

Las corrientes oceánicas, los frentes costeros y las regiones de surgencias o sumergencias son de gran importancia en la distribución y producción de ecosistemas marinos. Las características de estos componentes de la circulación oceánica son susceptibles de variación en respuesta a las fluctuaciones en temperatura, precipitación, descarga de ríos, salinidad y viento. El incremento en el flujo de agua continental tiene como resultado una estratificación más estable, un potencial incremento en las corrientes de densidad y un potencial decremento en el flujo vertical de nutrientes. Estas condiciones favorecen el incremento de la productividad biológica en algunos sistemas permitiendo que los organismos permanezcan en la zona fótica. Estos cambios ocurren en un intervalo de escalas que varían de la escala pequeña de mezcla turbulenta a la circulación de gran escala. Por lo que el estudio de su proyección en modelos que consideran escenarios de cambio climático ha sido complicado.

El análisis de los datos de salinidad entre 1955 y 1998 mostrados en Bindoff *et al*. (2007), indica tendencias coherentes caracterizadas por un decremento de salinidad en las latitudes subpolares principalmente del Océano Pacifico y un incremento en las regiones someras de las latitudes tropicales de los océanos Atlántico e Indico. Estas tendencias son consistentes con los cambios en el régimen de precipitación, induciendo transportes atmosféricos meridionales de vapor de agua más intensos de los trópicos hacia los polos y zonales del Pacifico hacia el Atlántico. No obstante, no hay indicios de cambios en la circulación oceánica. Únicamente se han identificado calentamientos en algunos patrones semipermanentes de la circulación oceánica regional subsuperficial (circulación circumpolar profunda) y superficiales (corrientes de frontera oeste del Atlántico y Pacifico norte).

Regimen de precipitación atmosférica

En la escala global, cambios en la producción de vapor de agua, nubosidad y extensión de capas de hielo modulan el balance de radiación del planeta y con este la respuesta del clima al incremento en las concentraciones de gases de invernadero. De la misma forma, el incremento en la temperatura, es quizás el impacto potencial de mayor importancia en el efecto de la distribución global de la precipitación y la frecuencia de tormentas y sequias severas. No obstante la determinación de las variaciones y las tendencias de la precipitación sobre los océanos es aún una tarea pendiente ya que se tienen limitaciones de cobertura espacio-temporal de los monitoreos.

Tormentas costeras

El número de huracanes en años consecutivos ha estado variando por un factor mayor que 3. Aun cuando las tendencias en la frecuencia de ocurrencia de huracanes no son atribuidas al cambio climático actual, se tiene identificada una modulación importante por parte del modo de variación interdecadal en la variabilidad de huracanes en el Atlántico Norte, resultando en una alta actividad ciclónica durante el periodo de 1941-1965 y la década de los 90 (Landsea, 1993). Nguyen y Walsh (2001) prevén la posibilidad de que disminuya la frecuencia de ocurrencia de ciclones tropicales en el Atlántico Norte, durante el futuro próximo, debido a la tendencia actual de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical a permanecer por encima de la media climatológica, especificando una condición climatológica cálida característica de condiciones de El Niño, en las cuales se ha observado una baja actividad ciclónica en el Atlántico Norte (Pielke y Landsea, 1998). Aun cuando ha sido difícil identificar efectos del cambio climático en la frecuencia de ocurrencia de huracanes, se espera que la intensidad de los vientos en un huracán se incrementen como resultado de la permanencia de altas temperaturas superficiales del océano. Las investigaciones de Knutson y Manabe (1998) y Knutson y Tuleya (1999) mostraron que un incremento del 5-10% en la intensidad del viento de huracanes es posible con un calentamiento de 2.2 °C en la superficie del mar. Para un huracán moderado, un incremento semejante en la intensidad del viento se traduce en un incremento del 25% en el poder destructivo de los vientos. La altura del oleaje de tormenta puede incrementarse en la misma proporción, amplificándose los impactos en la hidráulica costera. Otras investigaciones sugieren que los ciclones que ocurrirán en el Atlántico Norte serán de mayor intensidad (Kerr, 1999). Además de los cambios potenciales en la frecuencia de ocurrencia y la intensidad de los ciclones tropicales, las precipitaciones costeras torrenciales y las mareas de tormentas excedentes resultan en un incremento mayor del nivel del mar, lo cual representa una mayor vulnerabilidad de las líneas de costa.

Conclusión

Los recursos hídricos mantenidos por el ciclo hidrológico del agua son renovados en gran parte por el régimen de precipitación atmosférica. Como resultado de las condiciones del relieve orográfico y de la distribución espacial de la precipitación en el territorio mexicano, la región sureste está caracterizada por una disponibilidad de agua 7 veces mayor que el resto del país. Los estudios de proyección de las tendencias de cambio en el régimen de precipitación indican un panorama que favorece la renovación del recurso hídrico en las zonas áridas, semiáridas y lluviosas. Sin embargo está previsto un decremento de la precipitación en las regiones húmedas.

Las variaciones en las condiciones oceánicas que han sido identificadas consistentemente con el cambio climático actual son: incremento en el contenido de calor oceánico, incremento del nivel del mar, cambio en la distribución de la salinidad y cambio en las concentraciones de los componentes bioquímicos. Estas características no son espacialmente uniformes a lo

largo del planeta, en algunas regiones los incrementos son más intensos que los valores medios reportados, y en algunos otros las variaciones pueden tener una tendencia contraria a la tendencia media. El impacto que estos elementos oceánicos tienen sobre los procesos hidrológicos costeros es, directamente debido al riesgo de incremento en los niveles de inundación, e indirectamente, debido al potencial incremento de los flujos sinópticos de vapor de agua, asociado a los cambios en la distribución de la salinidad de los océanos, y en escalas regionales, debido a la tendencia de cambio del régimen de precipitación por presentarse tormentas más intensas y de menor duración. Por lo que una cuantificación acertada del impacto potencial en los recursos hídricos regionales requiere del monitoreo constante de las variables ambientales que caracterizan el sistema marino-costero.

Agradecimientos

Al apoyo otorgado para la realización del proyecto SIP 20090608 del Instituto Politécnico Nacional.

Literatura citada

Bindoff, N.L., J. Willebrand, V. Artale, A, Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Quéré, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L.D. Talley, y A. Unnikrishnan, 2007. Observations: Oceanic climate change and sea level. *I n*: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United, Kingdom and New York, NY, USA.

Chahine, M., 1992. The hydrological cycle and its influence on climate. *Nature*, 359: 373-380.

Conde, C., 2003. Cambio y Variabilidad Climáticos. Dos Estudios de Caso en México. Tesis para obtener el Doctorado en Ciencias de la Tierra. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. 227 p.

Conagua, 2007. Estadísticas del agua en Mexico, Semarnat.

Davis S., y R. De Wiest, 1967. Hidrogeología, Ed. Ariel. Barcelona, España.

García, E., 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. Investigaciones Geográficas, Boletín No. 50, Instituto de Geografía. UNAM, México.

Gay, C., C. Conde, y O. Sánchez, 2006. Escenarios de Cambio Climático para México. Temperatura y Precipitación. www.atmosfera.unam.mx/cambio/escenarios/escenarios_3A_mapas_y:datos.htm.

Houghton, J.T., *et al.* (eds.), 2001. Climate Change the Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and NY, USA, 881 p.

Kerr, R.A., 1999. Big El Ninos ride the back of slower climate change. *Science*, 283: 1108-1109.

Knutson, T. R., y S. Manabe, 1998. Model assessment of decadal variability and trends in the tropical Pacific Ocean. *J. Climate,* 11: 2273–2296.

Knutson, T. R., y R. E. Tuleya, 1999. Increased hurricane intensities with CO_2 induced warming as simulated using the GFDL hurricane prediction system. *Climate Dyn*., 15: 503–519.

Landsea, C. W., 1993. A climatology of intense (or major) Atlantic hurricanes. *Mon. Wea. Rev.*, 121: 1703-1713.

Mendez, J., J.J. Navar, y V. Gonzalez, 2008. Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. Investigaciones Geográficas, *Boletín del Instituto de Geografía*, 65 (2008) 38-55.

Mainelli, M., M. DeMaria, L. Shay, y G. Goni, 2008. Application of oceanic heat content estimation to operational forecasting of recent Atlantic category 5 hurricanes. *Weather and Forecasting*, 23: 3-16.

Mosiño, P.A., y E. García, 1974. The climate of Mexico. World survey of climatology. p. 345-404. *In*: R. A. Bryson and F. K. Hare (eds.) Climates of North America vol. II. London, Elsevier.

Nguyen K.C., y K.J. Walsh, 2001. Interannual, decadal, and transient greenhouse simulation of tropical cyclone–like vortices in a regional climate model of the South Pacific. *Journal of Climate*, 14: 30043-3054.

Pielke Jr. R.A., y C.W. Landsea, 1998. Normalized hurricane damages in the United States, 1925-1997. *Weather and Forecasting*, 13: 351-361.

Titus, J., 1987. Sea level rise and wetland loss: an overview. *In*: EPA (Environmental Protection Agency). Greenhose effect sea level rise and Coastal Wetlands. USA. 35 p.

Untersteiner, N., 1984. The cryosphere. p. 121-137. *In:* J. T. Houghton (ed.) The Global Climate, Cambridge University Press, New York.

Webster, P.J., 1994. The role of hidrologycal processes in ocean-atmosphere interactions. *Reviews of Geophysics*, 32(4): 427-476.

Willis, J.K., D. Roemmich, y B. Cornuelle, 2004. Interannual variability in upper-ocean heat content, temperature and thermosteric expansion on global scales. *J. Geophys. Res*., 109, C12036, doi:10.1029/2003JC002260.

Azuz Adeath I., 2010. Evidencias de cambios de largo plazo en algunas variables climáticas de los estados costeros de México. p. 33-60. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Evidencias de cambios de largo plazo en algunas variables climáticas de los estados costeros de México

Isaac Azuz Adeath

Resumen

Las políticas públicas orientadas a la gestión integral de la zona costera, que consideren en el largo plazo los efectos potenciales del cambio climático, requieren estudios de carácter regional, que permitan evidenciar y cuantificar los fenómenos que se manifiestan en la región litoral, con el fin de proponer estrategias de mitigación o adaptación. A partir del análisis descriptivo y correlacional de los registros mensuales de la temperatura máxima reportada en los estados costeros de México durante el período 1971-2009, en conjunto con información referente a la temperatura superficial del mar y los índices de algunas anomalías de largo plazo, el presente capitulo busca identificar si el calentamiento global de la superficie terrestre y marina, es una señal del cambio climático visible en los estados costeros mexicanos. Los resultados mostraron que durante los últimos años, los estados costeros de México han experimentado una tendencia al calentamiento. Dicho comportamiento se puede observar de manera más marcada en la región del Pacífico y Mar de Cortés. Se observó la influencia de las temperaturas superficiales oceánicas sobre los estados costeros, particularmente en la costa oeste, donde los estados de Nayarit y Oaxaca presentaron un aumento significativo de la temperatura máxima, cuando el análisis se realizó por mes, a lo largo de los 39 años de registro. Por el momento y dada la longitud del registro analizado, no es posible establecer con claridad si los incrementos observados se pueden atribuir al cambio climático global o a fenómenos de interacción océano-atmósfera de carácter oscilatorio con frecuencias del orden de décadas. Los resultados plantean la necesidad de adecuar los referentes de planeación para la adecuada gestión de estos espacios territoriales.

Introducción

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), reporta que la temperatura global de la superficie terrestre ha aumentado 0.74°C ± 0.18°C entre 1906 y 2005 (Trenberth *et al.,* 2007); por su parte, entre 1961 y 2003 la temperatura global de los océanos ha experimentado un incremento de 0.1°C en las capas que se extienden desde la superficie hasta 700 m de profundidad (Bindoff *et al.*, 2007).

Se asume que este calentamiento global reciente del planeta tiene su origen en el efecto invernadero que producen diferentes gases atmosféricos (*e.g.* dióxido de carbono CO_2, metano CH_4, óxido nitroso N_2O, alocarbones y exaflourido de azufre SF6), cuyo incremento se ha asociado a las actividades y estilos de vida que el ser humano adoptó a raíz de la revolución industrial, y la influencia que el desarrollo de la civilización ha tenido en el balance de las fuerzas radiantes del planeta.

Si bien, a lo largo de las diferentes eras geológicas la tierra ha pasado por estados de calentamiento y enfriamiento global, Caldeira y Wicket (2003) estiman, que de continuar con las tasas actuales de emisión/captura de carbono atmosférico dentro de 300-400 años se habrán liberado 5 000 gigatoneladas de Carbono. Este sería un nivel nunca antes experimentado por el planeta en los últimos 50 millones de años, produciendo condiciones similares a la era Cenozoica, en la cual, la actividad volcánica intensa y continua, produjo una temperatura media que impedía la formación de hielo en los polos (Zachos *et al.*, 2008).

La gestión marina y costera como un proceso de múltiples escalas, debe tener presentes estos antecedentes del comportamiento geológico de la tierra, pero con un enfoque que le permita actuar en escalas de interés para el ser humano.

En el largo plazo, las modificaciones globales que se pudieran presentar en el clima del planeta tendrán importantes consecuencias sobre las regiones litorales, entre las que se deben resaltar:

- Un aumento acelerado (en escalas de tiempo geológicas) del nivel medio del mar, como consecuencia de la expansión térmica del océano y por el derretimiento de los hielos polares.
- Modificaciones de los regímenes pluviométricos, y en la intensidad y frecuencia de los eventos meteorológicos extremos, como consecuencia de las alteraciones en los patrones de circulación del océano y la atmósfera.
- Modificaciones en el pH del océano (acidificación) como consecuencia de la incorporación de más carbono en los ciclos biogeoquímicos.
- Modificaciones en la distribución de salinidad y temperatura de las capas superficiales y medias del océano.

De acuerdo con el IPCC, durante el siglo XX, el nivel medio del mar ha aumentado a una tasa global de 1.7 ± 0.5 mm/año, presentando una importante variación en escalas de décadas. Para el periodo 1993-2002, mediciones de altimetría satelital establecieron aumentos de 3.1 ± 0.7 mm/año en dicho nivel (Bindoff *et al.*, 2007).

Como consecuencia de estos fenómenos de largo plazo, son de esperarse impactos de diferentes magnitudes y extensiones geográficas, cuando menos en los siguientes aspectos:

- Aumento de la vulnerabilidad (social, económica y ecológica) y la probabilidad de riesgo de las regiones costeras.
- Cambios en los flujos sedimentarios, de nutrientes y en el transporte de contaminantes (*e.g.* modificaciones en los aportes de sedimentos de origen terrestre hacia la costa, intensificación de los procesos erosivos en las playas, aumento en los aportes de fosfatos, nitratos, contaminantes y residuos, asociados con actividades realizadas en tierra)
- Cambios en los patrones de las corrientes oceánicas, vientos, nubosidad, precipitación y zonas de surgencia, cuyas repercusiones pueden ser importantes en la distribución, presencia, estacionalidad e incluso sobrevivencia de especies biológicas tanto de importancia comercial (*e.g.* pesquerías) como ecológica (*e.g.* especies endémicas).
- Alteraciones en la biota marina y costera (*e.g.* blanqueamiento de los corales, cambios en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas de microorganismos, modificaciones en la distribución de zonas de humedales, en particular de manglares, etc.).
- Modificaciones en las plagas y enfermedades en los ámbitos de la salud humana, la producción pesquera, acuícola, ganadera y forestal.
- Impactos sobre zonas de cultivo (*e.g.* extensión y periodicidad de los ciclos de cultivo) y sobre la viabilidad de mantener productos agrícolas "históricos" o "tradicionales".
- Impactos generales en el ámbito socio-económico (incluida infraestructura).

Sin perder la perspectiva global, para afrontar estos retos de gestión en el largo plazo, es necesario contar con datos y estudios de carácter regional para, tal como lo indica Twilley (2007), evaluar los impactos del cambio climático que ocurren de manera local y que pueden tomar muchas formas de acuerdo al lugar que se analice.

En el caso particular de las zonas costeras y marinas de México, la disponibilidad de datos locales (registrados *in situ*) que permitan hacer análisis regionales (amplia cobertura espacial) y de largo plazo (extensas series temporales) es limitada y carente de una aproximación multidisciplinaria. Iniciativas recientes como la instalación de la Comisión Nacional Coordinadora de Investigación Oceanográfica (CONACIO) en el 2006 y el Observatorio Marino Costero Jacques-Yves Cousteau en el 2009, buscan subsanar esta deficiencia de información.

El objetivo del presente capítulo es presentar un análisis descriptivo de diferentes variables climáticas que se registran en la zona costera, en conjunto con información oceánica y atmosférica de gran escala, enfocado en los cambios de largo plazo (respecto a valores promedio) que ya pudieran estarse manifestando a escala regional.

Si bien este estudio se centra en el comportamiento de las temperaturas máximas mensuales registradas en los estados costeros de México, se complementa con información de las anomalías en la temperatura superficial del mar y en algunos índices de oscilaciones de largo plazo y fenómenos episódicos de gran escala como las condiciones de "El Niño" y "La Niña", fundamentales para entender los procesos de interacción océano/atmósfera (ver en esta misma obra una descripción de dichos procesos en Sánchez-Montante, p. 23-32).

Para el caso de los estados costeros de México se consideró el registro mensual de la temperatura máxima promedio por estado, para el periodo 1971-2009 (SMN-Conagua, 2010).

En el caso de las variables oceánicas y atmosféricas de gran escala se consideró información de los siguientes fenómenos y procesos:

a) Datos mensuales del índice de la Anomalía Multidécada del Atlántico (MOA).

b) Datos mensuales del índice de la Anomalía Decadal del Pacífico (PDO).

c) Datos mensuales del índice de "El Niño" (ENSO).

d) Datos mensuales de la anomalía de la temperatura superficial del mar para el Hemisferio Norte (TSS).

En México el tema del impacto del cambio climático en las zonas costeras se ha tratado a partir de diferentes aproximaciones:

a) Desde la óptica de las políticas públicas (*e.g.* Estrategia Nacional de Cambio Climático, 2007; Programa Especial de Cambio Climático 2009 y Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático);

b) Desde la perspectiva de las condiciones y acciones del país (*e.g.* Martínez *et al.,* 2004);

c) Con una visión ecosistémica (*e.g.* Yañez-Arancibia *et al.*, 2010);

d) Con un enfoque ambiental (*e.g.* Vazquéz-Botello *et al.,* 2010);

e) Definiendo estrategias de adaptación (*e.g.* Levina *et al.*, 2007);

f) Como un elemento para la gestión costera (*e.g.* Rivera-Arriaga *et al.*, 2010).

En este sentido el presente estudio buscó responder a las preguntas: ¿existe un incremento significativo en la temperatura de los estados costeros de México? , ¿Cuáles serían las posibles causas que lo originan? y ¿Qué consecuencias podría tener dicho calentamiento sobre los procesos de gestión marina y costera?.

A continuación se describe y analiza por métodos estadísticos, el comportamiento de las temperaturas máximas mensuales de los estados costeros utilizando valores mensuales, promedios anuales y por década.

Se complementa el estudio con algunos análisis de correlación utilizando las anomalías de temperatura superficial del mar, tanto sus valores mensuales como los promedios anuales y los índices de oscilaciones multidécada para el Pacífico y el Atlántico.

Comportamiento de la temperatura máxima promedio en los estados costeros

La ubicación geográfica, dimensión, orientación, fisiografía, longitud de la línea de costa, extensión y tipo de cubierta vegetal, entre otros, son factores naturales que condicionan la distribución de temperaturas al interior de los distintos estados costeros de México.

La medición de dichas temperaturas a su vez, puede verse afectada por la ubicación de las estaciones de monitoreo (*e.g.* altitud, distancia a los centros urbanos o a la línea de costa, etc.);

por el estado que guarden y por la calidad original de los instrumentos de medición (*e.g.* antigüedad, mantenimiento, exactitud y precisión) y también por factores humanos (*e.g.* pérdida de algún registro, errores en las lecturas, etc.).

En este sentido los datos que se manejan en el presente estudio son promedios estatales por mes, de la temperatura máxima, obtenidos a partir de los registros de las estaciones definidas en la tabla 1. Se considera que este promediado espacial cumple con los requisitos de representatividad de la temperatura media del estado, eliminando posibles fluctuaciones locales.

El análisis integrado de la información mensual de la temperatura máxima de los estados costeros durante el periodo 1971-2009 arroja resultados interesantes (figura 1). En primer lugar, se puede observar que los estados costeros más norteños de ambas costas (*i.e.* BC, SON, TAM) presentan en general las mayores fluctuaciones de temperatura. En el otro extremo, los estados de la región de la península de Yucatán (*i.e.* CAM, YUC, QROO), presentan temperaturas medianas y niveles de fluctuación muy similares, junto con el estado vecino (Tabasco). Los estados del Pacífico Central y Sur (*i.e.* NAY, JAL, COL, MICH, GRO, OAX, CHI) presentan niveles de fluctuación bajos y similares, con temperaturas promedio alrededor de los 30 °C ± 2.5 °C.

El análisis de grupos realizado sobre los estados costeros (figura 2), mostró regiones con comportamientos similares de la temperatura máxima a lo largo del registro, sobresale la región del Mar de Cortés y los estados correspondientes al Pacífico Sur (Guerrero, Oaxaca y Chiapas). También se observa la marcada diferencia del estado de Michoacán respecto a sus estados vecinos y en general respecto a todos los estados costeros. En el caso de la costa este, la formación de grupos es menos marcada por presentar una mayor homogeneidad en el comportamiento global, sin embargo se debe resaltar la similitud más elevada, la cual corresponde a los estados de Tamaulipas y Yucatán.

El análisis de las series de tiempo individuales para cada estado presenta características importantes de describir, como serían las modulaciones de largo plazo (*e.g.* 5 a 10 años) presentes de manera marcada en las señales de los estados limítrofes del Golfo de California en la costa oeste y de Tabasco, Campeche y Yucatán en la costa este. Estas modulaciones pierden intensidad conforme se analizan los estados del Pacífico Central y Sur, y de la parte norte del Golfo de México y el Mar Caribe. Las siguientes figuras muestran dicho comportamiento (figura 3).

Tabla 1.- Relación de estaciones climatológicas por entidad federativa en 2006 (Conagua-Semarnat, 2007)

Baja California (BC)	73	Jalisco (JAL)	129	Sonora (SON)	143
Baja California Sur (BCS)	130	Michoacán de Ocampo (MICH)	125	Tabasco (TAB)	55
Campeche (CAM)	51	Nayarit (NAY)	35	Tamaulipas (TAM)	141
Chiapas (CHIS)	124	Oaxaca (OAX)	85	Veracruz de Ignacio de la Llave (VER)	120
Colima (COL)	32	Quintana Roo (QROO)	41	Yucatán (YUC)	66
Guerrero (GRO)	131	Sinaloa (SIN)	44		

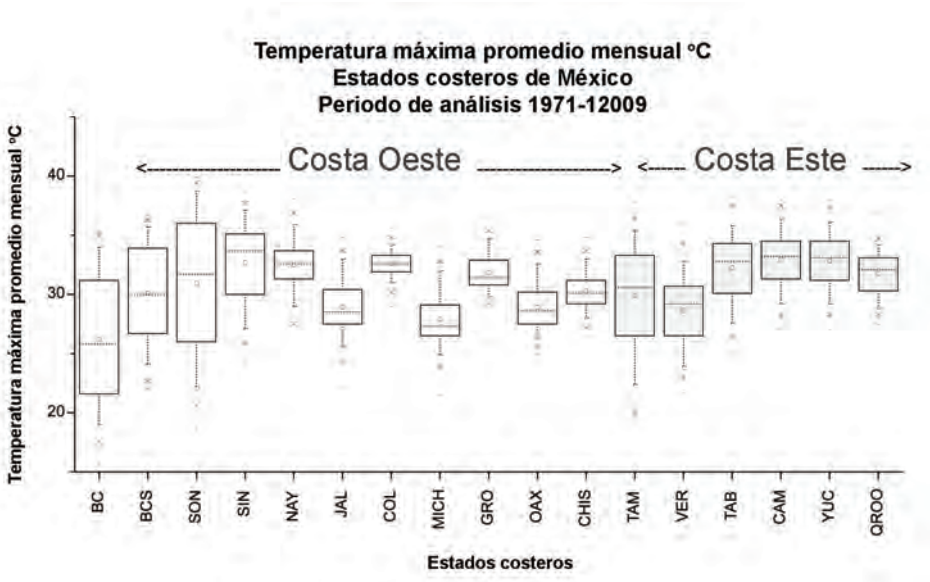


Figura 1. Diagrama de cajas elaborado a partir de la temperatura máxima mensual reportada para los estados costeros de México durante el periodo 1971-2009. Elaboración propia a partir de información de SMN-Conagua, 2010.

Con el fin de eliminar las señales de corto plazo, los registros fueron filtrados con un doble suavizado, considerando 60 valores. El análisis individual de estas series y su suavizado de largo plazo (5 años) muestra un comportamiento cíclico diferente para las costas este y oeste de México.

En general para la costa oeste, se observan estructuras crecientes con periodos mayores a la longitud del registro, a excepción del estado de Michoacán donde se observa una estructura en gran parte del registro decreciente. Sobresale la estructura semi-sinusoidal (altura de la onda) de los estados de Sonora y Jalisco con una extensión aproximada de 20 años (figura 4).

Por su parte los estados de la costa este, con excepción de Tamaulipas, presentan estructuras sinusoidales más marcadas. Es interesante observar el comportamiento de los estados de Campeche, Tabasco y Veracruz, donde se observa una onda con un periodo de 20 años, la cual presenta un desfase casi perfecto entre los estados de Campeche y Veracruz, sugiriendo un movimiento en sentido sur-norte de esta onda de calor (figura 5).

Para todos los estados costeros de México se identificaron los meses que experimentaron la mayor temperatura máxima a lo largo del registro 1971-2009 y se estableció la década en la cual ocurrían dichos valores, el resultado de este análisis se presenta en la siguiente gráfica (figura 6). Se aprecia claramente que más del 50% de los meses más cálidos (56.3%) han ocurrido en la última década.

Al promediar los valores de la temperatura máxima mensual por década, se observa en general un mayor incremento en las temperaturas de los estados de la costa oeste (con excepción de Michoacán) que en los correspondientes al Golfo de México y Mar Caribe (tabla 2).

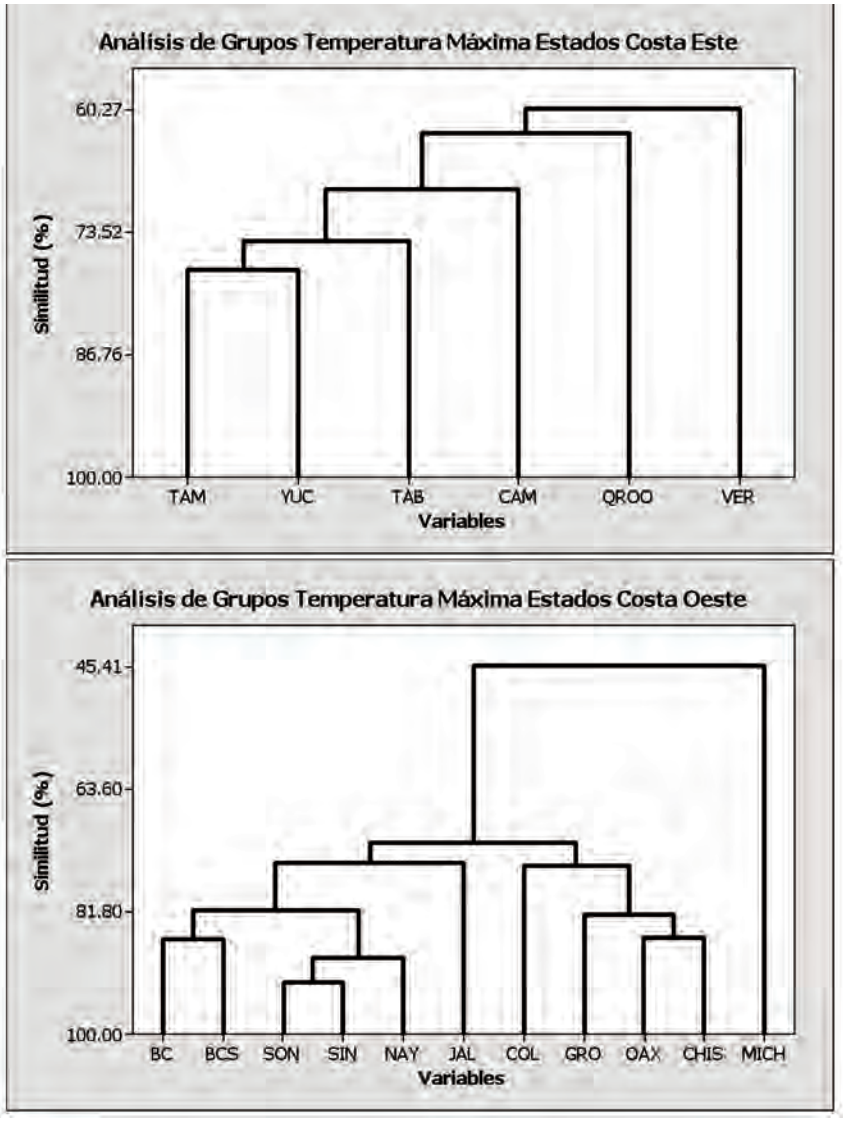


Figura 2. Análisis de grupos para la temperatura máxima en los estados de la costa este (superior) y la costa oeste (inferior).

La diferencia de temperaturas promedio entre el periodo de 2001 a 2009 respecto al de 1971 a 1980, muestra valores extremos de 2.15°C en Oaxaca, 1.58°C en Baja California y 1.36°C en Nayarit. Para la costa este, Veracruz, Campeche y Yucatán prácticamente no presentan ninguna diferencia.

Cuando se analizan los valores promedio anuales, se observa en primer lugar que los estados costeros presentan temperaturas 2 o 3 °C superiores al conjunto de todos los estados de la República Mexicana, teniendo la costa este temperaturas promedio mayores. En la figura 7 se

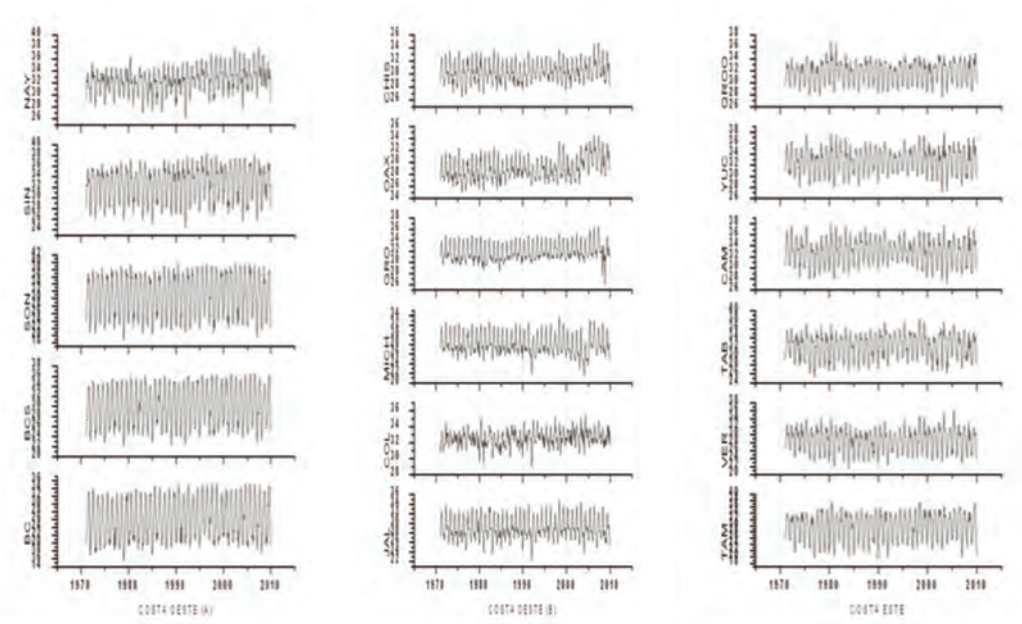


Figura 3. Series temporales de la temperatura máxima mensual de los estados costeros de México durante el periodo 1971-2009. Columna izquierda y central: estados de la costa oeste. Columna derecha: estados de la costa este. Elaboración propia a partir de información de SMN-Conagua, 2010.

presentan los valores promedio anuales y como referencia el promedio general para cada costa durante el periodo 1971-1990.

A partir del año 1992, donde se observa un marcado descenso en las temperaturas máximas en ambas costas, se puede observar un incremento gradual de la temperatura, el cual se manifiesta de manera más marcada en la costa oeste del país.

Si bien la figura 7 muestra como referencia el promedio de temperaturas del periodo 1971 a 1990, el incremento en las temperaturas de la costa oeste es significativo, incluso cuando el valor de referencia es el promedio de todo el periodo de estudio (1971-2009). Las figuras 8 y 9, muestran las anomalías de temperatura de ambas costas respecto a dicho valor promedio (1971-2009), junto con el modelo de regresión lineal correspondiente.

Para la costa Oeste, después de una relativa estabilidad de las temperaturas entre los años 1986 y 1991, y una disminución relativamente importante de las mismas generalizada (ambas costas y a nivel nacional) en el año 1992, se observa un calentamiento generalizado hasta el año 2009.

Para ambas costas a partir del año 1992, las temperaturas anuales han estado mayoritariamente por arriba del promedio de temperaturas registrado entre 1971 y 1990.

Cuando se realiza el análisis a partir del promedio (1971-2009) de las temperaturas máximas promedio mensuales, se observa la clara influencia de las temperaturas superficiales oceánicas.

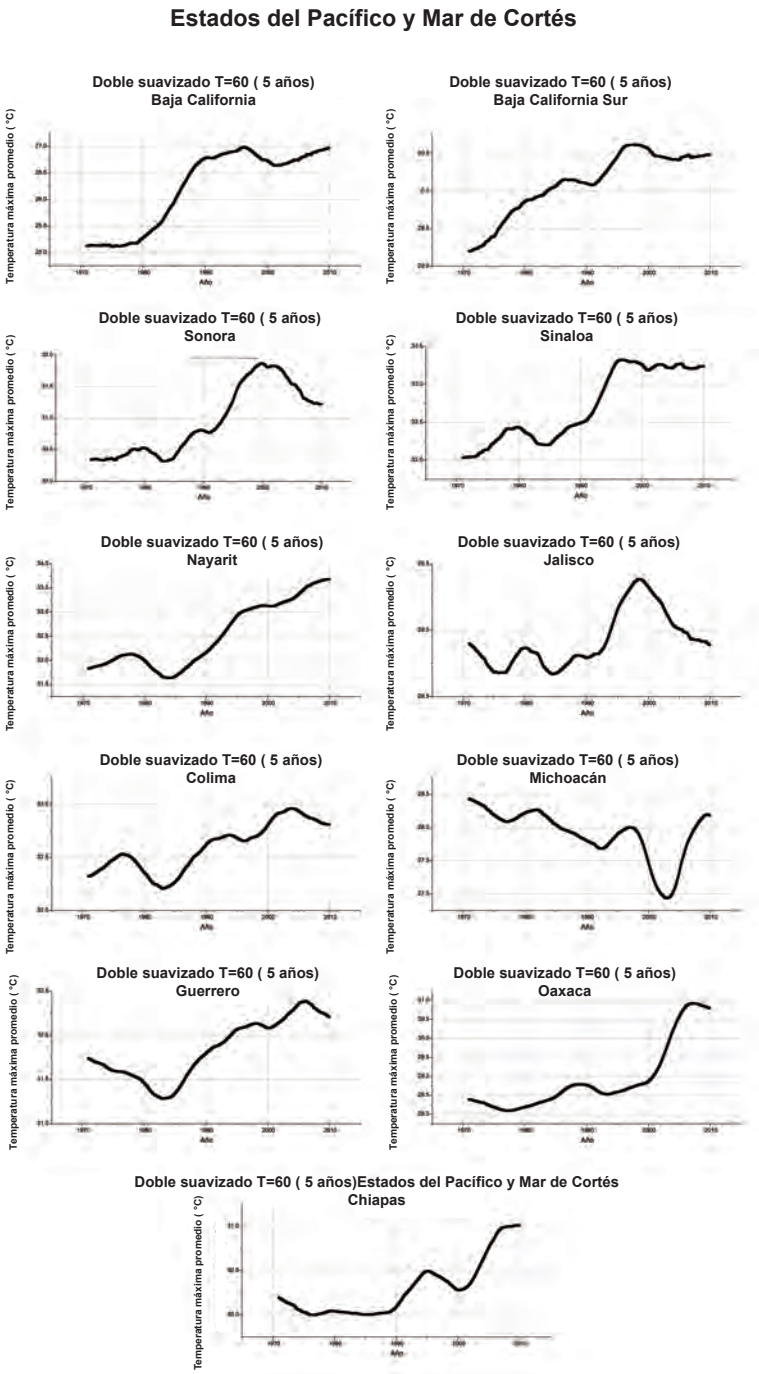


Figura 4. Doble suavizado de las series de tiempo de los estados de la costa oeste (T=60).

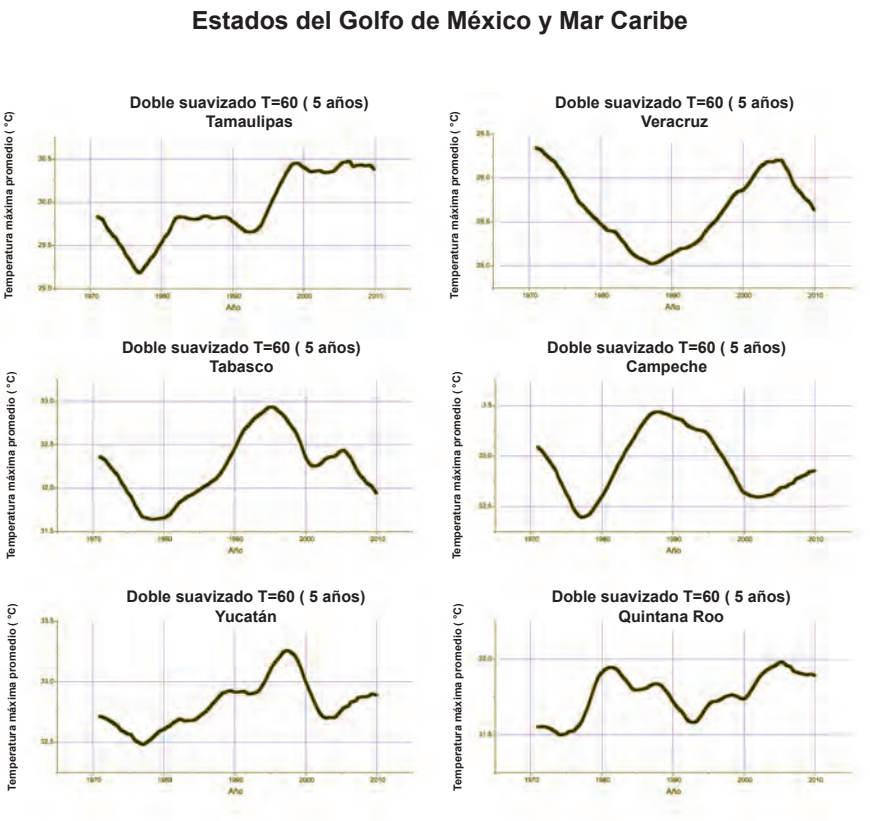


Figura 5. Doble suavizado de las series de tiempo de los estados de la costa oeste T=60.

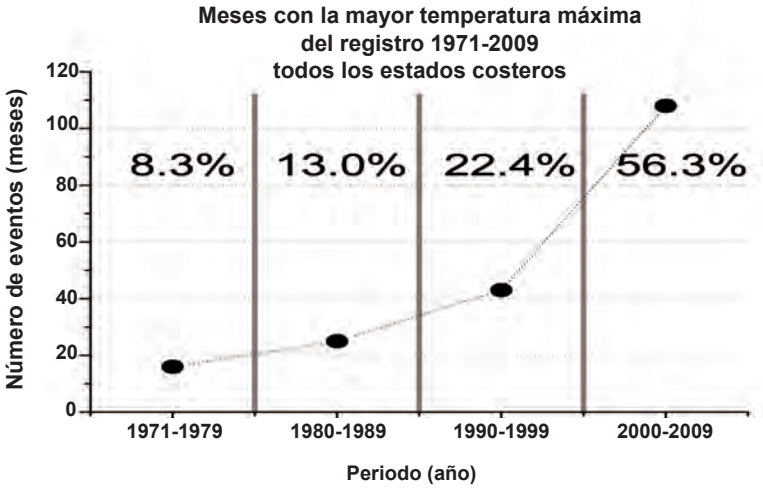


Figura 6. Distribución por década de los meses más cálidos del registro en todos los estados costeros.

Tabla 2. Valores promedio por década de las temperaturas máximas promedio mensuales (˚C)

Estados costa este											
Periodo	**BC**	**BCS**	**SON**	**SIN**	**NAY**	**JAL**	**COL**	**MICH**	**GRO**	**OAX**	**CHIS**
71 a 80	25.17	29.55	30.48	32.27	32.05	28.80	32.44	28.21	31.61	28.19	30.05
81 a 90	26.21	30.06	30.55	32.33	31.78	28.74	32.36	29.06	31.46	28.62	29.97
91 a 00	26.82	30.45	31.37	33.06	32.89	29.18	32.69	27.85	32.03	28.63	30.42
01 a 09	26.75	30.39	31.47	33.22	33.41	29.00	32.92	27.39	32.28	30.35	30.75
Dif. 71-80 con 01-09	1.58	0.84	0.99	0.95	1.36	0.19	0.48	-0.82	0.67	2.15	0.70

Estados costa oeste						
Periodo	**TAM**	**VER**	**TAB**	**CAM**	**YUC**	**QROO**
71 a 80	29.49	28.91	31.89	32.65	32.59	31.65
81 a 90	29.86	28.15	32.04	33.23	32.79	31.82
91 a 00	30.04	28.51	32.79	33.05	33.14	31.64
01 a 09	30.36	29.00	32.23	32.72	32.74	31.96
Dif. 71-80 con 01-09	0.87	0.09	0.34	0.08	0.16	0.32

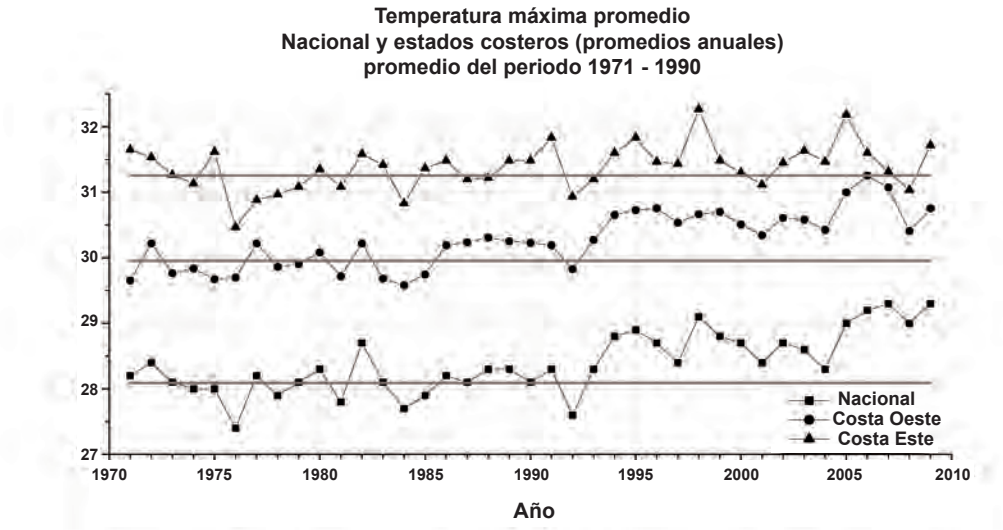


Figura 7. Valores promedio anuales de la temperatura máxima mensual. Se presenta el promedio durante el periodo 1971-1990.

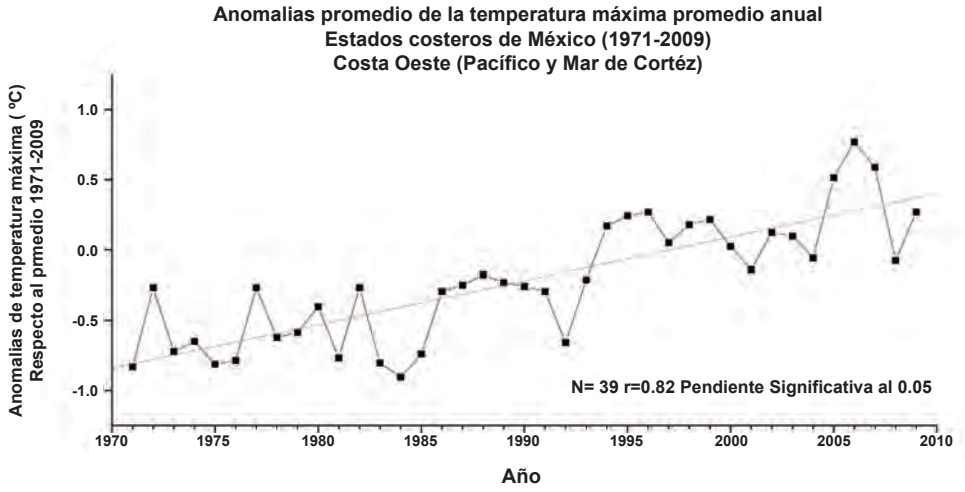


Figura 8. Anomalía de la temperatura máxima promedio anual para la costa oeste respecto al promedio 1971-2009.

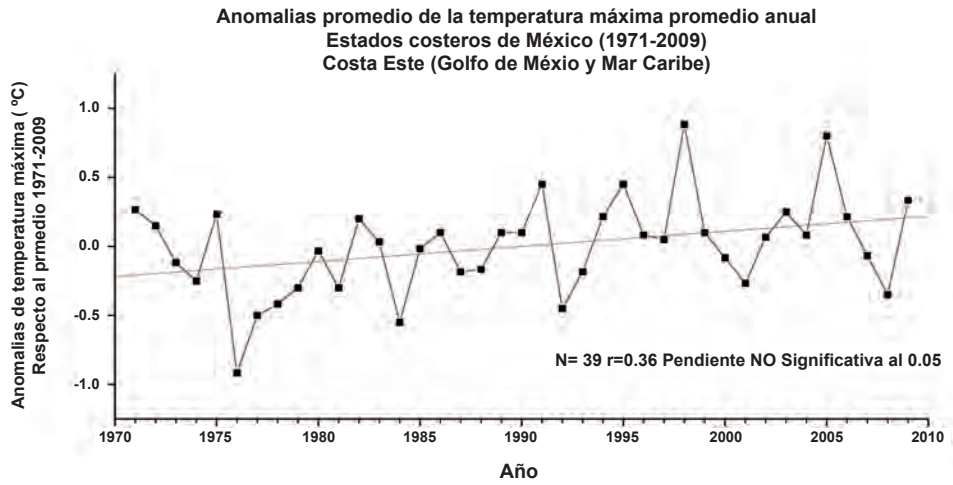


Figura 9. Anomalía de la temperatura máxima promedio anual para la costa este respecto al promedio 1971-2009.

Para la costa oeste se presenta una evolución ascendente (de los estados del sur hacia los del norte) de las temperaturas máximas mensuales, iniciando en Chiapas en el mes de abril (en promedio el mes más cálido del año, considerando todo el registro de observaciones) y concluyendo en Baja California en el mes de agosto (tabla 3).

La variabilidad de temperaturas máximas mensuales mostradas por los estados que limitan con el Golfo de California (*i.e.* Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa) con valores de la desviación estándar entre 3.1 y 5.6 °C, es la mayor de todo el país.

En contraste, los estados del Pacífico Sur (*i.e.* Guerrero, Oaxaca y Chiapas), presentan una variabilidad muy similar, con valores de la desviación estándar entre 1.4 y 1.5 °C, este elemento también será una evidencia de la influencia de las temperaturas superficiales oceánicas.

En el caso de la costa este, los estados presentan una distribución mensual de temperatura más uniforme, presentándose las mayores temperaturas en el mes de mayo, salvo en el estado costero más norteño de la región del Golfo de México (Tamaulipas), cuyo máximo se alcanza hasta junio (tabla 4).

Esta "onda" de calor que se va desplazando de manera marcada en los estados de la costa oeste en sentido sur-norte entre los meses de abril y agosto, en conjunto con la homogeneidad temporal de la distribución de los meses de calor máximo en la costa este, mas el desfasamiento temporal mostrado por el estado de Tamaulipas, ponen de manifiesto la clara influencia de las temperaturas superficiales oceánicas sobre los estados costeros.

El comportamiento mensual de la temperatura superficial del océano (promedio 1970-2000) se presenta en las figura 10, iniciando en la esquina superior izquierda por enero y concluyendo en la esquina inferior derecha por diciembre.

Tabla 3. Valores promedio (1971-2009) de las temperaturas máximas promedio mensuales registradas en los estados costeros. Se remarca la mayor temperatura máxima mensual registrada a lo largo de los diferentes meses del año en cada estado costero.
Se presentan los estados de la costa oeste.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
BC	19.86	20.76	22.14	24.43	26.95	30.57	33.11	33.36	31.86	27.85	23.64	20.13
BCS	24.45	25.62	27.12	29.18	30.89	33.41	35.10	35.32	34.39	32.12	28.47	25.18
SON	22.97	24.78	27.42	30.95	34.66	38.27	37.20	36.24	35.63	32.51	27.55	23.26
SIN	27.81	29.19	30.98	33.44	35.57	36.76	35.53	34.93	34.60	34.01	31.39	28.27
NAY	29.56	30.70	32.26	33.97	35.32	34.77	33.00	32.88	32.74	32.93	31.95	30.03
JAL	26.05	27.68	29.94	31.88	32.94	31.09	28.58	28.49	28.28	28.37	27.62	26.22
COL	31.44	32.13	32.53	33.39	34.00	33.47	32.73	32.73	32.13	32.36	32.42	31.77
MICH	25.73	27.13	29.30	31.14	31.65	29.30	27.14	27.04	26.81	26.99	26.68	25.78
GRO	30.83	31.85	32.34	34.33	34.34	31.47	31.12	30.99	29.76	30.80	31.09	30.78
OAX	27.09	28.16	30.16	31.45	31.48	29.53	28.76	28.92	28.39	28.10	27.75	27.14
CHIS	28.69	29.74	31.55	32.66	32.51	30.76	30.41	30.44	29.92	29.35	28.97	28.43

Tabla 4. Valores promedio (1971-2009) de las temperaturas máximas promedio mensuales registradas en los estados costeros. Se remarca la mayor temperatura máxima mensual registrada a lo largo de los diferentes meses del año en cada estado costero.
Se presentan los estados de la costa este.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TAM	29.93	24.53	26.06	28.43	30.39	31.62	31.09	30.07	29.97	29.15	28.13	26.52
VER	24.45	25.78	28.70	31.01	32.44	31.35	30.16	30.30	29.64	28.37	26.63	24.79
TAB	28.38	29.52	32.54	34.50	35.70	34.55	34.06	33.97	33.23	31.63	30.18	28.61
CAM	29.83	31.18	33.51	35.38	36.19	34.68	34.07	33.97	33.32	32.14	30.93	29.83
YUC	29.83	31.03	33.17	34.86	35.84	34.61	34.07	34.14	33.50	32.11	30.84	29.79
QROO	29.16	30.09	31.55	32.92	33.82	33.06	33.06	33.34	32.84	31.65	30.36	29.31

La influencia de las temperaturas superficiales del océano sobre las temperaturas de los estados costeros se verificó a partir del análisis de las matrices de correlación entre las anomalías de temperaturas máximas (respecto al periodo 1971-2009 para los estados costeros) como de la superficie oceánica. Adicionalmente se consideraron en este análisis fenómenos de gran escala como las oscilaciones de décadas tanto de Pacífico (PDO) (figura 11) como del Atlántico (AMO) (figura 12), a través de sus respectivos índices (ver tablas 5 y 6).

El clima de muchas partes del mundo está dominado por un número pequeño de centros de presión (alta y baja) relativamente permanentes en el hemisferio Norte y Sur, por ejemplo: las Aleutianas, Asia, Pacífico, Islandia, las Azores, etc., que permiten calcular índices para establecer patrones climáticos de la atmósfera y el océano a gran escala (Barange, 2002).

La oscilación del Atlántico Norte es una alteración de gran escala de la masa atmosférica, con periodos de recurrencia de aproximadamente 10 años, siendo la principal fuente de variabilidad climática del Hemisferio Norte. Dicho fenómeno puede ser discernible a partir de la observación de las variaciones en la presión atmosférica a nivel del mar en esta región del planeta (Hurrell, 1995; Barange, 2002).

La oscilación de décadas del Pacífico (PDO), presenta ciclos de 20 a 30 años y es la responsable de los procesos de interacción océano-atmósfera del Pacífico Central y Norte. Este fenómeno tiene un comportamiento similar al de "El Niño", pero en el caso del primero con periodos mucho mayores. Las fases cálidas del PDO se caracterizan por la existencia de temperaturas anormalmente frías en la región central del Pacífico Norte y temperaturas inusualmente cálidas en la costa oeste del continente americano. Solamente se han podido registras dos ciclos completos desde 1890 (Mantua *et al.*, 1997; Hare y Mantua, 2000; Mantua y Hare, 2002; Barange, 2002).

Para los estados de la costa este, la AMO resulta particularmente significativa para Tamaulipas y Quintana Roo y se correlaciona de manera moderada con los promedios anuales de las temperaturas máximas de los estados costeros (ver tabla 5 y figuras 13 y 14).

Los estados de la costa oeste muestran correlaciones más significativas con la temperatura superficial del mar (TSS) que con el índice de la oscilación del Pacífico Norte (PDO). Sobre-

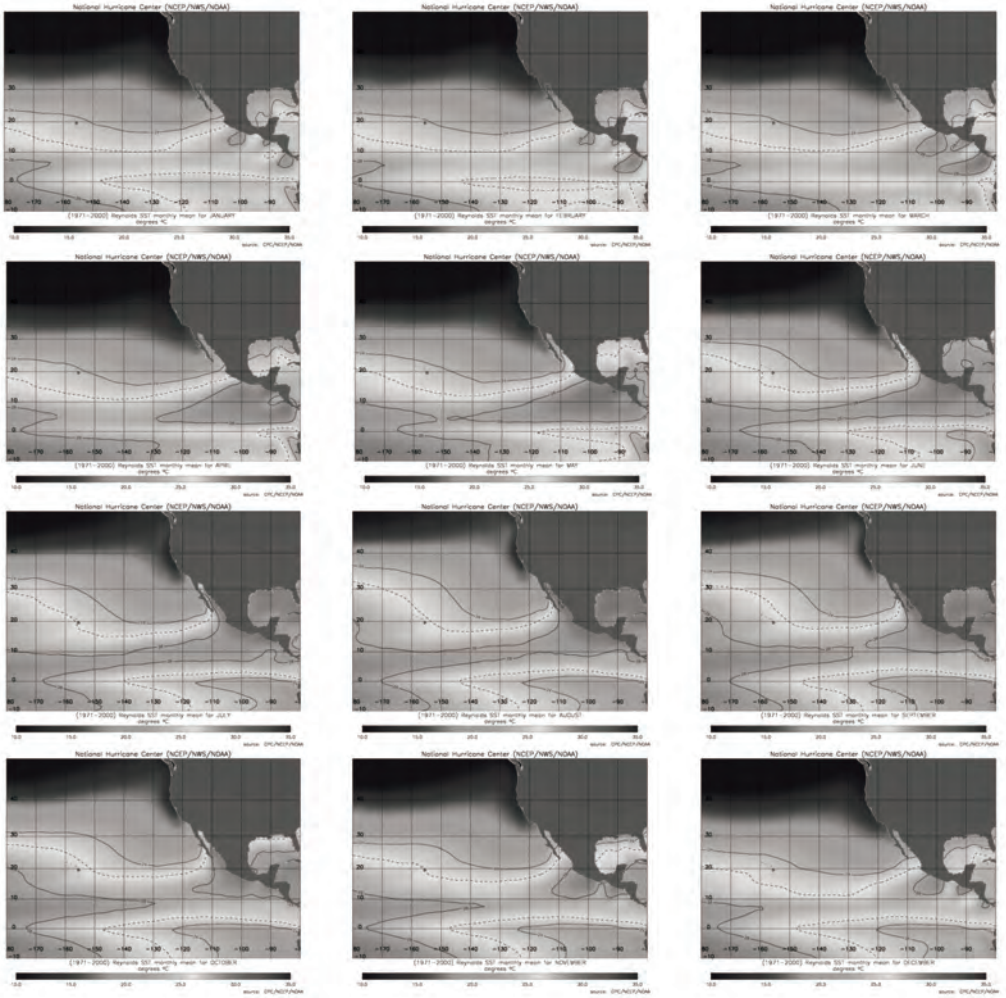


Figura 10. Representación mensual de la temperatura superficial del océano para el periodo 1970-2000. Fuente de las imágenes: http: //www.nhc.noaa.gov/aboutst.shtml.

salen los valores de los estados de Nayarit, Baja California Sur y Sinaloa (ver tabla 6 y figuras 15 y 16).

Como complemento a estos datos, se realizó el análisis del comportamiento por mes (a lo largo de todo el registro 1971-2009) para todos los estados costeros. Se ajustó un modelo de regresión lineal y se evaluaron los casos (meses) en los cuales la pendiente era significativa con un 95% de confianza. Los resultados se presentan en la siguiente tabla (tabla 7).

La tabla 7 muestra que en el caso de Nayarit y Oaxaca todos los meses del año del registro presentaron una tendencia creciente (aumento de temperatura) significativa, para el caso de la costa oeste, dichos estados son seguidos por Baja California (9 meses con aumento significativo) y Chiapas (8 meses); en el caso de Michoacán se presentaron 4 meses con pendientes

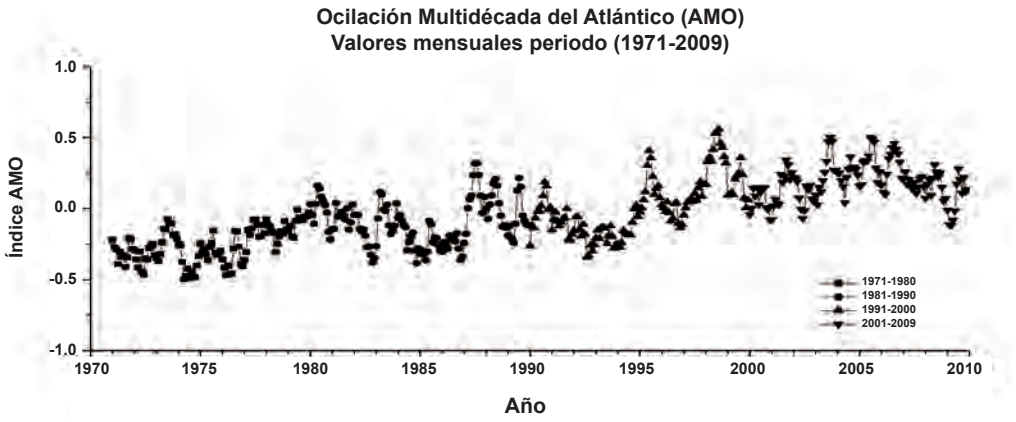


Figura 11. Índice anual de la Anomalía del Atlántico Norte (AMO).
(Fuente de los datos: http://www. esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO/).

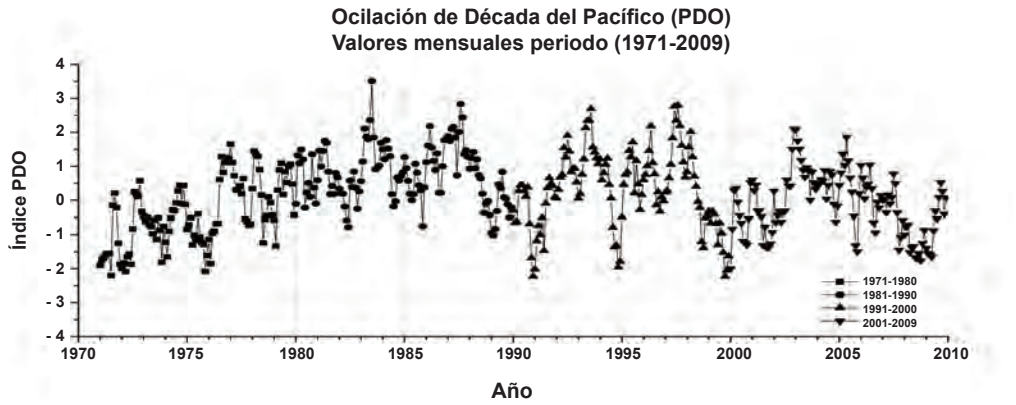


Figura 12. Índice anual de la Anomalía del Pacífico (PDO).
(Fuente de los datos: http://jisao.washington.edu/pdo/).

significativas decrecientes (disminución de temperatura), siendo el único estado costero que presentó este comportamiento.

En el caso de la costa este, Campeche y Tabasco no presentaron ningún mes con aumento estadísticamente significativo de la temperatura y los que mayor número de meses presentaron fueron: Quintana Roo, Tamaulipas y Yucatán con 3 meses cada uno.

Las siguientes figuras muestran el comportamiento particular de algunos estados costeros y los meses en los cuales las temperaturas presentaron las pendientes más significativas.

Tabla 5. Matriz de correlación entre las temperaturas máximas promedio anuales de los estados de la costa este, la anomalía multidécada del Atlántico (AMO) y la temperatura superficial del mar (TSS).

	TAM	VER	TAB	CAM	YUC	QROO	AMO	TSS
TAM	1.00	0.53	0.47	0.20	0.55	0.30	0.64	0.58
VER	0.53	1.00	0.40	-0.17	0.15	0.12	0.24	0.16
TAB	0.47	0.40	1.00	0.46	0.51	0.15	0.25	0.33
CAM	0.20	-0.17	0.46	1.00	0.47	0.29	-0.09	0.02
YUC	0.55	0.,15	0.51	0.47	1.00	0.29	0.,36	0.31
QROO	0.30	0.12	0.15	0.29	0.29	1.00	0.45	0.42
AMO	0.64	0.24	0.25	-0.09	-0.09	0.45	1.00	0.91
TSS	0.58	0.16	0.33	0.02	0.02	0.42	0.91	1.00

Tabla 6. Matriz de correlación entre las temperaturas máximas promedio anuales de los estados de la costa este, el índice de la oscilación del Pacífico Norte (PDO) y la temperatura superficial del mar (TSS).

	BC	BCS	SON	SIN	NAY	JAL	COL	MICH	GRO	OAX	CHIS	PDO	TSS
BC	1.00	0.72	0.61	0.54	0.53	0.18	0.32	-0.31	0.42	0.38	0.29	0.18	0.65
BCS	0.72	1.00	0.73	0.78	0.61	0.42	0.37	-0.15	0.41	0.38	0.39	0.36	0.70
SON	0.61	0.73	1.00	0.85	0.71	0.63	0.41	-0.21	0.49	0.39	0.25	-0.02	0.67
SIN	0.54	0.78	0.85	1.00	0.83	0.65	0.42	-0.04	0.61	0.46	0.53	0.07	0.69
NAY	0.53	0.61	0.71	0.83	1.00	0.59	0.55	-0.08	0.70	0.63	0.71	-0.23	0.71
JAL	0.18	0.42	063	0.5	0.59	1.00	0.30	0.22	0.39	0.26	0.28	0.24	0.45
COL	0.32	0.37	041	0.42	0.55	0.30	1.00	-0.32	0.61	0.45	0.44	0.04	0.50
MICH	-0.31	-0.15	-0.21	-0.04	-0.08	0.22	-0.32	1.00	0.02	-0.08	0.03	-0.16	-0.32
GRO	0.42	0.41	0.49	0.61	0.70	0.39	0.61	0.02	1.00	0.59	0.71	0.01	0.60
OAX	0.38	0.38	0.39	0.46	0.63	0.26	0.45	-0.08	0.59	1.00	0.71	-0.11	0.66
CHIS	0.29	0.39	0.25	0.53	0.71	0.28	0.44	0.03	0.71	0.71	1.00	0.02	0.60
PDO	0.18	0.36	-0.02	0.07	-0.23	-0.24	-0.04	-0.16	0.01	-0.11	0.02	1.00	0.16
TSS	0.65	0.70	0.67	0.69	0.71	0.45	0.50	-0.32	0.60	0.66	0.60	0.16	1.00

La Oscilación del Sur "El Niño" (ENSO) es una alteración global del sistema océano-atmósfera en la cual la atmósfera responde a las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico Ecuatorial e impacta a todo el planeta (Alexander *et al.*, 2002).

Estos eventos, se caracterizan por un movimiento a gran escala de aguas cálidas del Pacífico ecuatorial en dirección oeste-este, misma que produce una alteración episódica (cuasi-decadal) de los patrones de circulación de los vientos, temperaturas y precipitación, alterando de manera significativa la climatología del Pacífico tropical y gran parte de la costa oeste del continente

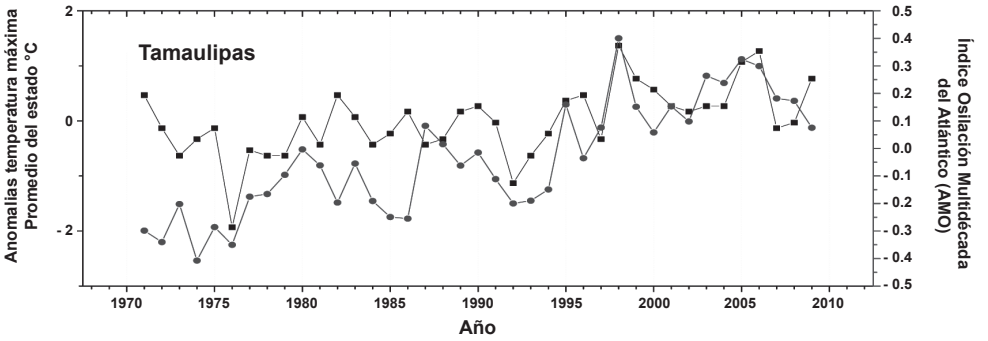


Figura 13. Anomalía de temperaturas e índice de la oscilación multidécada del Atlántico (AMO) para el estado de Tamaulipas.

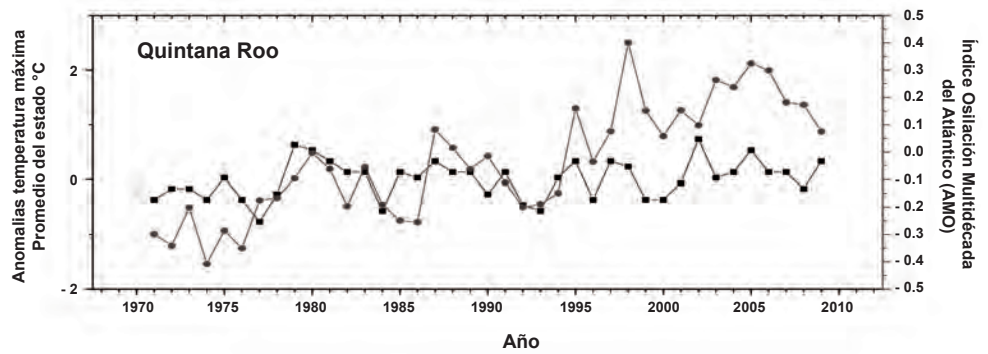


Figura 14. Anomalía de temperaturas e índice de la oscilación multidécada del Atlántico (AMO) para el estado de Quintana Roo.

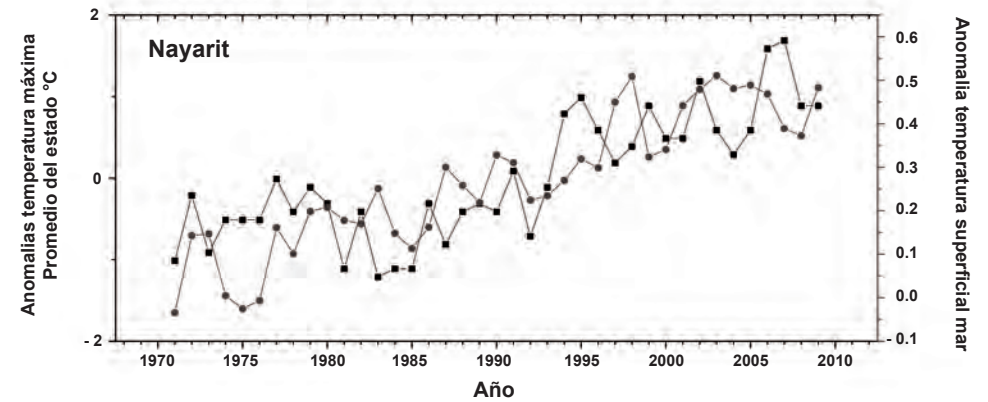


Figura 15. Anomalía de temperaturas atmosféricas y anomalía de temperatura superficial del mar (TSS) para el estado de Nayarit.

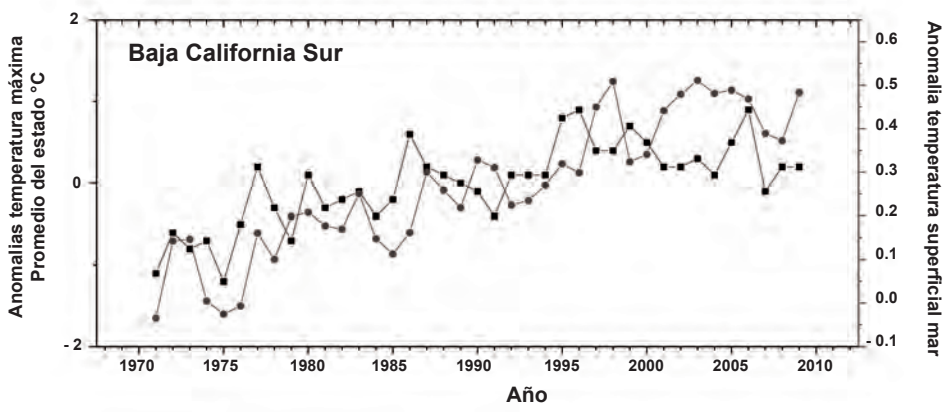


Figura 16. Anomalía de temperaturas atmosféricas y anomalía de temperatura superficial del mar (TSS) para el estado de Baja California Sur.

Americano (Gershunov y Barnett, 1998; Knauss, 2005) y también de la actividad ciclónica en el Atlántico Norte (Smith *et al.*, 2007).

El Índice Oceánico de "El Niño" (ONI) se define como las anomalías respecto a un nivel de referencia, del promedio corrido trimestral de la temperatura superficial del océano en la región 3.4 del Pacífico (Smith *et al*., 2008), y ha sido empleado para determinar las condiciones "El Niño" y "La Niña". La NOAA establece que cuando el ONI, durante 5 meses consecutivos, tenga valores por arriba de 0.5, se está en una condición "El Niño" y cuando dicho valor sea inferior a -0.5 se tiene una condición "La Niña" (NOAA-NCPE, 2010).

La figura 18 muestra la clara relación entre los valores del Índice Oceánico de "El Niño" y las anomalías de la temperatura superficial del mar.

Se aprecia en general una clara correspondencia entre los valores elevados del Índice del Niño y los picos máximos en las temperaturas superficiales del mar, particularmente para los años 1973, 1983, 1988 y 1998, con sus correspondientes disminuciones durante los periodos "La Niña". Adicionalmente, el comportamiento del Índice del Niño a finales del 2009 permite pronosticar temperaturas elevadas del océano para los años 2010 y 2011.

En virtud de la aparente relación que guardan las temperaturas de los estados costeros con la temperatura superficial del mar, se decidió investigar el comportamiento de estas variables en conjunto con el Índice Oceánico de "El Niño". La figura 19 muestran dichos resultados.

Sin poder establecer un patrón general claro, se observa que por lo regular a un máximo del Índice de "El Niño", le sigue un incremento en las temperaturas de los estados costeros, con un desfase aproximado de 5-6 meses. También se observa el impacto del niño 1997-1998 en las temperaturas de ambas costas.

Tabla 7. Valores de significancia de la pendiente de los modelos de regresión lineal para cada mes durante 1971 - 2009.

Estadística	Estado	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM	No. de meses significativos
tcalc	BC	2.42	NS	2.95	2.23	4.41	NS	2.38	5.33	4.81	2.50	3.04	NS	6.71	9
Pvalue		0.021		0.005	0.032	0.000		0.022	0.000	0.000	0.017	0.004		0.000	7
tcalc	BCS	NS	NS	2.54	NS	5.05	3.27	3.17	5.33	2.60	NS	3.21	NS	6.36	7
Pvalue				0.015		0.000	0.002	0.003	0.000	0.013		0.003		0.000	
tcalc	CAM	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0
Pvalue															
tcalc	CHIS	3.55	5.49	NS	3.22	NS	2.45	2.41	4.35	2.62	NS	NS	2.75	4.67	8
Pvalue		0.001	0.000		0.003		0.019	0.021	0.000	0.013			0.009	0.000	
tcalc	COL	NS	NS	NS	2.27	2.8	2.14	2.06	2.45	NS	NS	2.86	NS	3.37	6
Pvalue					0.029	0.006	0.039	0.046	0.019			0.007		0.002	
tcalc	GRO	2.50	3.72	NS	NS	NS	NS	4.55	5.90	NS	NS	2.09	NS	3.90	5
Pvalue		0.017	0.001					0.000	0.000			0.044		0.000	
tcalc	JAL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	2.96	NS	NS	NS	NS	2.35	1
Pvalue									0.005					0.024	
tcalc	MICH	NS	NS	-2.16	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-3.07	-2.78	-2.98	-2.18	4
Pvalue				0.037							0.004	0.008	0.005	0.036	
tcalc	NAY	3.27	4.05	4.05	6.81	8.20	5.31	3.19	5.22	3.86	3.21	4.36	2.19	7.87	12
Pvalue		0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.035	0.000	
tcalc	OAX	3.85	5.61	3.15	4.25	3.02	4.71	6.00	6.13	4.71	4.63	3.71	5.42	5.93	12
Pvalue		0.000	0.000	0.003	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	

Tabla 7(continuación). Valores de significancia de la pendiente de los modelos de regresión lineal para cada mes durante 1971 - 2009.

Estadística	Estado	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM	No. de meses significativos
tcalc	QROO	NS	2.63	NS	NS	NS	NS	NS	3.08	4.36	NS	NS	NS	NS	3
Pvalue			0.012						0.004	0.000					
tcalc	SIN	NS	NS	NS	2.88	6.51	4.19	2.52	4.82	3.58	NS	3.16	NS	5.68	7
Pvalue					0.007	0.000	0.000	0.016	0.000	0.001		0.003		0.000	
tcalc	SON	NS	NS	2.26	2.23	5.80	3.78	NS	2.59	NS	NS	2.57	NS	5,23	6
Pvalue				0.030	0.032	0.000	0.001		0.014			0.014		0.000	
tcalc	TAB	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0
Pvalue															
tcalc	TAM	NS	2.43	NS	NS	NS	2.61	NS	3.06	NS	NS	NS	NS	3.78	3
Pvalue			0.020				0.013		0.004					0.001	
tcalc	VER	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	2.34	NS	NS	NS	NS	NS	1
Pvalue									0.025						
tcalc	YUC	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	4.89	4.03	2.16	NS	NS	NS	3
Pvalue									0.000	0.000	0.037				

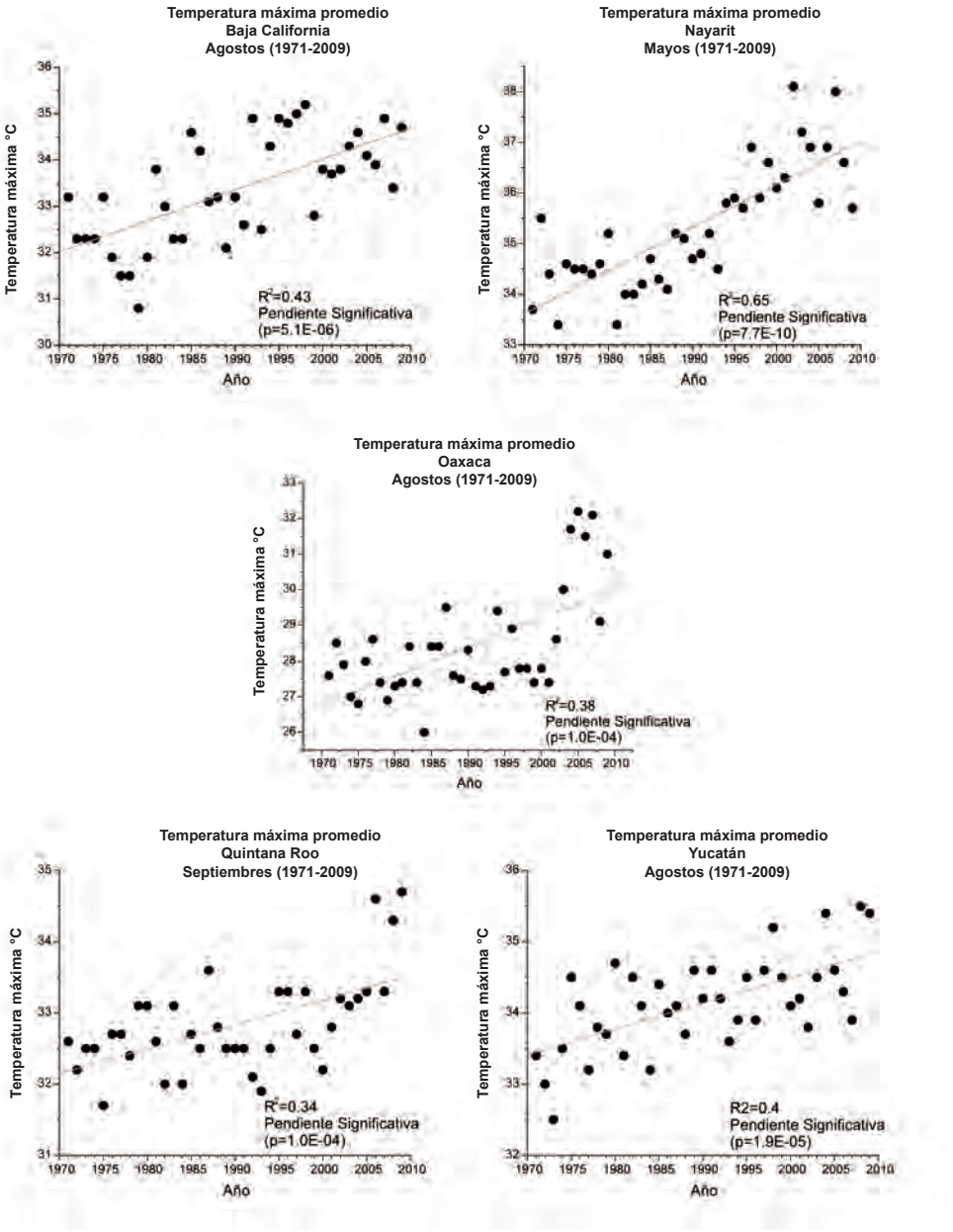


Figura 17. Estados costeros para los cuales la pendiente de la ecuación de regresión presentó los valores más altos de significancia al analizar los datos de la temperatura máxima promedio durante el periodo 1971-2009. Parte superior y centro: costa oeste. Parte inferior: costa este.

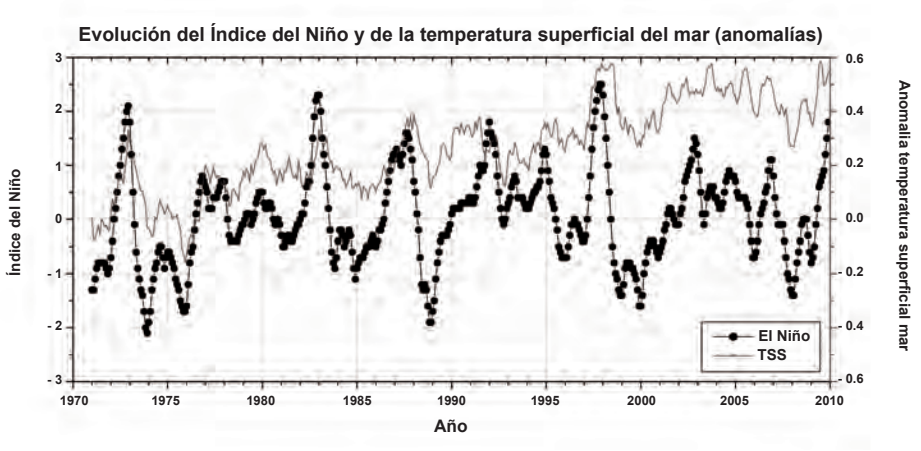


Figura 18. Evolución temporal del Índice de "El Niño" y de las anomalías de temperatura superficial del mar (TSS) para el hemisferio norte. (Fuente de la información: http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml y http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/anomalies/index.html#anomalies.

Análisis de resultados y conclusiones generales

El análisis realizado a los datos de las temperaturas máximas mensuales de los estados costeros de México durante el periodo 1971-2009, permite establecer las siguientes observaciones:

a) Existen fenómenos de largo plazo (*i.e.* periodos mayores a 10 años) observables en el registro de temperatura de los estados costeros, los cuales modulan su climatología. Para la costa este es posible observar en algunos estados ondas de mayor frecuencia que para la costa oeste, donde las ondulaciones se presentaron en su fase creciente durante el periodo de análisis (con excepción del estado de Michoacán). (ver figuras 4 y 5).

b) El 56% de los meses más cálidos de todo el registro, considerando todos los estados costeros han ocurrido en la década del 2000 al 2009. (ver figura 6).

c) Existen diferencias de temperatura importantes desde el punto de vista ambiental entre los promedios por década principalmente para la costa oeste (ver tabla 2). Sin embargo, el análisis de varianza realizado no mostró que dichas diferencias fueran significativas al 95% de confianza.

d) Los valores promedio anuales de las anomalías de temperatura máxima para los estados de la costa oeste, presentan una pendiente significativa creciente (ver figura 8). El incremento de temperatura máxima observado en el periodo 1971-2009 es ligeramente superior a 1 °C para esta región del país.

e) Salvo en los estados de Campeche, Michoacán y Tabasco, todos los demás presentaron, cuando menos durante uno de los meses estudiados (a lo largo de todo el registro), un incremento significativo en su temperatura máxima (ver tabla 7). En el caso del estado

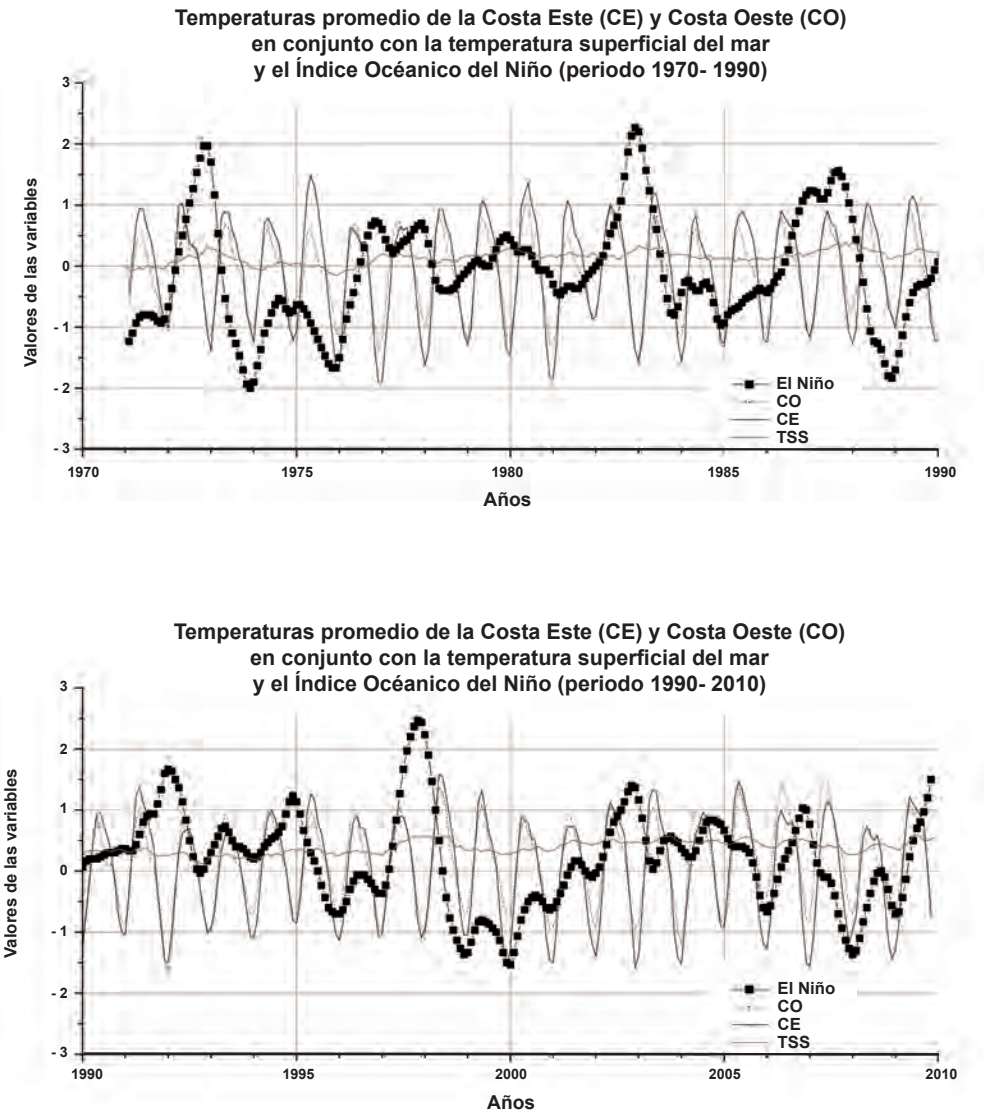


Figura 19. Comportamiento de las temperaturas promedio de la costa este (CE), costa oeste (CO), temperatura superficial del mar (TSS) e Índice de "El Niño".
Figura superior: Años 1970-1990. Figura inferior: Años 1990-2010.

de Michoacán, los datos mostraron durante 4 meses tendencias significativas decrecientes (disminución de la temperatura máxima).

f) En los estados de Nayarit y Oaxaca, el análisis mensual durante todo el periodo del registro, mostró una pendiente significativa creciente, es decir un aumento de la temperatura en todos los meses, siendo los casos extremos: mayo para Nayarit, donde se registra un aumento mayor a los 3 °C y agosto para Oaxaca, donde dicho incremento es de 2.5 °C.

g) Existe una clara correspondencia entre el comportamiento de la temperatura superficial del mar y la temperatura atmosférica de los estados costeros. Es posible observar para la costa oste el desplazamiento en sentido sur-norte de la onda de calor (ver tablas 3, 4 y figura 10).

h) Con excepción de Tabasco y Campeche, la Anomalía Multidécada del Atlántico presenta una mayor correlación con las temperaturas de los estados de la costa este que la temperatura superficial del mar (ver tabla 5).

El análisis realizado con los valores promedio anuales de la temperatura máxima mensual, permite concluir, por una parte, que existe evidencia estadística significativa de aumento en la temperatura de los estados costeros de la costa oeste y por la otra, en el caso de los estados de la costa este, si bien la tendencia de los datos es creciente, la pendiente de la misma no es significativa.

Cuando el análisis se realiza por mes, considerando todos los meses del registro, también se observa que en la mayoría de los estados costeros de la costa oeste, durante la mayoría de los meses, también existe una tendencia creciente significativa. Para esta región de la costa del país, los casos excepcionales se observan en los estados de Nayarit, Oaxaca (dónde todos los meses presentan tendencias crecientes significativas) y Michoacán (dónde los meses con pendientes significativas indicaron descenso de la temperatura máxima).

El análisis de los meses más cálidos por estado mostró una clara influencia de las temperaturas oceánicas sobre las atmosféricas en todos los estados costeros (tablas 3 y 4; figura 10).

Si bien la longitud del registro analizado no permite hacer conclusiones inequívocas sobre el impacto del cambio climático global sobre las temperaturas máximas de los estados costeros, la evidencia de correspondencia entre el comportamiento del promedio de la temperatura superficial del mar (la cual de acuerdo a los registros de largo plazo sí se encuentra en una fase creciente) y la temperatura atmosférica de dichos estados sugiere que en el mediano plazo este efecto podrá ser detectable.

Recomendaciones
para la gestión marina y costera

a) La gestión marina y costera, como un proceso de planeación estratégica de largo plazo, deberá migrar del uso de aproximaciones lineales, a visiones sistémicas de carácter variable, en las cuales se contemplen patrones oscilatorios de largo plazo (*i.e.* mayor de 5 años), con una posible componente ascendente en sus registros.

b) Dada la evidente relación entre las temperaturas de la superficie oceánica y las temperaturas atmosféricas de los estados costeros, la gestión de estos espacios deberá tener una visión global de las interacciones océano/atmósfera, con un enfoque regional en lo que respecta a sus posibles impactos, como consecuencia del cambio climático global o bien, ante fenómenos episódicos con ocurrencia más frecuente (*i.e.* años) o anomalías periódicas de baja frecuencia (*e.g.* décadas).

c) La gestión costera en México, deberá apoyar de manera decidida los procesos y políticas nacionales e internacionales que busquen mitigar los efectos del cambio climático, dado que los efectos potenciales en el ámbito regional, pueden ser superiores a los promedios establecidos a nivel global, con la consecuente potenciación de las consecuencias adversas.

d) Se deben instrumentar de manera urgente estrategias para la obtención, análisis y distribución de datos, para contar con series de tiempo largas de variables relevantes para la gestión costera con amplia cobertura espacial.

e) En los procesos de adaptación al cambio climático, los gestores marino/costeros y en general los tomadores de decisiones, deberán tener presente la variabilidad de largo plazo de las temperaturas oceánicas y atmosféricas, y su impacto sobre: los procesos productivos, los asentamientos humanos, las salud y seguridad de los pobladores, y sobre los procesos ecológicos y la diversidad biológica marina, costera y terrestre.

Literatura citada

Alexander, M.A., I. Bladé, M. Newman, J. Lanzante, N. Lau, y J. Scott, 2002. The Atmospheric Bridge: The influence of ENSO on air-sea interactions over the global oceans. *Journal of Climate*, 15: 2205-2231.

Barange, M., 2002. Influence of climate variability and change on the structure, dynamics and exploitation of marine ecosystems. p. 57-82. *In*: Hester, R.E. and R.M. Harrison (eds.) Global Environmental Change, Issues in Environmental Science and Technology 17.

Bindoff, N.L., J. Willebrand, V. Artale, A, Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Quéré, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L.D. Talley, y A. Unnikrishnan, 2007. Observations: Oceanic climate change and sea level. *In*: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Caldeira, K., y M.E. Wicket, 2003. Antropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, 425: 365.

Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, 2007. Estrategia Nacional de Cambio Climático. México 2007. Semarnat, México, 158 p.

Gershunov, A., y T.P. Barnett, 1998. Interdecadal modulations of ENSO teleconctions. *Bulletion of the American Meteorological Society*, 79(12): 2715-2725.

Hare, S.R., y N.J. Mantua, 2000. Emprical evidence for North Pacific régimen shift in 1977 and 1989. *Progress in Oceanography*, 47(2-4):,103-145.

Hurrell, J.W., 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, 267(5224): 676-679.

Knauss, J.A., 2005. Introduction to Physical Oceanography. Waveland Press, Inc., 309 p.

Levina, E., J.S. Jacob, L.E. Ramos, e I. Ortíz, 2007. Policy Frameworks for Adaptation to Climate Change in Coastal Zones: The Case of the Gulf of Mexico. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE/OECD), COM/ENV/EPOC/IEA/SLT(2007)2, 68 p.

Mantua, N.J., S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace, y R.C. Fracis, 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts in salmon productio. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 78: 1069-1079.

Mantua, N.J., y S.R. Hare, 2002. The Pacific decadal oscillation. *Jour. Oceanography*, 58: 35-44.

Martínez, J., A. Fernández, y P. Osnaya, 2004. Cambio Climático una Visión desde México. INE-Semarnat. 525 p.

NOAA.NCPE, 2010. ENSO Cycle: Recent Evolution, Current Status and Predictions. Presentación Electrónica. [http://www.cpc.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml]

Poder Ejecutivo Federal de México, Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012. Poder Ejecutivo Federal de México. 96 p.

Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden, P. Zhai, 2007. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. *In:* S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Twilley, R., 2007. Coastal Wetlands & Global Climate Change. Gulf Coast Wetlands Sustainability in a Climate Change. Report from the PEW Center on Climate Change, 18 p.

Rivera-Arriaga, E., I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual, y G.J. Villalobos Zapata (eds.), 2010. Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche.

Sánchez-Montante, O. , 2010. Elementos Oceánicos que impactan la hidrología costera. p. 23-32. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche.

Smith, S.W., J. Brolley, J. O´Brien, y C.A. Tartaglione, 2007. ENSO´s Impact on Regional US Hurricane Activity. *Journal of Climate*, 20: 1404-1440.

SMN-Conagua (2010). Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (Conagua). [www.smn.cna.gob.mx]

Vazquéz-Botello, A., S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas-Gaviz, 2010. Vulnerabilidad de las Zonas Costeras Mexicanas ante el Cambio Climático. Semarnat-INE, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche. 514 p .

Yañez-Arancibia, A., J.W, Day, R. Twilley, y R.H. Day, 2010. Manglares frente al cambio climático: ¿Tropicalización global del Golfo de México? p. 231-262. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche.

Zachos, J.C., G. R. Dickens, y R. E. Zeebe, 2008. An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbón-cycle dynamics. *Nature*, 451: 279-283.

Arcos Espinosa, G., S.B. Jiménez Hernández, y R. Padilla-Hernández, 2010. Escurrimiento medio anual y disponibilidad de agua en la vertiente del Golfo de México, p. 61-72. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Escurrimiento medio anual y disponibilidad de agua en la vertiente del Golfo de México

Gabriel Arcos Espinosa, Sergio B. Jiménez Hernández y Roberto Padilla-Hernández

Resumen

Estudios recientes sobre el cambio climático, confirman el impacto relevante al que se verán sometidos los recursos hídricos en gran parte del mundo. Esto en gran medida debido al aumento de las temperaturas del aire y de los océanos. La región del Golfo de México no escapa de estos acontecimientos. Con el apoyo de las regiones hidrológico-administrativas de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), este trabajo describe la situación que guardan los recursos hídricos en las desembocaduras de los ríos más importantes en el Golfo de México. Y se realiza una proyección de su situación a finales del siglo xxi con los resultados obtenidos por el ipcc (2008).

Introducción

Observaciones efectuadas en todos los continentes y en la mayoría de los océanos evidencian que numerosos sistemas naturales están siendo afectados por cambios climáticos globales. Esto se debe principalmente la alteración tanto de las precipitaciones, como de las temperaturas a nivel mundial. El desarrollo regional también ha contribuido a la generación de estos cambios, esto obedece en gran medida al crecimiento poblacional, al uso de la tierra y a la urbanización.

Los posibles efectos del cambio climático constituyen una referencia obligada para cualquier análisis actual sobre los sistemas de recursos hídricos. Dichos recursos en las vertientes al Golfo de México no escapan de estas alteraciones y se han visto seriamente afectados por el cambio climático.

En el tercer informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC (2001), se presentan los cambios proyectados en los escurrimientos anuales para el año 2050, relativos al periodo 1961-1990 (mm/año), según las proyecciones de dos versiones del modelo acoplado océano-atmósfera del Hadley Centre, con un aumento anual del 1% de las concentraciones de CO_2 efectivo en la atmósfera: a) HadCM2 media del conjunto de simulaciones, y b) HadCM3 (figura 1).

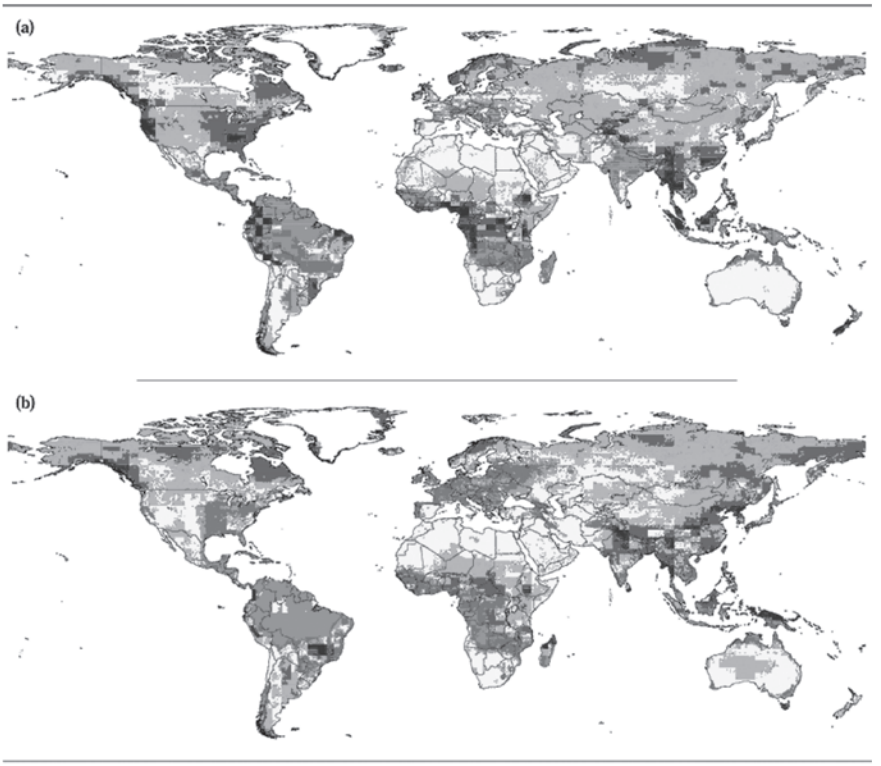


Figura 1. Cambios en las escurrimientos para el 2050 con referencia a las del 1961-1990 (mm/año). Tomada del IPCC (2001).

En está figura se pueden observar los dos escenarios planteados por el IPCC (2001), donde toda la cuenca del Golfo de México se encuentra totalmente dentro del margen de reducción de escurrimientos. Para el segundo escenario que es el más crítico, las costas de Tamaulipas se ubican con una reducción de -50 a -25 mm/año hasta la península de Yucatán, donde estas hipótesis la sitúan con una reducción de -250 a -150 mm/año.

En el último informe presentado por el IPCC (2008), se confirma lo planteado en el cuarto informe (IPCC, 2007) relativo al cambio de las escorrentías del presente hasta a fines del siglo XXI (figura 2). Se pueden observar los cambios relativos de los escurrimientos anuales en gran escala (escorrentía de agua, en valores porcentuales para el período 2090-2099, respecto del período 1980-1999). Los valores representan la mediana de 12 modelos climáticos propuestos. Las áreas en blanco indican los lugares en que menos de un 66% de los doce modelos concuerdan en el signo del cambio, y las áreas estriadas, los lugares en que más de 90% de los modelos coinciden en el signo del cambio.

Este trabajo fue expresado en porcentaje con un grado de confianza alto (en torno a 8 sobre 10); lo que indica que para latitudes medias y trópicos secos los valores disminuirán entre 10% y 30% de aquí a fines del siglo XXI, debido a la disminución de las lluvias y a tasas de evapotranspiración más altas.

En relación a la vertiente del Golfo de México, como puede ser observado en la figura 2, esta se encuentra con valores de disminución de sus escorrentías. Por lo que toca al estado mexicano en esta vertiente que abarca desde la parte norte de Tamaulipas hasta el norte de Veracruz tendría una disminución de un 20% en sus valores de escurrimientos (región IX: Golfo Norte). Respecto al resto del estado de Veracruz este se vería afectado por un cambio del 2% (región

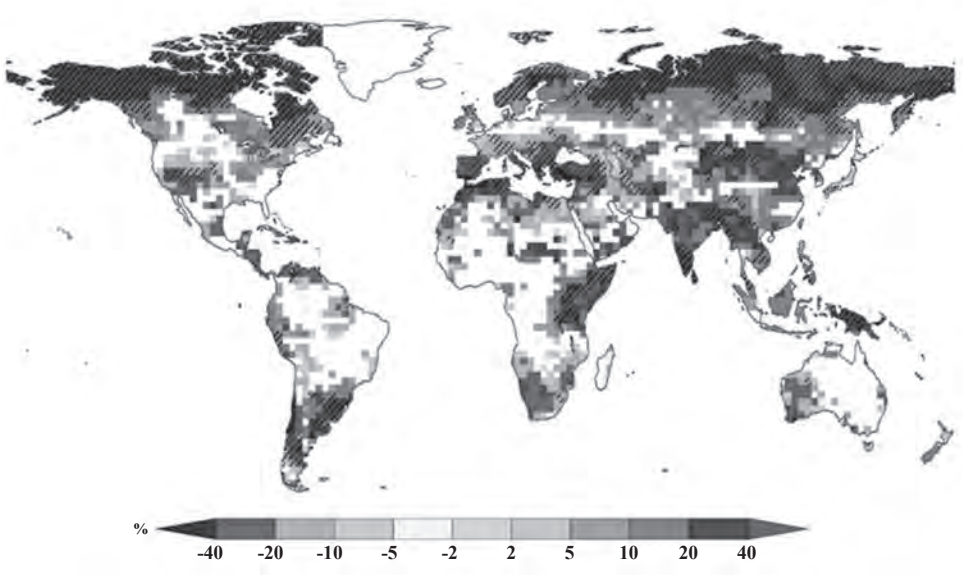


Figura 2. Cambio relativo de la escorrentía anual en gran escala. Tomada de IPCC (2008).

x: Golfo Centro). El estado de Tabasco y casi toda la península de Yucatán (Región xi: Frontera sur y la Región xii: Península de Yucatán) las escorrentías disminuirían un 20% según lo proyectado por el ipcc (2008).

Objetivo

Con base en la información del caudal de los afluentes más importantes ubicados en la vertiente del Golfo de México, se identificará la situación que guardan en su desembocadura y posteriormente se planteará un posible escenario de estos recursos hídricos para fínales del siglo xxi, según los criterios planteado por el ipcc (2008) para cada una de las regiones en la vertiente del Golfo de México.

Metodología

La adopción y uso de un modelo matemático para la Función de Distribución de Probabilidades (fdp) de una variable aleatoria, es sumamente importante en el cálculo de diversas estimaciones como para encontrar una magnitud dada de tal variable, su correspondiente probabilidad de ocurrencia, ya sea de excedencia, o el complemento de no excedencia.

La variable aleatoria correspondiente utilizada en este trabajo se extrae de los registros hidrométricos diarios de diferentes estaciones próximas a la desembocadura de los ríos del estado mexicano. Para ello en cada estación hidrométrica se recogieron las series temporales más extensas de caudales de *n* años, estas series son mostradas para los afluentes más importantes en dos formatos, buscando distinguir de manera visual la época de estiaje y de avenidas. Posteriormente, se presenta una Función de Distribución de Probabilidades acumuladas (fdp) de la variable y la distribución uniforme, apoyándose en el hecho de que la fdp se distribuye uniformemente en el intervalo de 0 a 1.

A continuación se realiza una caracterización de los valores habituales en cada uno de los afluentes, utilizando las últimas estaciones hidrométricas, para ello los datos de partida necesarios son las series completas de aportaciones de los caudales medios diarios correspondientes a *n* años. Se utilizan los criterios planteados por Richards (1990) para estimar los valores característicos de cada uno de los afluentes.

Área de estudio

Las estaciones hidrométricas que van desde Tamaulipas hasta Campeche en la vertiente del Golfo de México, son utilizadas. Para ello este trabajo se apoya en las regiones hidrológico-administrativas de la Comisión Nacional del Agua (cna) que son:

Región ix: Golfo Norte, la Región x: Golfo Centro, la Región xi: Frontera Sur y la Región xii: Península de Yucatán. En la tabla 1 se presentan las estaciones donde se tienen las bases de datos para este estudio.

Tabla 1. Estaciones hidrométricas en cada región.
Fuente: CNA-IMTA (2000).

Región	Estaciones
IX	San Fernando, Soto la Marina, Barberena, Paso del Aura, El Chijol, La Esperanza y Pánuco.
X	Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Antigua, Papaloapan, Coatzacoalcos y Tonalá.
XI	Grijalva-Usumacinta.
XII	Candelaria.

Recursos hídricos en las desembocaduras al Golfo de México

Región IX (Golfo Norte)

De los ríos analizados en la Región IX, el más caudaloso es el río Pánuco. En este río se analizaron 3 estaciones hidrométricas en tres de sus afluentes, por no contar con una estación próxima a la desembocadura. Dichas estaciones fueron: el Olivo (latitud 22° 50' 5" y longitud 98° 30' 5"), Tamuín (latitud 22° 00' 08" y longitud 98°46' 06") y Magiscatzin (latitud 22° 48' 5" y longitud 98° 43' 5"). Loa datos de estas tres estaciones fueron sumados para calcular el caudal del río Pánuco. La serie de tiempo obtenida puede observarse en la figura 3. De acuerdo a la Semarnap (hoy Semarnat) (1998) el río Pánuco descarga al Golfo de México un caudal pro-

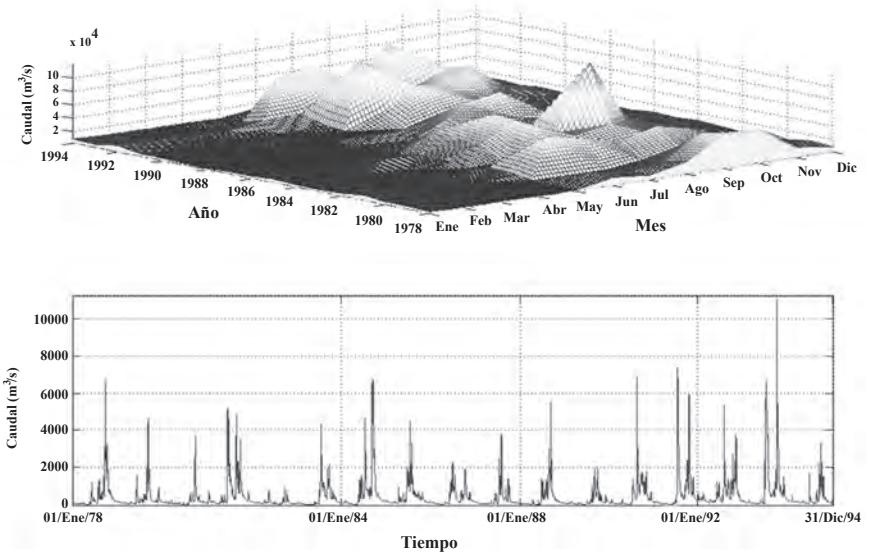


Figura 3. Hidrograma correspondiente al río Pánuco 1978–1994 (Tamuín, El Olivo y Magiscatzin). Distribución mensual (panel superior) y distribución diaria (panel inferior).

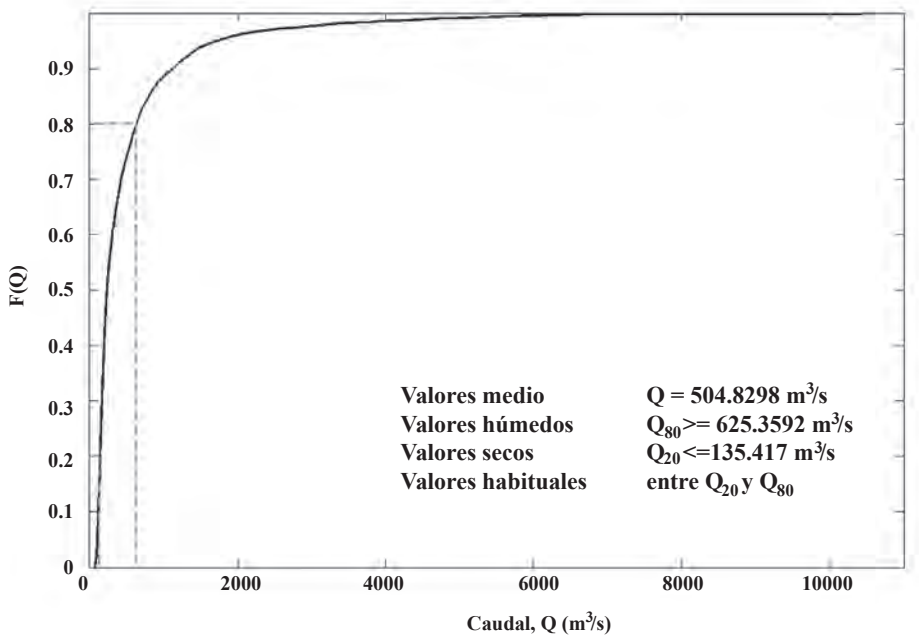


Figura 4. Función de distribución de probabilidades del río Pánuco.

medio de 507.9 m^3/s. La descarga media obtenida para la serie entre el 1 de enero de 1978 y el 31 de diciembre de 1994 es de 504.83 m^3/s. En algunas ocasiones el caudal llega a máximos cercanos a los 7 000 m^3/s, y en eventos extraordinarios, como en el año de 1993, alcanza hasta los 11 000 m^3/s (figura 3, panel inferior).

Con los valores del porcentaje de probabilidad propuestos por Richard (1990) para avenidas (valores mayores al 80% de probabilidad, Q_{80}) y estiaje (valores menores al 20 % de probabilidad, Q_{20}), los valores calculados por la función de distribución de probabilidades para el río Pánuco, las avenidas se presentan cuando los caudales son mayores a 625.36 m^3/s, mientras que el estiaje se presenta cuando los caudales son menores a 135.42 m^3/s. El caudal promedio diario (Q_m) es de 504.8 m^3/s. La función de distribución de probabilidad para el río Pánuco puede observarse en la figura 4. El caudal promedio vertido por los ríos de la Región IX, tomados en cuanta en este estudio, es de 555.15 m^3/s.

Región X (Golfo Centro)

Esta es la segundad región que más escurrimientos aporta al Golfo de México, comprende, casi en su totalidad, al estado de Veracruz. El cauce más importante en esta zona es el río Papalopan (Qm=576.73 m^3/s). La serie de tiempo del caudal fue obtenida en la estación Chacaltianguis El siguiente río en importancia, por sus escurrimientos, es el río Coatzacoalcos (Qm=448.42 m^3/s), cuya estación hidrométrica más próxima a la desembocadura está ubicada en la Perla.

La serie de tiempo se presenta en la figura 5. A nivel nacional estos ríos ocupan el segundo y tercer lugar por el caudal que vierten al Golfo de México. Los caudales de avenidas, estiaje y promedio, para los ríos de esta región pueden observarse en la tabla 2. El caudal vertido por los ríos de la Región X, tomados en cuenta en este estudio, es de 1 589.45 m^3/s.

Región XI (Frontera sur)

Esta región es la más dinámica en cuanto a escurrimientos al Gofo de México, tan solo el volumen medio anual hacia la desembocadura del río Grijalva se encuentra alrededor de los 36 500 millones de m^3 anuales, si a este volumen le añadimos el volumen medio anual del río Usumacinta a la corriente principal de la cuenca Grijalva-Usumacinta la cantidad de agua dulce que desemboca al Golfo de México se encuentra en el orden de 100 000 millones de metros cúbicos (Rubio y Triana, 2006).

Para cuantificar las descargas Grijalva-Usumacinta nos apoyamos es tres estaciones: Boca de Cerro, Samaria y Porvenir que en suma representan la descarga media diaria al Golfo de México, esto debido a que no se cuenta con una estación próxima a la desembocadura que nos proporcione la descarga total (figura 7 y tabla 3) .

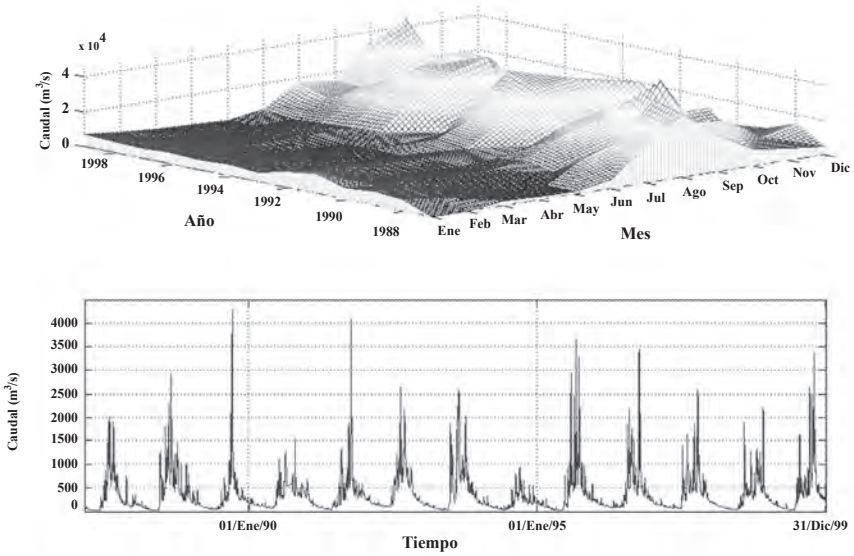


Figura 5. Hidrograma del río Coatzacoalcos analizado en la estación hidrométrica la Perla. Distribución mensual (panel superior) y distribución diaria (panel inferior).

Tabla 2. Localización, longitud de las series de tiempo analizadas y caudales de avenidas (Q_{80}), estiaje (Q_{20}) y promedio (Q_m), para los ríos de la Región IX: Golfo Norte.

Estación	Río principal	Latitud (N)	Longitud (W)	Periodo de observación	Q_m (m^3/s)	Q_{80} (m^3/s)	Q_{20} (m^3/s)
San Fernando	San Fernando	24° 50' 38"	98° 09' 30"	1931-1994	19.58	17.17	0.73
Soto la Marina	Soto la Marina	23 ° 45' 48"	98° 12' 26"	1989-2005	16.86	19.35	12
Barberena	Barberena	22° 37'30"	98° 07' 15"	1973-2005	2.77	0.358	0
El Chijol	El Tigre	22° 51'37"	98° 01' 06"	1981-2005	3.06	3.86	0.11
Paso del Aura	Palmas	23° 38'30"	98° 04' 45"	1963-2004	2.93	1.38	0.012
La Esperanza	San Rafael	23° 38' 30"	97° 56' 14"	1963-2005	5.13	1.94	0.34

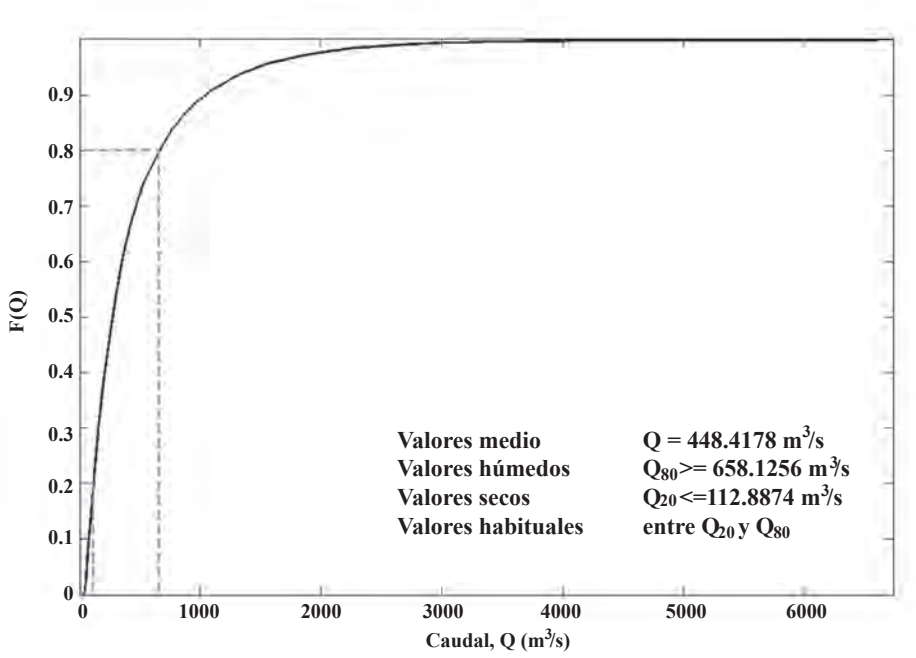


Figura 6. La función de distribución de probabilidades del río Coatzacoalcos.

Región XII (Península de Yucatán)

Esta cuenta con tres ríos importantes que son: Candelaria y Champotón en Campeche y Hondo en Quintana Roo, utilizando para este trabajo el río Candelaria (tabla 4).

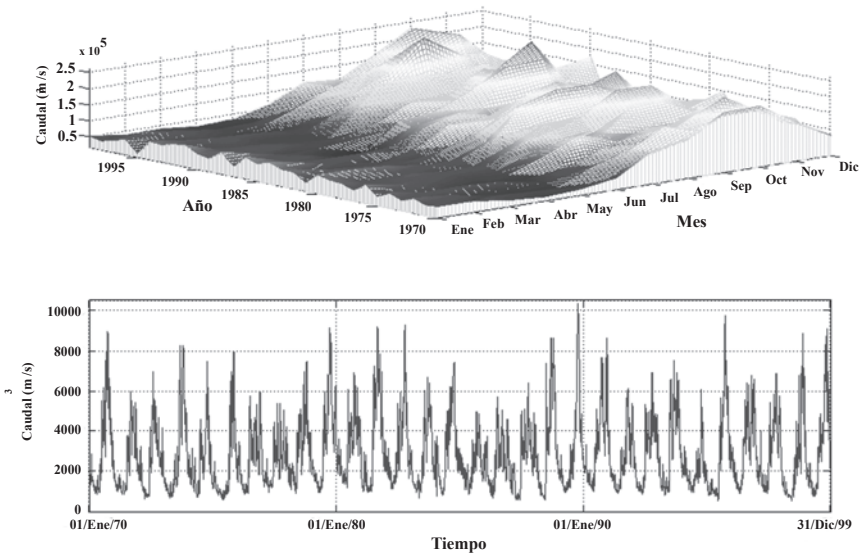


Figura 7. Hidrograma del Grijalva-Usumacinta sumando Boca del Cerro, Porvenir y Samaria. Distribución mensual (panel superior) y distribución diaria (panel inferior).

Tabla 3. Región XI: Frontera sur.

Estación	Río principal	Latitud (N)	Longitud (W)	Periodo de observación	Q_m (m^3/s)	Q_{80} (m^3/s)	Q_{20} (m^3/s)
Boca del Cerro Samaria Porvenir	Grijalva-Usumacinta	17 º 16' 00" 17 º 48' 55" 16 º 31' 10"	91 º 29' 00" 93 º 17' 30" 90 º 29' 00"	1970-1999	3077.36	4791.8	1458.8

Tabla 4. Región XII: Península de Yucatán.

Estación	Río principal	Latitud (N)	Longitud (W)	Periodo de observación	Q_m (m^3/s)	Q_{80} (m^3/s)	Q_{20} (m^3/s)
Candelaria	Candelaria	18º 11' 00"	91º 04' 00"	1953-1999	45.9	62.05	7.1

Conclusiones

Una vez que se estimó la situación que guardan los recursos hídricos en las desembocaduras al Golfo de México y con las proyecciones del IPCC (2008) sobre el posible impacto sobre estos recursos; se realiza una proyección para cada una de las regiones con base en lo planteado por el IPCC (2008) de aquí a finales del siglo XXI (tabla 5).

Para la situación actual, la descarga total de estos afluentes al Golfo de México es de 5 382.33 m^3/s. Aplicando las proyecciones del IPCC (2008) en la desembocadura para fines del siglo XXI, estos recursos hídricos se verían reducidos a 4 630.26 m^3/s. Esta considerable disminución de caudales y el aumento de las temperaturas afectarían propiedades físicas, químicas y biológicas de estos afluentes. También al disminuir los caudales y con el aumento del nivel del mar la cuña salina penetraría aun más dentro de los estuarios y con mayor tiempo de permanecía dentro de éstos; afectando a numerosas especies y comunidades que viven en su entorno.

Tabla 5. Proyección de los caudales en la desembocadura al Golfo de México para finales del siglo XXI.

Río principal	Estación	Periodo de Observación	Q_m (m^3/s)	Q_{80} (m^3/s)	Q_{20} (m^3/s)
San Fernando	San Fernando	1931-1994	15.66	13.74	0.58
Soto la Marina	Soto la Marina	1989-2005	13.49	15.48	9.6
Pánuco	Olivo+Tamuín+ Magiscatzin	1978-1994	403.86	526.50	108.33
Tuxpan	Almo	1957-1982	53.51	91.46	11.20
Cazones	Poza Rica	1953-1999	44.98	60.81	6.9
Nautla	Martínez de la Torre	1953-1999	54.30	64.39	56.84
Tecolutla	Remolino	1975-1999	200.17	268.52	56.84
Papaloapan	Chacaltianguis	1974-1999	565.20	248.66	47.51
Antigua	Cardel	1951-1999	55.83	87.49	10.07
Coatzacoalcos	La Perla	1953-1999	439.45	644.97	110.63
Tonalá	San José del Carmen	1980-1999	145.21	243.69	46.56
Grijalva-Usumacinta	Boca del Cerro + Porvenir + Samaria	1970-1999	2 461.88	3 832.94	1 167.04
Candelaria	Candelaria	1953-1999	36.72	49.64	5.68

Literatura citada

CNA-IMTA, 2000. Banco Nacional de Datos de Agua Superficial (BANDAS). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Vol. 3-6

IPCC, 2001, Cambio Climático, informe de síntesis, Tech. Rep., Tercer Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos.

IPCC, 2007. Cambio Climático, informe de síntesis, Tech. Rep., Cuarto Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos.

IPCC, 2008. Cambio Climático, informe de síntesis, Tech. Rep., Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos.

Richards, R. P., 1990. Measures of flow variability and new flow-based classification of Great Lakes tributaries. *Journal of Great Lakes Research*, 16: 53-70.

Rubio H., y C. Triana, 2006. Gestión Integrada de Crecientes caso de estudio México: Río Grijalva. Tech. rep. Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Global Water Partnership (GWP)

Semarnap, 1998. Estudios técnicos para determinar la disponibilidad de las aguas superficiales de la cuenca del río Pánuco, Tech. Rep., Diario Oficial, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

Ospina Noreña, J.E., G. Sánchez Torres Esqueda y C. Conde Álvarez, 2010. Impactos del cambio climático en las regiones hidrológicas del Golfo de México, p. 73-88. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Impactos del cambio climático en las regiones hidrológicas del Golfo de México

Jesús E. Ospina Noreña, Gerardo Sánchez Torres Esqueda y Cecilia Conde Álvarez

Resumen

Está demostrado científicamente que el cambio climático es real y que va a tener un impacto sobre el ciclo hidrológico a nivel global. Estudios realizados por investigadores de diferentes países adscritos a diferentes universidades, centros de investigación, agencias gubernamentales y organismos no gubernamentales concluyen que la temperatura media del planeta va a aumentar, que la precipitación en algunas regiones del mundo va a disminuir, y que los eventos extremos (sequías e inundaciones) van a tender a tener cada vez una mayor variabilidad. En este documento se presentan los resultados obtenidos de la modelación del cambio climático realizada en cuatro regiones hidrológico-administrativas de la Comisión Nacional del Agua (CNA) en la cuenca del Golfo de México. Se obtuvieron las estimaciones actuales de la relación Precipitación/Temperatura (Relación P/T) y sus proyecciones al año 2080 y se aplicaron los modelos GFDLCM20 y MPIECH-5 para los escenarios A2 y B2, para estimar el impacto del cambio climático en la disponibilidad del agua y en el grado de presión sobre el recurso hídrico en esas regiones de la CNA, proyectando esos parámetros al año 2080.

Introducción

En los últimos años se han llevado a cabo una gran variedad de estudios y modelaciones del impacto que el cambio climático puede tener sobre los recursos hídricos del planeta y se han publicado un sinnúmero de artículos y libros sobre este tema. Recientemente, el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) publicó un documento, editado por Bates *et al.* (2008), sobre cambio climático y agua en donde se confirma lo que otros investigadores ya habían concluido anteriormente sobre el impacto que el cambio climático va a tener sobre los recursos hídricos del planeta.

Entre las conclusiones más importantes de Bates *et al.* (2008) destaca el hecho de que el calentamiento global observado en las últimas décadas está ligado a cambios a gran escala en el ciclo hidrológico en aspectos relacionados con el contenido de vapor en la atmósfera, cambios en los patrones de precipitación, intensidad de lluvia y tormentas extraordinarias, reducción de las capas de nieve, derretimiento de glaciares y cambios en la humedad del suelo y en los procesos de escurrimiento.

Bates *et al.* (2008) concluyen que durante el siglo XX se observó que la precipitación aumentó en regiones ubicadas en latitudes altas en el Hemisferio Norte y que la precipitación disminuyó en regiones ubicadas entre los paralelos 30°N y 10°S. Por otra parte, las proyecciones de precipitación para el siglo XXI por los modelos de cambio climático son consistentes con el aumento de precipitación en las zonas de alta latitud norte y la disminución de precipitación en las zonas tropicales y subtropicales del planeta. México está ubicado precisamente en la región tropical y subtropical del hemisferio norte, en donde se espera que las precipitaciones disminuyan durante el siglo XXI.

Por lo tanto, este capítulo presenta los resultados de una modelación del impacto que puede tener el cambio climático sobre la disponibilidad y grado de presión sobre el recurso hídrico en 4 de las 5 regiones hidrológico-administrativas de la Comisión Nacional del Agua (CNA) en la cuenca del Golfo de México. Por la importancia y complejidad que tiene la región del río Bravo (Región VI), no fue posible incorporarla en este estudio. Por lo tanto, los resultados y conclusiones del proceso de modelación aplicado a las regiones hidrológico-administrativas de la CNA estudiadas se describen a continuación. Las regiones incluidas en este estudio fueron la Región IX: Golfo Norte, la Región X: Golfo Centro, la Región XI: Frontera Sur y la Región XII: península de Yucatán.

Condiciones actuales y proyecciones del recurso hídrico en el Golfo de México

Con el propósito de tener una aproximación de la oferta natural de los recursos hídricos, demanda de agua y grado de presión sobre los recursos hídricos en el Golfo de México ante los efectos del cambio climático, se analizaron las bases de datos integradas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para obtener las normales climatológicas para el período 1971-2000

como línea base para los estados y estaciones climatológicas mostradas en la tabla 1, y posteriormente se calculó el Índice de Lang (I_L) o relación Precipitación/Temperatura (P/T) para las diferentes estaciones climatológicas incluidas en esta tabla.

Con base en los criterios e interpretación del Índice de Lang planteados por Urbano (1995), las diferentes zonas climáticas se muestran en la tabla 2, y de acuerdo con las regiones hidrológico-administrativas de la Comisión Nacional del Agua (CNA) (figura 1), Tamaulipas forma parte de la región IX (Golfo Norte), Veracruz forma parte de la región X (Golfo Centro), Tabasco forma parte de la región XI (Frontera Sur), y Campeche, Yucatán y Quintana Roo forman parte de la región XII (Península de Yucatán).

Tabla1. Normales climatológicas 1971-2000 e Índice de Lang.

Normales climatológicas 1971-2000

Estado	Estación climatológica	Código	Latitud (N)	Longitud (W)	Altura (msnm)
Yucatán	Ticul	00031063	20°23'50"	89°33'28"	30
	Motul de C. Puerto	00031020	21°04'44"	89°17'01"	7
Campeche	Campeche	00004038	19°50'17"	90°32'39"	5
	Santa Cristina	00004053	19°48'55"	90°22'52"	10
	Ciudad del Carmen	00004007	18°39'12"	91°45'39"	5
	Mamantel	00004057	18°31'29"	91°05'21"	12
Tabasco	Pueblo Nuevo Centro	00027037	17°51'15"	93°52'45"	8
Veracruz	Puente Nacional	00030137	19°19'30"	96°28'54"	110
	Centro Reg. Huatusco	00030342	19°08'48"	96°57'00"	1 344
	Heroica Alvarado	00030009	18°46'40"	95°45'50"	3
Tamaulipas	Gómez Farías	00028136	23°01'43"	99°08'45"	380
	Magiscatzin	00028058	22°47'39"	98°42'58"	40

Índice de Lang

Estado	Estación climatológica	Precip. (mm)	Tmed (oC)	Relación P/T	Promedio P/T	Prom. Precip.	Prom. Tmed
Yucatán	Ticul .	1 106.2	26.2	42.2	43.4	1 132.6	26.1
	Motul de C. Puerto.	1 158.9	26	44.6			
Campeche	Campeche .	1 060.4	27.2	39.0	49.1	1 320.8	26.9
	Santa Cristina .	1 250.8	26.6	47.0			
	Ciudad del Carmen.	1 624.7	27.2	59.7			
	Mamantel.	1 347.3	26.6	50.7			
Tabasco	Pueblo Nuevo Centro.	2 105.2	26.6	79.1	79.1	2 105.2	26.9
Veracruz	Puente Nacional.	1 186.5	27.2	43.6	79.4	1 755.9	23.6
	Centro Reg. Huatusco	2 003.3	17.3	115.8			
	Heroica Alvarado.	2 077.9	26.4	78.7			
Tamaulipas	Gómez Farías.	1 842.3	23.2	79.4	56.8	1 349.3	24.1
	Magiscatzin.	856.2	25	34.2			

Tabla 2. Zonas climáticas definidas por el Índice de Lang.		
ILa	**Zonas Climáticas**	**Abreviatura**
0≤ IL<20	Desierto	D
20≤ IL<40	Zona árida	Za
40≤ IL<60	Zona húmeda de estepa y sabana	Zhes
60≤ IL<100	Zona húmeda de bosques ralos	Zhbr
100≤ IL<160	Zonas húmedas de bosques densos	Zhbd
Ila≥160	Zonas hiperhúmedas de prados y tundras	Zhhpt

Fuente: Modificado de Urbano (1995).

Figura 1. Regiones hidrológico-administrativas de la CNA.

Por lo tanto, con base en los resultados mostrados en la tabla 1, los valores promedio de la relación P/T para cada estado ubicado en la cuenca del Golfo de México dan por resultado que las regiones IX y XII se pueden clasificar como zona húmeda de estepa y sabana (Zhes) y las regiones X y XI se pueden clasificar como zona húmeda de bosques ralos (Zhbr), de acuerdo con la clasificación de zonas climáticas (tabla 2).

Es importante hacer notar que la región VI (río Bravo) actualmente tiene un alto grado de presión (56 %) sobre los recursos hídricos de esa región y aunque el río Bravo vierte sus aguas en el Golfo de México, debido a sus condiciones de cuenca binacional, esta región amerita un estudio especial y profundo (que no se hace en esta ocasión), debido a las implicaciones político administrativas de carácter binacional.

Oferta natural y extracciones del recurso hídrico en el Golfo de México

Con base en el estudio realizado en el 2004 por la Fundación Gonzalo Río Arronte-Fundación Javier Barros Sierra, "*Prospectiva de la demanda de agua en México, 2000-2030,"* el cual comprendió un análisis retrospectivo y prospectivo de la demanda de agua en México teniendo en cuenta la disponibilidad natural de los recursos hídricos en las diferentes regiones hidrológico-administrativas de la CNA, el grado de presión, extracciones o demandas al año 2000 y proyecciones de la demanda de agua al año 2030, crecimiento poblacional, crecimiento del PIB, aumentos o disminuciones del uso de agua por sector, entre otros criterios socioeconómicos. En la tabla 3 se muestran los parámetros que se consideraron importantes para el análisis sobre los posibles efectos que el cambio climático pueda tener sobre las diferentes regiones hidrológico-administrativas de la CNA en la cuenca del Golfo de México.

Tabla 3. Disponibilidad y extracciones de agua al año 2000 y 2030 para las regiones hidrológico-administrativas en el Golfo de México.

Región	Disponibilidad natural en el año 2000, (Mm^3)	Extracciones totales en el año 2000, (Mm^3)	Grado de presión sobre los recursos hídricos en el año 2000, (%)	Extracciones totales al año 2030, (Mm^3)[a]	Grado de presión sobre los recursos hídricos al año 2030, (%)
IX Golfo Norte	24 339	5 217	21.4	6 347	26
X Golfo Centro	102 633	3 946	3.8	17 502	17
XI Frontera Sur	155 906	1 841	1.2	19 058	12
XII Península de Yucatán	26 496	1 303	4.9	4 615	17

Notas: [a]Valores máximos proyectados, Mm^3 = Millones de metros cúbicos.
Fuente: Fundación Gonzalo Río Arronte-Fundación Javier Barros Sierra, "Prospectiva de la demanda de agua en México, 2000-2030." México, D.F. 2004.

Proyecciones de los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad del agua en el Golfo de México

Las proyecciones de los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de los recursos hídricos en cada una de las regiones hidrológico-administrativas de la CNA se estimaron en intervalos de 5 años ajustando los promedios para la temperatura media y la precipitación en las estaciones reportadas para cada región (tabla 1), con las proyecciones de las anomalías correspondientes a cada región encontradas mediante las salidas del programa MAGICC/SCENGEN[1] v.5.3, para los modelos GFDLCM20 y MPIECH-5, escenarios A2 y B2 (tablas 4 y 5).

Información detallada relacionada con escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, modelos climáticos de circulación general, programas generadores de escenarios, entre otros aspectos y conceptos relevantes de cambio climático, se pueden encontrar en Wigley (1994) y (2003); Hulme *et al.* (2000) y Conde (2003).

Los escenarios de cambio climático muestran tendencia al aumento de la temperatura media para todas las regiones hidrológico-administrativas del Golfo de México, siendo mayores los aumentos proyectados por el modelo MPIECH-5, escenario A2. En relación a la precipitación, se observa un pequeño aumento para la región XII dado por el modelo GFDLCM20, para los escenarios A2 y B2 y pequeñas disminuciones para el resto de las regiones, siendo la región IX la más afectada, alcanzando una disminución de 10.8% en el escenario A2 y de 4.3% en el escenario B2 para el año 2080. Por otra parte, el modelo MPIECH-5, para los escenarios A2 y B2, proyecta disminuciones importantes de la precipitación en las regiones XII (-21.1% y -14.7% para los escenarios A2 y B2, respectivamente al año 2080) y XI (-26.4% y -18.5% para los escenarios A2 y B2, respectivamente al año 2080), y disminuciones relativamente pequeñas en las regiones X y IX como se puede ver en las tablas 4 y 5.

Con las anomalías presentadas en las tablas 4 y 5, y teniendo en cuenta los valores promedios de temperatura media y precipitación en cada región, mostrados en la tabla 1, se proyectaron los cambios esperados para ambas variables en cada región. Es importante notar que para la región XII se usaron los promedios encontrados en los estados de Yucatán y Campeche.

Con las proyecciones de la precipitación y la temperatura media en cada año, se calculó la relación P/T para los cuatro escenarios resultantes de las corridas de los modelos GFDLCM20 y MPIECH-5 en cada una de las regiones hidrológico-administrativas del Golfo de México, la

[1] Se han desarrollado modelos climáticos simples que permiten incorporar la gama de escenarios de emisiones a los estudios de cambio climático. Estos modelos pueden simular la respuesta del clima global a cambios en las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) en términos del incremento de la temperatura y el aumento del nivel del mar. Dentro de estos modelos simples está el Modelo para la Evaluación de Gases de Efecto Invernadero - Gases que Inducen Cambio Climático (MAGICC, por sus siglas en Inglés). Para combinar los resultados del MAGICC con las salidas de los modelos de circulación general, fue necesario utilizar el programa Generador de Escenarios (Scengen, por sus siglas en inglés), (Wigley, 1994, 2003; Hulme *et al.*, 2000; y Conde, 2003).

Tabla 4. Anomalías de precipitación y temperatura media proyectadas para el Golfo de México, Modelo GFDLCM20.

Año/ Mod.	Región XII				Región XI				Región X				Región IX			
	GFDLCM20-A2		GFDLCM20-B2		GFDLCM20-A2		GFDLCM20-B2		GFDLCM20-A2		GFDLCM20-B2		GFDLCM20-A2		GFDLCM20-B2	
	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)
2010	4.8	0.2	2.2	0.3	3.5	0.2	0.5	0.3	0.96	0.18	0.09	0.25	-2.7	0.3	-1.2	0.3
2015	4.0	0.3	2.9	0.3	1.9	0.2	0.7	0.3	-0.02	0.25	0.13	0.32	-4	0.33	-1.4	0.39
2020	4.0	0.3	3.5	0.4	1.15	0.32	0.8	0.41	-0.7	0.32	0.18	0.4	-5.54	0.37	-1.6	0.49
2025	4.3	0.4	3.9	0.5	0.7	0.41	0.7	0.49	-1.19	0.4	0.12	0.48	-6.84	0.44	-1.9	0.57
2030	4.7	0.5	4.3	0.6	0.26	0.51	0.5	0.58	-1.66	0.49	0.02	0.56	-8.1	0.53	-2.2	0.66
2035	5.0	0.6	4.7	0.7	-0.25	0.63	0.3	0.67	-2.02	0.6	-0.1	0.64	-8.87	0.63	-2.4	0.75
2040	5.4	0.7	5.1	0.8	-0.76	0.76	0.1	0.76	-2.34	0.72	-0.22	0.73	-9.51	0.75	-2.7	0.84
2045	5.6	0.8	5.5	0.9	-1.8	0.89	-0.1	0.86	-2.66	0.85	-0.31	0.81	-10.09	0.88	-2.9	0.94
2050	6.2	1.0	5.9	0.9	-1.84	1.03	-0.3	0.95	-2.97	0.97	-0.39	0.9	-10.63	1.01	-3.0	1.03
2055	6.7	1.1	6.3	1.0	-2.38	1.19	-0.6	1.05	-3.17	1.12	-0.5	0.99	-10.8	1.16	-3.2	1.13
2060	7.2	1.3	6.6	1.1	-2.88	1.36	-0.9	1.14	-3.31	1.27	-0.62	1.08	-10.84	1.32	-3.4	1.22
2065	7.8	1.5	7.0	1.2	-3.28	1.53	-1.1	1.24	-3.38	1.43	-0.74	1.17	-10.82	1.5	-3.6	1.32
2070	8.8	1.6	7.3	1.3	-3.26	1.69	-1.4	1.34	-3.31	1.59	-0.86	1.26	-10.75	1.68	-3.8	1.41
2075	10.5	1.8	7.5	1.4	-2.52	1.84	-1.8	1.43	-2.92	1.73	-1.04	1.35	-10.96	1.88	-4.0	1.5
2080	11.4	2.0	7.8	1.5	-2.77	2.02	-2.2	1.53	-2.9	1.9	-1.24	1.44	-10.81	2.08	-4.3	1.59

Tabla 5. Anomalías de precipitación y temperatura media proyectadas para el Golfo de México, Modelo MPIECH-5.

Año/ Mod.	Región XII				Región XI				Región X				Región IX			
	MPIECH-5 A2		MPIECH-5 B2		MPIECH-5 A2		MPIECH-5 B2		MPIECH-5 A2		MPIECH-5 B2		MPIECH-5 A2		MPIECH-5 B2	
	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)	% cambio Prec	cambio Tmed (°C)
2010	0.4	0.3	-1.94	0.4	0.27	0.29	-2.49	0.38	0.51	0.31	-0.34	0.37	-2.15	0.41	-0.64	0.4
2015	-1.9	0.4	-2.54	0.5	-2.38	0.42	-3.26	0.5	-0.63	0.43	-0.43	0.49	-3.25	0.47	-0.72	0.5
2020	-3.6	0.5	-3.12	0.6	-4.3	0.55	-4.02	0.61	-1.48	0.55	-0.5	0.6	-4.59	0.55	-0.76	0.6
2025	-5.0	0.6	-3.89	0.7	-6.04	0.69	-4.99	0.73	-2.15	0.69	-0.69	0.72	-5.67	0.66	-0.87	0.8
2030	-6.6	0.7	-4.75	0.8	-7.87	0.85	-6.07	0.86	-2.82	0.84	-0.92	0.84	-6.68	0.79	-1.00	0.9
2035	-8.1	0.9	-5.68	0.9	-9.77	1.03	-7.23	0.99	-3.38	1.01	-1.17	0.96	-7.22	0.95	-1.12	1.0
2040	-9.7	1.1	-6.65	1.0	-11.71	1.22	-8.44	1.12	-3.91	1.19	-1.44	1.09	-7.6	1.11	-1.24	1.1
2045	-11.3	1.2	-7.57	1.1	-13.7	1.42	-9.6	1.26	-4.43	1.37	-1.66	1.21	-7.93	1.28	-1.25	1.3
2050	-12.9	1.4	-8.48	1.3	-15.73	1.62	-10.76	1.39	-4.95	1.56	-1.88	1.34	-8.21	1.46	-1.22	1.4
2055	-14.6	1.6	-9.44	1.4	-17.77	1.84	-11.98	1.53	-5.36	1.77	-2.12	1.47	-8.12	1.66	-1.24	1.5
2060	-16.2	1.8	-10.43	1.5	-19.81	2.07	-13.22	1.67	-5.72	1.99	-2.39	1.6	-7.9	1.88	-1.28	1.6
2065	-17.7	2.0	-11.43	1.6	-21.79	2.31	-14.47	1.8	-6.03	2.21	-2.64	1.73	-7.59	2.1	-1.29	1.8
2070	-19.0	2.3	-12.43	1.8	-23.49	2.55	-15.72	1.94	-6.18	2.44	-2.9	1.86	-7.24	2.34	-1.29	1.9
2075	-19.6	2.5	-13.52	1.9	-24.35	2.76	-17.07	2.08	-6.04	2.65	-3.22	1.99	-7.16	2.59	-1.37	2.0
2080	-21.1	2.7	-14.67	2.0	-26.35	3.02	-18.48	2.22	-6.26	2.9	-3.56	2.12	-6.7	2.85	-1.47	2.1

cual se puede interpretar como un índice del grado de aridez o humedad predominante en las diferentes regiones. Partiendo de los valores actuales de la relación P/T mostrados en la tabla 1, se determinó el porcentaje del aumento o disminución de esa misma relación según las diferentes proyecciones, que a la vez se asume como un aumento o disminución en la disponibilidad del recurso hídrico (tabla 6 y figura 2).

Para tener una idea más clara de lo que implica una disminución de 1% en la disponibilidad del agua, por ejemplo, si la disponibilidad de agua correspondiente al año 2000 en la zona XI Frontera Sur, igual a 155 906 millones de metros cúbicos (Mm^3), decreciera en 1%, se tendría una disminución de 1 559.06 Mm^3. Si se asume que el consumo promedio de agua por persona por día es de 200 litros, es decir, aproximadamente 73 m^3 de agua al año, esa disminución podría abastecer agua durante un año a una población de 21 356 986 habitantes, casi la población actual del Valle de México.

Las disminuciones observadas en la tabla 6 y en la figura 2, permiten establecer la tendencia al cambio de las zonas climáticas en cada región hidrológico-administrativa como se muestra en la tabla 7, de acuerdo a la clasificación establecida en la tabla 2. La región XII, por ejemplo, pasaría de zona húmeda de estepa y sabana (Zhes) a zona árida (Za), y las regiones XI y X pasarían de zonas húmedas de bosques ralos (Zhbr) a zonas húmedas de estepa y sabana (Zhes), según lo proyectado por el modelo MPIECH-5, para los escenarios A2 y B2.

La tendencia generalizada al cambio de las zonas climáticas para las diferentes regiones hidrológico-administrativas podría traer implicaciones importantes en la cobertura vegetal

Tabla 6. Porcentaje del aumento o disminución de la relación P/T.

Año	Región IX				Región X				Región XI				Región XII			
	GFDLCM20		MPIECH-5		GFDLCM20		MPIECH-5		GFDLCM20		MPIECH-5		GFDLCM20		MPIECH-5	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
2010	-5.3	-3.8	-5.2	-3.7	-6.1	-7.2	-7.0	-8.0	2.9	-0.3	-0.8	-3.8	4.1	1.2	-0.7	-3.2
2015	-6.7	-4.4	-6.5	-4.3	-7.3	-7.4	-8.5	-8.6	1.0	-0.5	-3.8	-5.0	3.0	1.6	-3.3	-4.2
2020	-8.3	-5.0	-8.1	-4.8	-8.2	-7.7	-9.8	-9.0	0.0	-0.7	-6.2	-6.1	2.7	1.9	-5.3	-5.2
2025	-9.9	-5.5	-9.5	-5.3	-8.9	-8.0	-10.9	-9.7	-0.8	-1.1	-8.4	-7.5	2.7	2.0	-7.2	-6.3
2030	-11.4	-6.2	-11.0	-5.9	-9.7	-8.4	-12.0	-10.3	-1.6	-1.6	-10.7	-9.0	2.8	2.1	-9.1	-7.5
2035	-12.5	-6.8	-12.1	-6.5	-10.4	-8.8	-13.2	-11.0	-2.5	-2.1	-13.1	-10.5	2.7	2.1	-11.1	-8.8
2040	-13.5	-7.4	-13.0	-7.0	-11.2	-9.3	-14.3	-11.7	-3.5	-2.6	-15.5	-12.1	2.6	2.1	-13.2	-10.1
2045	-14.5	-7.9	-13.9	-7.5	-11.9	-9.7	-15.3	-12.3	-4.9	-3.2	-18.0	-13.6	2.3	2.2	-15.3	-11.4
2050	-15.5	-8.4	-14.7	-7.9	-12.6	-10.1	-16.4	-13.0	-5.4	-3.7	-20.5	-15.1	2.4	2.3	-17.4	-12.7
2055	-16.2	-8.9	-15.3	-8.4	-13.3	-10.5	-17.5	-13.6	-6.5	-4.3	-23.0	-16.7	2.3	2.3	-19.5	-14.0
2060	-16.7	-9.4	-15.8	-8.9	-14.0	-10.9	-18.5	-14.3	-7.6	-4.9	-25.6	-18.3	2.1	2.3	-21.6	-15.3
2065	-17.3	-10.0	-16.3	-9.3	-14.6	-11.4	-19.5	-15.0	-8.5	-5.5	-28.0	-19.8	2.1	2.2	-23.6	-16.6
2070	-17.8	-10.4	-16.7	-9.8	-15.1	-11.8	-20.3	-15.6	-9.0	-6.1	-30.1	-21.4	2.4	2.1	-25.4	-17.9
2075	-18.6	-11.0	-17.4	-10.3	-15.2	-12.3	-20.8	-16.3	-8.8	-6.8	-31.4	-23.0	3.5	2.1	-26.4	-19.3
2080	-19.1	-11.6	-17.8	-10.8	-15.8	-12.8	-21.7	-17.1	-9.6	-7.5	-33.8	-24.7	3.7	1.9	-28.4	-20.7

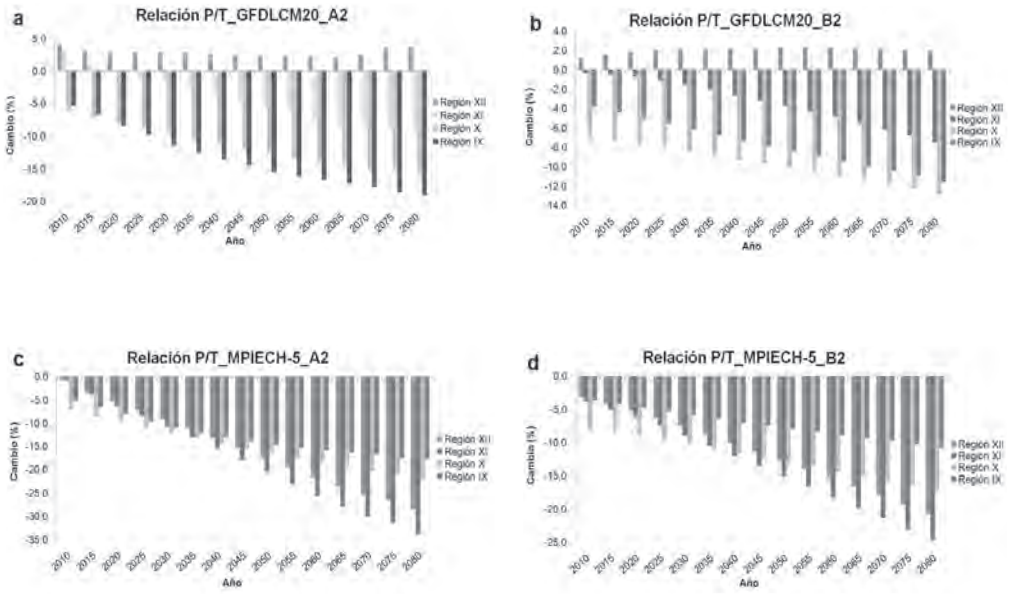


Figura 2. Evolución de la relación P/T en el tiempo. a) Modelo GFDLCM20-A2, b) Modelo GFDLCM20-B2, c) Modelo MPIECH-5-A2, d) Modelo MPIECH-5-B2.

Tabla 7. Cambio en la clasificación de zonas climáticas en el Golfo de México.

Condición climática	Región IX				Región X			
	GFDLCM20		MPIECH-5		GFDLCM20		MPIECH-5	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Clasificación Actual	Zhes	Zhes	Zhes	Zhes	Zhbr	Zhbr	Zhbr	Zhbr
Clasificación al año 2080	Zhes*	Zhes*	Zhes*	Zhes*	Zhbr*	Zhbr*	Zhes	Zhes

Condición climática	Región XI				Región XII			
	GFDLCM20		MPIECH-5		GFDLCM20		MPIECH-5	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Clasificación Actual	Zhbr	Zhbr	Zhbr	Zhbr	Zhes	Zhes	Zhes	Zhes
Clasificación al año 2080	Zhbr*	Zhbr*	Zhes	Zhes	Zhes*	Zhes*	Za	Za

*Aunque conservan su clasificación, es importante anotar que cada vez se acercan más al límite inferior de la clasificación mostrada en la tabla 2.

natural y sus consecuentes efectos sobre los diferentes elementos biótico-físicos existentes, es decir, la estructura florística, faunística y ecosistémica podría sufrir cambios relevantes. Igualmente a futuro se podrían ver afectados los sistemas de producción agrícola predominantes; por lo que, será necesario evaluar los aspectos anteriores a la luz de los posibles cambios climáticos que se pueden presentar en las regiones hidrológico-administrativas de la cuenca del Golfo de México.

Proyecciones del efecto del cambio climático en el grado de presión sobre los recursos hídricos en el Golfo de México

En los resultados de la tabla 6, se observa que la región XII podría presentar un pequeño aumento en la disponibilidad de agua según lo proyectado por el modelo GFDLCM20 para los escenarios A2 y B2. Sin embargo, los demás escenarios muestran reducciones significativas conforme transcurre el tiempo para todas las regiones del Golfo de México. Estas disminuciones exacerban las condiciones actuales del grado de presión sobre los recursos hídricos, máxime cuando se esperan fuertes aumentos a futuro en la extracción o demanda del recurso hídrico, como se mencionó en párrafos anteriores y se reportó en la tabla 3.

La disminución en la disponibilidad de agua y el aumento en la extracción, conllevan a un aumento en el grado de presión sobre los recursos hídricos en cada una de las regiones hidrológico-administrativas de la CNA en el Golfo de México. En las tablas 8 y 9 se muestran los resultados obtenidos de las corridas de los modelos GFDLCM20 y MPIECH-5 en relación con las proyecciones del grado de presión sobre el recurso hídrico en las regiones hidrológico-administrativas del Golfo de México. Considerando únicamente los resultados del modelo MPIECH-5 (escenario A2), el cual arroja los resultados más adversos, se puede observar (tabla 8) que la región XII pasaría de un grado de presión en el año 2010 igual a 5.0% a un grado de presión de 19.2% en el año 2030 y de 24.3% al año 2080. Estos resultados asumen que la demanda de agua proyectada al 2030 se mantiene constante hasta el año 2080, lo cual quiere decir que el aumento en el grado de presión puede ser mucho mayor a lo reportado en este estudio, y su valor final dependerá de la mejora en la eficiencia de los sistemas hidráulicos y de las políticas que se adopten en cuanto al manejo sustentable de los recursos hídricos en las regiones hidrológico-administrativas consideradas en este estudio.

Es importante resaltar que aún con los pequeños aumentos en la disponibilidad de agua proyectados por el modelo GFDLCM20 (escenarios A2 y B2) para la región XII (tabla 6), al considerar las proyecciones de la demanda de agua, el grado de presión pasaría de un 4.7% en el año 2010 a un 17% en el año 2080 (escenarios A2 y B2). En todos los casos la región IX es la más afectada, alcanzando grados de presión al año 2080 de 29.2% proyectado por el modelo MPIECH-5 (escenario B2), hasta 32.2% proyectado por el modelo GFDLCM20 (escenario A2).

En la figura 3 se presenta la evolución del grado de presión en cada una de las regiones del Golfo de México, con base en los valores reportados en la tabla 8 para el modelo MPIECH-5,

Tabla 8. Proyección del grado de presión sobre el recurso hídrico, modelo MPIECH-5.

Año/Mod.	MPIECH-5, escenario A2				MPIECH-5, escenario B2			
	Región IX	Región X	Región XI	Región XII	Región IX	Región X	Región XI	Región XII
2010	22.6	4.1	1.2	5.0	22.3	4.2	1.2	5.1
2015	22.9	4.2	1.2	5.1	22.4	4.2	1.2	5.2
2020	23.3	4.3	1.3	5.2	22.5	4.2	1.3	5.2
2025	23.7	4.3	1.3	5.3	22.6	4.3	1.3	5.3
2030*	29.3	19.4	13.7	19.2	27.7	19.0	13.4	18.8
2035	29.7	19.6	14.1	19.6	27.9	19.2	13.7	19.1
2040	30.0	19.9	14.5	20.0	28.0	19.3	13.9	19.4
2045	30.3	20.1	14.9	20.5	28.2	19.4	14.2	19.7
2050	30.6	20.4	15.4	21.1	28.3	19.6	14.4	19.9
2055	30.8	20.7	15.9	21.6	28.5	19.7	14.7	20.2
2060	31.0	20.9	16.4	22.2	28.6	19.9	15.0	20.6
2065	31.1	21.2	17.0	22.8	28.8	20.1	15.3	20.9
2070	31.3	21.4	17.5	23.3	28.9	20.2	15.6	21.2
2075	31.6	21.5	17.8	23.7	29.1	20.4	15.9	21.6
2080	31.7	21.8	18.5	24.3	29.2	20.6	16.2	22.0

Tabla 9. Proyección del grado de presión, modelo GFDLCM20.

Año/Mod.	GFDLCM20, escenario A2				GFDLCM20, escenario B2			
	Región IX	Región X	Región XI	Región XII	Región IX	Región X	Región XI	Región XII
2010	22.6	4.1	1.1	4.7	22.3	4.1	1.2	4.9
2015	23.0	4.1	1.2	4.8	22.4	4.2	1.2	4.9
2020	23.4	4.2	1.2	4.8	22.6	4.2	1.2	4.8
2025	23.8	4.2	1.2	4.8	22.7	4.2	1.2	4.8
2030*	29.4	18.9	12.4	17.0	27.8	18.6	12.4	17.1
2035	29.8	19.0	12.5	17.0	28.0	18.7	12.5	17.1
2040	30.2	19.2	12.7	17.0	28.2	18.8	12.6	17.1
2045	30.5	19.4	12.9	17.0	28.3	18.9	12.6	17.0
2050	30.9	19.5	12.9	17.0	28.5	19.0	12.7	17.0
2055	31.1	19.7	13.1	17.0	28.6	19.1	12.8	17.0
2060	31.3	19.8	13.2	17.1	28.8	19.1	12.9	17.0
2065	31.5	20.0	13.4	17.1	29.0	19.2	12.9	17.0
2070	31.7	20.1	13.4	17.0	29.1	19.3	13.0	17.1
2075	32.0	20.1	13.4	16.8	29.3	19.4	13.1	17.1
2080	32.2	20.2	13.5	16.8	29.5	19.5	13.2	17.1

escenario A2. Para este modelo en particular se tiene que en el año 2000 las regiones X, XI y XII tenían un grado de presión escasa correspondiente a 4%, 1% y 5%, respectivamente, mientras que la región IX presentaba un grado de presión media-fuerte de 21%. Al año 2030 estas mismas regiones X, XI y XII se estima que presentarán un grado de presión moderado de 19%, 14% y 19%, respectivamente, y la región IX seguirá teniendo un grado de presión media-fuerte, ahora igual a 29%. Y para el año 2080, las regiones X y XII alcanzarán un grado de presión media-fuerte, la región XI se mantendrá en un grado de presión moderada, pero en su límite superior; y la región IX conservará su categoría de presión media-fuerte, pero acercándose cada vez más al límite superior de esa categoría, pudiendo tal vez pasar al grado de presión fuerte (>40%) después del año 2080.

Conclusiones

Con base en los resultados de la modelación realizada en el estudio que aquí se describió, las cuatro regiones hidrológico-administrativas de la CNA ubicadas en el Golfo de México, indiscutiblemente presentan tendencias a la disminución de los recursos hídricos como resultado de los efectos del cambio climático, excepto en los escenarios proyectados para la región XII por el modelo GFDLCM20 (tabla 6), en donde se proyectan aumentos pequeños en la relación P/T.

También, con base en los resultados obtenidos, se puede concluir que las zonas climáticas en cada región hidrológico-administrativa pueden sufrir transformaciones importantes, pasando siempre a ser zonas más secas con respecto a su condición actual, lo que podría provocar cambios importantes en sus estructuras florística, faunística y en diversas relaciones ecosistémicas existentes, aspectos que deben ser estudiados y analizados en estudios posteriores.

El grado de presión sobre los recursos hídricos aumentará tanto por la vía de los efectos o impactos del cambio climático, como por los incrementos de la demanda de agua, lo que sugiere acciones inmediatas en cuanto a la planeación y manejo sustentable de los recursos hídricos en cada región hidrológico-administrativa, especialmente en el sector agrícola, el cual es el principal usuario de agua a nivel regional, nacional y global.

Lo anterior deberá dar por resultado el que se puedan desarrollar estudios tendientes a diseñar métodos, herramientas y a establecer elementos de juicio para la generación del conocimiento científico en materia de recursos hídricos que permita definir planes de manejo sustentable y políticas de uso racional del agua, de tal forma que se puedan incorporar en esos planes de manejo elementos climáticos-ambientales que influyen en la disponibilidad natural del agua, como también elementos socio-culturales que intervienen en la evolución de la demanda de agua.

Finalmente, el estudio realizado y los resultados mostrados en este capítulo se concentraron principalmente en el agua dulce resultante del ciclo hidrológico en las diferentes regiones hidrológico-administrativas de la CNA en el Golfo de México y en el impacto que el cambio climático puede tener en la disponibilidad de ese recurso hídrico. El efecto que el cambio

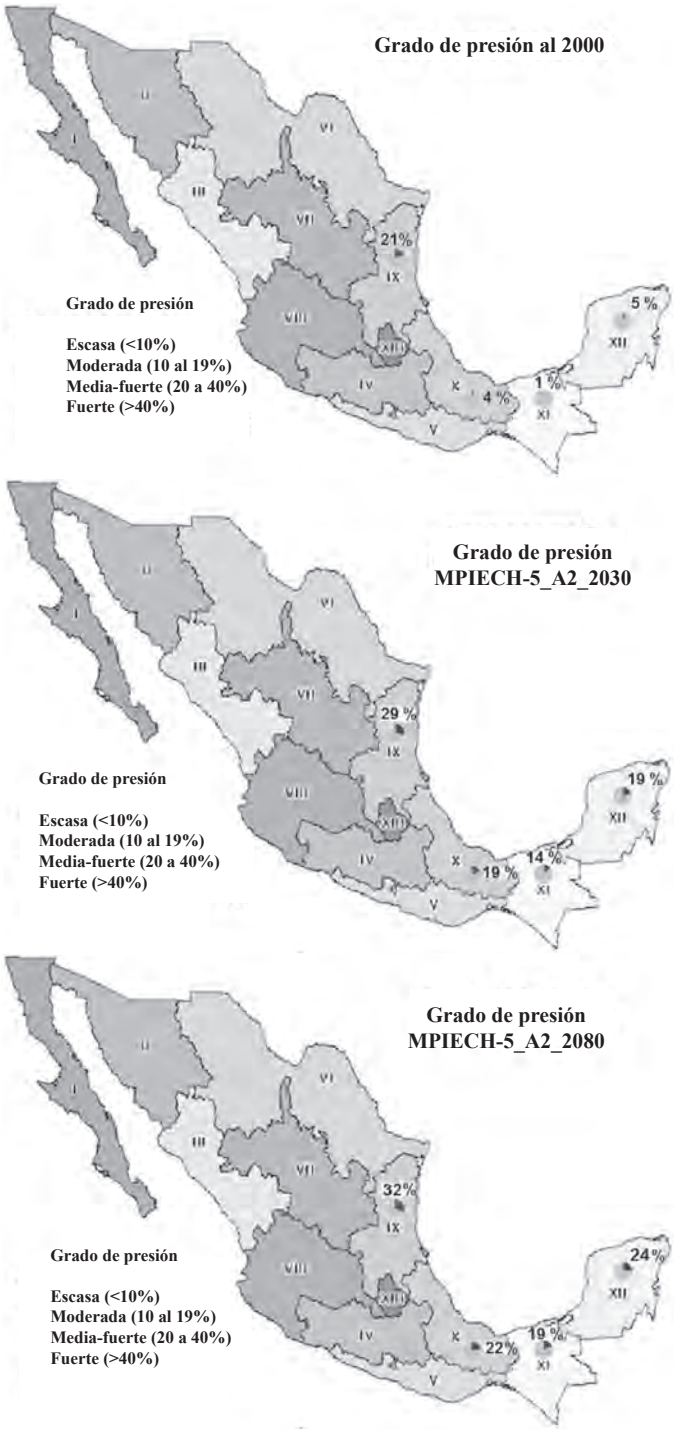


Figura 3. Evolución del grado de presión, modelo MPIECH-5, escenario A2.

climático tiene sobre la elevación del nivel medio del mar y el impacto que esto puede tener sobre los recursos hidráulicos en la zona costera, especialmente la intrusión de agua salina en acuíferos costeros y estuarios, quedó fuera de los alcances de este estudio debido a la falta de recursos económicos para llevar a cabo estudios de campo necesarios para estudiar el impacto de la sobre elevación del nivel medio del mar. En una continuación de este estudio se tiene contemplado estudiar este fenómeno con mayor detalle, para complementar los resultados mostrados en este estudio y tener una visión completa del impacto que el cambio climático va a tener en las zonas costeras de México.

Literatura citada

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu, y J.P. Palutikof (eds.), 2008. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 p.

Conde, C., 2003. Cambio y variabilidad climáticos: dos estudios de caso en México. Tesis Doctoral. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, México. 300 pp.

Hulme, M.W., T.M.L. Barrow, E.M. Raper, S.C.B. Centella, A.S. Smith, y A.C. Chipanshi, 2000. Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook. Climatic Research Unit, UEA, Norwich, UK, 52 p.

Servicio Meteorológico Nacional, 2009. http://smn.cna.gob.mx/productos/normales/cnormales.html (Fecha de consulta., Enero 20 de 2009)

Urbano Terrón, P., 1995. Tratado de Fitotecnia General", 2ª edición, Ed. Mundi–Prensa, Bilbao. 885 p.

Wigley, T.M.L., 1994. MAGICC (Model for Assessment of Greenhouse Gas-Induced Climate Change): User's Guide and Scientific Research Manual. National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 36 p.

Wigley, T.M.L., 2003. MAGICC/SCENGEN: User-friendly software for GCM inter-comparisons, climate scenario development and uncertainty assessment. National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO 80307, 27 p.

Carranza Edwards, A., A.P. Marín Guzmán, y L. Rosales Hoz, 2010. Problemática ambiental en la gestión costera-marina, p. 89-100. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Problemática ambiental en la gestión costera-marina

Arturo Carranza Edwards, Ana Pilar Marín Guzmán y Leticia Rosales Hoz

Resumen

En la gestion costera-marina se necesita considerar la problemática ambiental tratando de encontrar la causa original de los problemas ambientales para así poder darles atención. El crecimiento exponencial demográfico del planeta es la causa primera y por ello es la primera que debe atenderse. Las manchas urbanas en las zonas costeras, la retención artificial de sedimentos, la contaminación y el cambio climático global se incrementan en función directa del crecimiento poblacional de la Tierra. Por ello, es fundamental crear conciencia para la planeación del crecimiento demográfico.

Introducción

Los litorales se pueden dividir en litorales rocosos y litorales no rocosos. Los litorales no rocosos pueden estar constituidos por gravas, arenas o lodos. En el ambiente de playa normalmente la energía del oleaje solo permite que se depositen arenas.

Las playas son acumulaciones de material no consolidado, normalmente constituido por arenas, en las zonas costeras (Komar, 1976). Dentro de la gestión costera-marina es uno de los ambientes más sensibles a un mal manejo ambiental.

El límite superior de las playas está dado por el dominio terrestre y puede estar constituido por vegetación, dunas activas, dunas estabilizadas, arbustos e incluso construcciones adyacentes a las playas. En cambio el límite hacia el mar está constituido por el contacto entre el ambiente de playa y el ambiente de plataforma continental. Este límite es altamente variable dado que las acumulaciones no consolidadas entrarán en movimiento cuando la ola "siente" el piso marino. En este momento las partículas del fondo sufren un movimiento de traslación mar-tierra, tierra-mar. Dependiendo del ángulo que tenga el tren de oleaje con respecto a la línea de costa será que el transporte litoral se iniciará en una dirección o en otra. Si el tren de oleaje no forma un ángulo con la línea de playa, entonces el transporte será perpendicular a la línea de costa, en cuyo caso es frecuente observar cuspilitos "*beach cusps*" (Shepard, 1967) que favorecen las corrientes de retorno, tan peligrosas para los bañistas.

En la porción profunda de la playa conocida como infraplaya (Carranza-Edwards y Caso-Chávez, 1994; Carranza-Edwards, 2001; Carranza-Edwards *et al*., 2004) las partículas tenderán a ser más finas que en la porción somera, en la cual el oleaje y las corrientes litorales imprimen una mayor energía a la playa que será responsable de que en la porción somera de infraplaya se presenten partículas más gruesas. De esta manera la infraplaya presenta la tendencia a sedimentos finos a profundidad y sedimentos gruesos en la zona de rompientes. En condiciones de tormentas severas el mar puede transportar hacia tierra gravas del tamaño de peñascos impactándose con gran fuerza en las construcciones costeras (figura 1). Un caso más espectacular fue el del buque pesquero cubano Portachernera I, que se impactó contra un hotel de Cancún en septiembre de 1988 cuando el Huracán Gilberto alcanzó una magnitud de 5 en la escala Zaffir-Simpson.

En contraste, en la plataforma continental somera las partículas más finas tenderán a depositarse. No obstante cuando se presentan condiciones de tormentas o de tsunamis, la porción somera de la plataforma continental pasará a ser parte de la infraplaya. Y los sedimentos finos que se encontraban en reposo entrarán en movimiento pudiendo alcanzar las partes altas de la playa generándose fuertes variaciones sedimentológicas y químicas con un consecuente impacto hacia la fauna bentónica de las playas.

El objetivo de este capítulo es destacar la importancia de conservar en buenas condiciones las porciones más someras de la plataforma continental para propiciar la existencia de playas limpias de contaminantes.

Figura 1. La remoción de sedimentos finos, en ocasiones cargados de contaminantes, está en función del tamaño de ola. Incluso grandes bloques de rocas son lanzados hacia la costa en épocas de trormentas.

Problemática generada por diversas actividades antrópicas

De acuerdo con McFalls (1991) y Keller (1996) la población mundial continúa en crecimiento (figura 2) y como consecuencia las zonas costeras empiezan a recibir un mayor impacto por desarrollos demográficos acelerados. Aún cuando los impactos antrópicos pueden ser muy numerosos y diversos, aquí solamente se consideran a continuación algunos de los más importantes.

El crecimiento de la población como fuente original de todos los problemas ambientales

Nuestro planeta es finito. Si no lo fuese, quizá el desarrollo sustentable sería ilimitado. La realidad es otra: a medida que crece la población mundial, todos y cada uno de los diversos ambientes naturales se verán afectados tarde o temprano por las actividades de los habitantes de la Tierra.

En la figura 2 se aprecia un abrupto cambio en la pendiente de la curva de crecimiento demográfico a nivel mundial, este quiebre en la pendiente tiene lugar aproximadamente en la época de la Revolución Industrial, que también fue una época en que la ciencia y la tecnología se empezaron a desarrollar. Este desarrollo ha sido cada vez más espectacular en tal forma que esta curva en su pendiente más inclinada tiende a ser casi vertical. No obstante se puede considerar

que las ciencias sociales no han podido impactar en poner un alto al crecimiento poblacional.

¿Qué pasa cuando hay exceso de población? Evidentemente habrá una mayor demanda de recursos naturales tanto renovables como no renovables.

El consumo de recursos naturales normalmente se manifiesta por cambios en el uso de suelo. Esto es, el terreno boscoso se pierde para dar lugar a terreno agrícola el cual es sustituido por un uso de suelo urbano y/o industrial (figura 3). La consecuencia de esto es que en las zonas montañosas la infiltración va a disminuir debido a que las raíces de los árboles que fueron eliminados ya no retendrán el agua en el suelo, de esta manera disminuye la infiltración y crece el escurrimiento.

Los sedimentos erosionados serán de partículas finas (el limo es uno de los componentes más abundantes del suelo vegetal) y además durante su transporte hacia la costa el tamaño de partícula disminuirá aún más, en tal forma que llegarán sedimentos más finos hacia el mar, los cuales no podrán ser retenidos en la playa dada la alta energía de este ambiente. La resultante obtenida se puede traducir como que la playa será más angosta y la erosión será mayor. Este daño ambiental no solo afecta a especies como las tortugas sino que la infraestructura turística también será vulnerable. La curva de deterioro ambiental sería inversa a la del crecimiento de la población y el daño tenderá a ser también exponencial y posiblemente irreversible.

Efectos de la mancha urbana sobre los sedimentos no consolidados de las llanuras costeras próximas a las playas

Los aluviones del cuaternario son materiales permeables que permiten la infiltración de aguas pluviales. Estas infiltraciones son responsables de que el nivel freático se encuentre próximo a

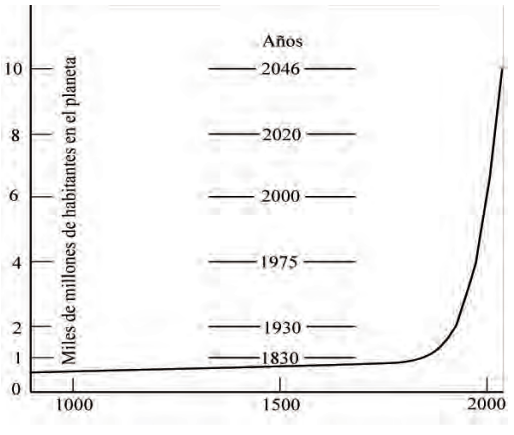


Figura 2. Curva que representa el crecimiento exponencial de la población del planeta (modificado de McFalls, 1991; Keller 1996).

Figura 3. Ejemplos de cambios en el uso de suelo. Vista desde las pirámides de Teotenango, Mex. Se aprecian diversos usos de suelo (urbano, agrícola, boscoso).

la superficie del terreno. Cuando grandes regiones de estas llanuras quedan cubiertas por las "manchas" urbanas se reduce o disminuye la infiltración (figura 4) y se incrementa el escurrimiento y las aguas pluviales llegan al mar por tuberías, canales o escurrimientos directos, etc. Esto trae como consecuencia que el nivel freático descenderá de manera continua hasta que el nivel de las aguas salinas del mar y el nivel de las aguas dulces freáticas coincidan; entonces se favorece la formación de intrusiones salinas tierra adentro. Si además hay bombeo de pozos en acuíferos libres, la salinización de los terrenos próximos al mar se incrementará tanto que puede ser irreversible. Cuando se presenta la salinización de las zonas costeras se afecta incluso el crecimiento de la vegetación (figura 5).

Retención de sedimentos litorales debido a obras de infraestructura

En las playas hay un balance entre erosión y depósito (figura 6). Si este balance se pierde entonces se presenta un "dogma científico", *i.e.* a toda erosión corresponde un depósito y a todo depósito corresponde una erosión. En ocasiones la construcción de espigones, escolleras, marinas, muelles, etc., constituyen barreras al transporte natural de los sedimentos litorales. En estos casos el fenómeno de retención de sedimentos tendrá lugar (Marín y Carranza, en prensa) y de un lado de la playa puede haber ensanchamiento mientras que en el otro el adelgazamiento puede en ocasiones hacer que la playa desaparezca con el consecuente daño a la fauna litoral y a las propias obras de infraestructura en zonas costeras (figura 7). Un dogma (científico) es que si en una localidad se presenta erosión en otra habrá depósito y viceversa (Carranza-Edwards,

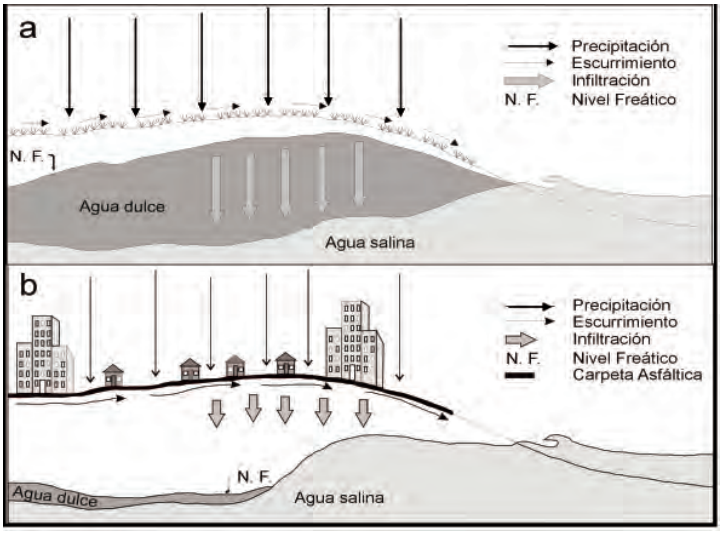


Figura 4. Este croquis representa el efecto que puede tener nivel freático de un acuífero costero cuando el crecimiento de la mancha urbana disminuye las infiltraciones e incrementa los escurrimientos. a) Condiciones naturales del terreno (el riesgo de inundaciones se incrementa). b) Condiciones de terreno urbanizado.

Figura 5. El crecimiento de una palmera inhibido por la salinización del terreno.

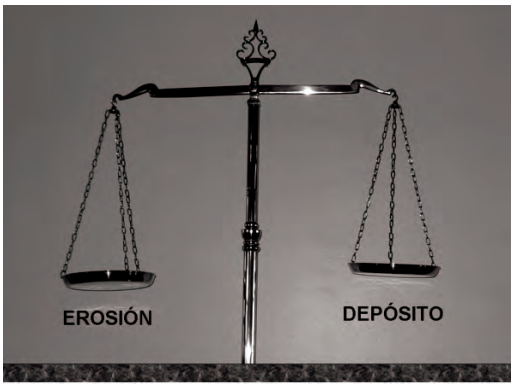


Figura 6. En este diagrama se observa una balanza que representa el sensible equilibrio dinámico que debe existir entre la erosión y el depósito.

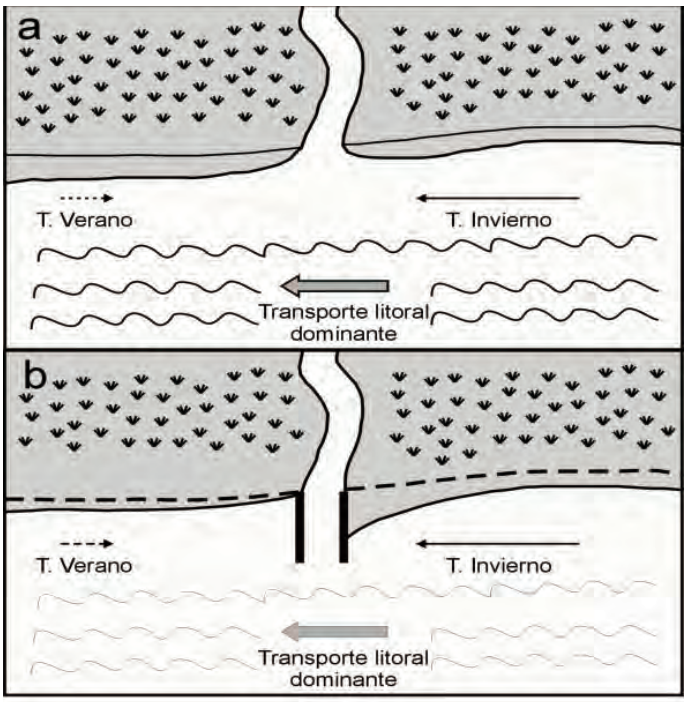


Figura 7. La interrupción del transporte litoral dominante produce erosión a un lado de la barrera constituída por las escolleras y depósito en el otro lado.

en prensa). El mismo efecto que se produce por la presencia de escolleras se puede producir por tuberías que descansan sobre la superficie del piso de la playa sumergida o bien por la construcción de marinas, canales o puertos que también afectarán el transporte litoral natural.

Es muy importante tomar en cuenta que a medida que las actividades antrópicas crecen se presentará una relación directa con el daño ambiental de las zonas costeras. En la figura 8 se presenta un semáforo ambiental que indica que en el pasado existió un ambiente, en el presente un medio ambiente y de no regresarse a las condiciones previas, entonces se llegará en el futuro a ¼ de ambiente. Así como existen semáforos volcánicos, sería conveniente desarrollar semáforos ambientales con rangos variables tal vez desde 1 hasta 10, donde el 1 representaría un desarrollo sustentable.

Carranza (en prensa) señala que el represamiento de los ríos en tierras altas e incluso distantes de la costa, retendrá los sedimentos más gruesos en las regiones próximas a la desembocadura de los ríos en dichas presas. Entonces los sedimentos que llegarán al mar serán también más finos, las playas reducirán su anchura y los sitios de anidación de tortugas por ejemplo irán desapareciendo (Martínez Correa, 2010).

En el caso particular del Sistema Arrecifal Veracruzano se ha perdido aparentemente la presencia de un delta sumergido que aparece en mapas antiguos y en estudios más recientes ese delta ya no se observa (Rosales-Hoz *et al.,* 2007, 2009; Marín-Guzmán, 2009). Dado el represamiento aguas arriba del río Jamapa, los sedimentos que llegan al mar son más finos y el daño potencial que pueden producir en los corales es enorme.

Vertimiento de contaminantes en el mar

La contaminación por metales pesados en los ríos que drenan hacia el mar es un problema muy serio pues el almacenamiento de estos metales no necesariamente se va a manifestar directamente en el río, ya que se encuentran en tránsito. Los ríos al llegar al mar van a ir cargados con sedimentos lodosos y con metales pesados, los cuales no se van a depositar en las aguas someras que de manera continua son removidas por el oleaje y las corrientes litorales. El destino "final" será en aguas profundas donde los sedimentos lodosos (limos y arcillas) se depositarán en aguas más profundas donde el tiempo de residencia se incrementa, de esta manera los metales pesados se irán incorporando paulatinamente en los sedimentos finos del fondo marino.

Un ejemplo que se puede citar es el del río Pánuco, que en realidad nace desde la Ciudad de México donde los colectores de aguas negras llevan sus aguas hacia el río Tula, de ahí pasan al río Moctezuma y finalmente al río Pánuco. En época de tormentas los sedimentos más finos pueden ser removidos y arrojados contra la playa produciendo contaminación de playas limpias.

Las aguas de la desembocadura de este río también se alimentan con aguas potencialmente contaminadas de las lagunas costeras asociadas. En la figura 9 se observan las concentraciones de cobre en la plataforma continental interna y se aprecia que la concentración mayor que 20 ppm de Cu se ubica en profundidades menores que 40 m. ¿Puede haber deterioro ambiental

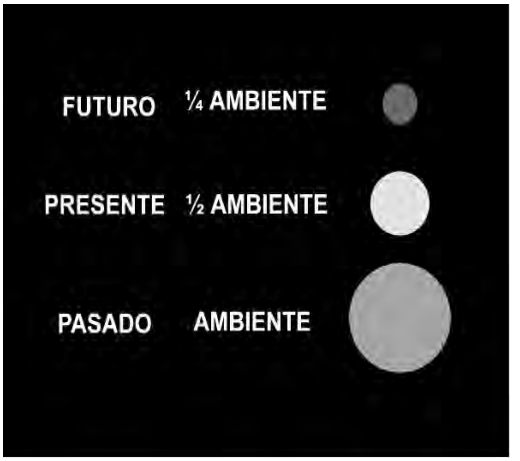


Figura 8. El Semáforo Ambiental. Sí en el presente las actividades antrópicas no son sustentables la calidad ambiental disminuirá irremediablemente en el futuro.

Figura 9. El río Pánuco arroja diversos metales pesados. El Cu se encuentra en concentraciones superiores a 20 ppm en profundidades comprendidas entre 20 m y 40 m. La arcilla aparece sombreada en concentraciones mayores que 20 %. (Batimetría modificada de Rosales *et al.,* 2005).

en las playas en época de tormentas o de tsunamis? Es muy probable que esto suceda ya que en estos casos habrá una mayor longitud de ola que removerá las partículas más finas que se habían depositado en aguas profundas, pues estas entrarán en movimiento y serán llevadas hacia la playa, como sucede con sedimentos de plataforma en época de nortes (fondos arenosos) y de lluvias (fondos lodosos) en la plataforma adyacente al río Papaloapan (Gómez Rocha, 2010). Es entonces cuando el daño producido a la naturaleza es devuelto hacia las poblaciones costeras. Es por ello que la basura y la contaminación no deben esconderse en el mar como si se tratara de una alfombra. Esto obliga a que las aguas fluviales lleguen siempre limpias al mar las 24 horas del día y no solamente durante el día.

Vulnerabilidad de playas incrementada por los efectos del cambio climático global

El calentamiento global que sufre nuestro planeta, principalmente por el exceso de CO_2 en la atmósfera, produce el deshielo de los casquetes polares de manera exponencial. Recordemos que también es exponencial el crecimiento de la población del planeta.

El frente de los glaciales de Alaska (figura 10) retrocede año con año y es una evidencia directa del efecto invernadero.

Este fenómeno tiene una causa antrópica, la cual aunada con los problemas ambientales ya mencionados nos enfrenta a un panorama ambiental aún más adverso, ya que al derretirse los casquetes polares el nivel del mar asciende y entonces la erosión de las zonas costeras de me-

Figura 10. Deshielo de un glacial en fiordos de Alaska. Los efectos antrópicos ya existentes se verán amplificados por el ascenso del nivel del mar. Para escala obsérvese el buque de varias cubiertas que se encuentra en el centro inferior de la fotografía.

nor pendiente será más dramática que la erosión de zonas costeras con un relieve montañoso próximo a la línea de playa. Ahora más que nunca resulta fundamental realizar monitoreos continuos a lo largo de los litorales mexicanos, al menos en las áreas más industrializadas, turísticas y pobladas.

Paralelamente con este monitoreo es muy recomendable que las nuevas obras de infraestructura en regiones costeras realicen pronósticos erosivos a corto, mediano y largo plazo y establecer líneas de retroceso costero en función de esos plazos, como es sugerido por Keller (1996).

Aparentemente el cambio climático es causante de que las trayectorias de huracanes en el Golfo de México con el tiempo vayan siendo más numerosas, de mayor magnitud y más desplazadas hacia el sur del Golfo y Caribe (Carranza-Edwards, *et al*, 2004), que son regiones prioritarias para nuestro país por el desarrollo petrolero, pesquero, turístico y urbano.

Conclusiones

El deterioro ambiental en playas se relaciona directamente con el exceso de la población, que es la causa original de la problemática ambiental a nivel global. Por ello todos los países deben hacer un esfuerzo para planificar el crecimiento de la población de manera racional.

El crecimiento de las ciudades costeras produce una disminución en la recarga de los acuíferos libres y un incremento del escurrimiento sobre la superficie del terreno por el efecto de las construcciones y carpetas asfálticas o de cemento. Es prioritario que el piso urbano se construya en tal forma que se impida la modificación de la infiltración de las aguas pluviales. En pisos

ya construidos se recomienda su reemplazamiento por materiales permeables que permitan el libre flujo de las infiltraciones de agua dulce.

La construcción de infraestructuras en costas que modifiquen el transporte litoral (*e.g.* escolleras, marinas, tuberías sobre el piso marino, etc.) es responsable de la interrupción del transporte litoral de sedimentos produciéndose una disminución en el ancho de las playas.

El represamiento de ríos produce que las playas también se angosten y que los ríos aporten sedimentos más finos que no son constructores de playas. Es fundamental resolver el problema complejo de la retención de sedimentos gruesos en los represamientos, ya que su consecuencia impacta tanto a sitios de anidación de tortugas como a la calidad de las aguas en zonas arrecifales.

El vertimiento de aguas contaminadas hacia el mar no se siente directamente en la playa sino que se favorece hacia partes profundas donde existen condiciones para la depositación de contaminantes asociados con partículas finas para evitar que en épocas de tormentas estos contaminantes vayan hacia la playa, se debe lograr que las aguas vertidas al mar sean libres de metales todo el tiempo.

El cambio climático global al producir deshielos de casquetes polares y glaciares, produce una elevación del nivel del mar que será más notorio en las regiones de muy bajo relieve donde las pendientes son próximas a la horizontal y esto se da tanto en costas del Golfo de México y el Caribe como en la llanura costera de los estados de Sinaloa y Sonora, así como en la llanura costera occidental de la península de la Baja California.

Agradecimientos

Se agradece a las autoridades del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, al Centro EPOMEX de la Universidad Autónoma de Campeche y a la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Gobierno del Estado de Campeche por el apoyo y las facilidades brindadas para la realización de este trabajo. Se agradece al M. en C. Eduardo Morales de la Garza y a la QFB. Susana Santiago Pérez por su apoyo con los análisis de laboratorio. A la tripulación del B/O Justo Sierra por su valiosa colaboración durante los muestreos.

Literatura citada

Carranza-Edwards, A., 2001. Grain size and sorting in modern beach sands. *Journal of Coastal Research,* 17(1):38-52.

Carranza-Edwards, A. y M. Caso Chávez, 1994. Zonificación del perfil de playa. *Geo-UNAM*, 2 (2):26-32.

Carranza Edwards A., L. Rosales Hoz, M. Caso Chávez, E. Morales de la Garza, 2004. La Geología Ambiental de la Zona Litoral. Volumen I: 573-602. En: M. Caso, I. Pisanty y E.Ezcurra (Comp.). Diagnostico Ambiental del Golfo de México. Semarnat-INE, Instituto de Ecología, A.C. y Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies.

Carranza, A. (en prensa). Causas y consecuencias de la erosión de playas. Año Internacional del Planeta Tierra. Publicado en línea en Publica tu Obra.

Komar, P. D., 1976. Beach Processes and Sedimentation. Prentice-Hall, New Jersey, 429 p.

Marín Guzmán, A. P., 2009. Estudio de sedimentos superficiales de la plataforma continental somera, frente al Río Jamapa, Veracruz, México. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Marín A. P. y A. Carranza (en prensa). Inferencia de transporte litoral dominante en el Golfo de México. Año Internacional del Planeta Tierra.

Gómez Rocha G., 2010. Estudio sedimentológico de la plataforma continental somera en el suroeste del Golfo de México, adyacente al río Papaloapan. Maestría en Ciencias del Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.

Keller, E. A., 1996. Environmental Geology. Ed. Prentice-Hall.

McFalls A. Jr., 1991. Population: A lively introduction. *Population Bulletin*, 46(2): 4.

Martínez Correa, J. R., 2010. Importancia de la textura de los sedimentos de playa y su relación con anidaciones de tortugas marinas mexicanas. Tesis de Licenciatura de la Facultad de Ciencias, Carrera de Biólogo.

Rosales Hoz L., A. Carranza Edwards, S. Santiago Pérez, y E. Morales de la Garza, 2005. Spatial trends in the geochemical composition of sediments in the Pánuco River discharge area, Gulf of Mexico. *Environmental Geology,* 48:496-506.

Rosales-Hoz L., Carranza-Edwards A. y O. Celis Hernández, 2007. Environmental implications of heavy metals in surface sediments near Isla de Sacrificios, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol* (2007) 78:353-357.

Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards, L. San Vicente-Añorve, M. A. Alatorre-Mendieta,y F. Rivera-Ramírez, 2009. Distribution of disolved trace metals around a coral reef in southwestern Gulf of Mexico. *Bull. Environ. Cont. Toxicol.,* (2009) 83: 713-719.

Shepard, F. P., 1967. Submarine Geology, Harper and Row, New York.

Ortiz Pérez, M.A., I. Sommer Cervantes, y O. Oropeza Orozco, 2010. Criterios para estimar la vulnerabilidad física de las costas de barrera ante los impactos hidrometeorológicos, p. 101-124. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Criterios para estimar la vulnerabilidad física de las costas de barrera ante los impactos hidrometeorológicos

Mario A. Ortiz Pérez, Irene Sommer Cervantes y Oralia Oropeza Orozco

Resumen

Las barreras litorales son estructuras naturales que se desarrollan enfrentadas a las costas y que les confieren un albergue y protección muy efectivo en contra de los impactos de los agentes meteóricos, tales como vientos y oleajes de marea; específicamente durante los eventos en que se despliega mayor energía, tales como huracanes, tormentas e incluso los cambios inducidos por las elevaciones del nivel del mar. Para evaluar la vulnerabilidad física de las costas se ha recurrido a una serie de variables que luego se conjuntan para conformar índices de vulnerabilidad. La aplicación de esta metodología se ha llevado a cabo de manera indiscriminada, resultando en una sobre-estimación de la vulnerabilidad en el caso de las costas protegidas por barreras. El presente trabajo se aboca a la selección y desarrollo de variables y criterios específicos para evaluar la vulnerabilidad física, considerando la presencia de barreras. Este aporte es especialmente importante cuando se trata de litorales en los que abundan este tipo de estructuras como es el caso del Golfo de México. El cálculo de los índices de vulnerabilidad obtenido considerando estos criterios será mucho más realista que los desarrollados a la fecha.

Introducción

El término de barrera en general, se utiliza para designar a un cuerpo de loma arenosa de trazo elongado, usualmente paralelo a la playa que se eleva por arriba de la marea alta, separado de la margen continental a través de un cuerpo de agua conocida como laguna de barrera; en muchos casos constan de depósitos arenosos con fragmentos de conchas, su formación es favorecida por la dinámica propia de las corrientes costeras, o bien, son de origen biogénico formando una barrera arrecifal; pueden presentarse como unidades independientes enfrentadas a la costa continental o estar unidas a la costa en cortos trechos a manera de penínsulas.

Su función natural entre varias más, es la de absorber la energía del océano amortiguando los efectos de los Nortes, huracanes y otro tipo de tormentas. Por lo que su presencia y sus características morfoespaciales en un litoral marcan una gran diferencia con respecto a una playa descubierta, en cuanto a su resistencia ante los impactos hidrometeorológicos y aquellos que deriven del ascenso del nivel del mar al que nos enfrentamos.

Las barreras litorales arenosas son sensibles a los cambios ambientales y su vulnerabilidad física, está dada por la convergencia de diversos factores físicos y antrópicos. Entre ellos se consideran; la magnitud, la frecuencia y la interacción de procesos marinos e hidrometeorológicos; la configuración geomorfológica, el desarrollo de los suelos y la vegetación y el impacto por la alteración humana.

A la fecha, los estudios llevados a cabo para establecer su vulnerabilidad física, no discriminan entre las costas abiertas y aquellas protegidas por barreras, en ellos se sugiere la medición de una serie de variables que sirven de base para el cálculo de índices de vulnerabilidad, mismos que permiten comparar distintos escenarios costeros y jerarquizarlos. Entre los trabajos más representativos en este sentido pueden citarse los de Thieler y Hammer-Klose (1999), Diez *et al.* (2007), Kokot *et al.* (2004) y la propuesta de Gornitz (1990).

En este trabajo, se proponen una serie de variables para distinguir entre la vulnerabilidad de tramos protegidos por barreras de aquellos que no lo están.

Las variables consideradas surgen a partir de la sistematización de información recabada por Ortiz (1988, 1992), Ortiz *et al.* (*en prensa*) y Hernández *et al.* (2008); y se refieren primordialmente a características geomorfológicas relevantes en los procesos evolutivos de las barreras. Además, se dio énfasis en que los rasgos considerados sean evidentes en imágenes de satélite o fotografías aéreas; que los métodos de evaluación sean sencillos (principalmente conteos, promedios y mediciones de longitudes) y que sean útiles para el cálculo de los índices de vulnerabilidad por los métodos recomendados en la literatura.

Caracterización de los sistemas de barreras

Por su origen y posición transitoria o efímera las barreras litorales se ubican entre las estructuras más dinámicas de la costa porque nunca se consolidan de forma plena, no son perdurables y son siempre inestables en sus ritmos de crecimiento y recesión. Dependen para su existencia de grandes cantidades de arena, surtida de manera casi permanente por las fuentes continentales

a través de deltas, estuarios y escurrimientos superficiales de varios tipos. Por otra parte, los trenes de oleaje marino re-movilizan los sedimentos a través de corrientes playeras conocidas como corrientes de deriva litoral, mismas que redistribuyen los sedimentos a lo largo de la costa. Así, se establece un flujo a manera de verdaderos ríos de arena a lo largo de la zona de rompientes que recorre decenas y aun cientos de kilómetros a lo largo de las playas simulando una cinta sin fin que porta sedimentos. Estas corrientes de deriva litoral pueden cambiar de dirección conforme a diversos factores, de manera que llegan a adoptar flujos de sentido bidireccional.

El oleaje forma parte de los procesos de edificación de la barra al socavar y elevar los gradientes de pendiente de la playa, superficie que al descender la marea pasa a ser modelada por acción de la deflación. La sucesión de eventos meteóricos re-elabora la barrera sin cesar, cuya forma se adapta a la expansión o reducción espacial de los sedimentos, adoptando orientaciones tanto en sentido longitudinal como perpendicular a la costa, en términos de la amplitud o estrechamiento en su anchura y en la morfología de la componente vertical ya sea ganando o perdiendo altura.

El comportamiento de las barreras está sujeto a periodos que varían desde los diarios (24 h) hasta los geológicos (miles de años), lo que les imprime una fuerte dinámica de cambio. El modelado morfodinámico se puede presentar a través de pulsos de variación diaria, mediante la ocurrencia de mareas, de distintos intervalos y dirección de los trenes de oleaje y de ráfagas y brisas de viento, cambios que traen aparejadas variaciones de temperatura, humedad, insolación y luz.

Todos estos procesos en conjunto tienen como consecuencia final, guarecer las márgenes continentales creando una zona de transición de aguas interiores esto es, un medio más abrigado que propicia la instalación de lagunas circundadas de ciénagas, humedales, planicies de inundación, salinas y petenes que son ecosistemas que se caracterizan entre otras cosas, porque en ellos dominan condiciones de baja energía física.

Por su organización de arreglo estratégico, las costas de barrera las catalogamos según su grado de exposición relativa a la influencia directa de la materia y la energía provenientes de mar abierto, de este modo, encontramos que hay una variedad de arreglos de distribución como: barreras de flechas arenosas, islas barrera, barreras ancladas de península y barreras ancladas de bahía entre otras (figura 1).

El patrón más común de emplazamiento es el de la barrera que se separa de tierra firme a través de una laguna (figura 2).

La estructura espacial de franjas paralelas formadas por el cuerpo arenoso, las planicies de inundación, la superficie del cuerpo de aguas protegidas y la franja de la margen continental constituirán la zona buffer o de amortiguamiento esencial.

Otro patrón de distribución de mayor complejidad resulta del arreglo de la disposición de barreras dobles o más, que proporcionarán un abrigo mayor, con la posibilidad de la proliferación de humedales entre barreras. Un ejemplo de barreras múltiples se presenta en la figura 3.

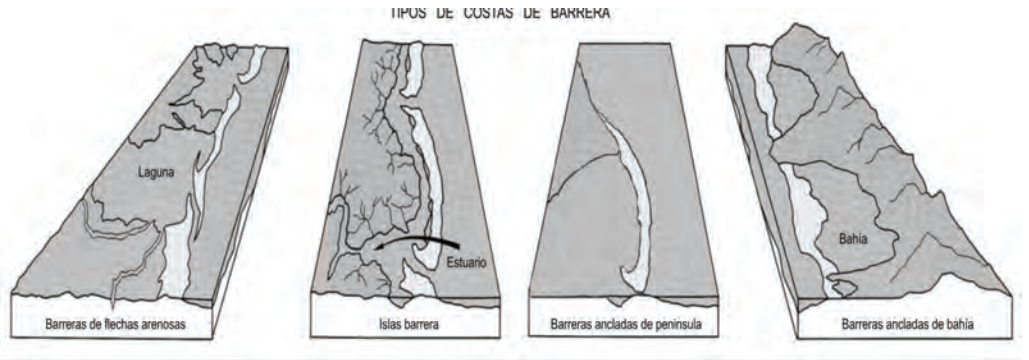


Figura 1. Principales tipos de costas de barreras (Modificada y adaptada a partir de Wells (s/f)).

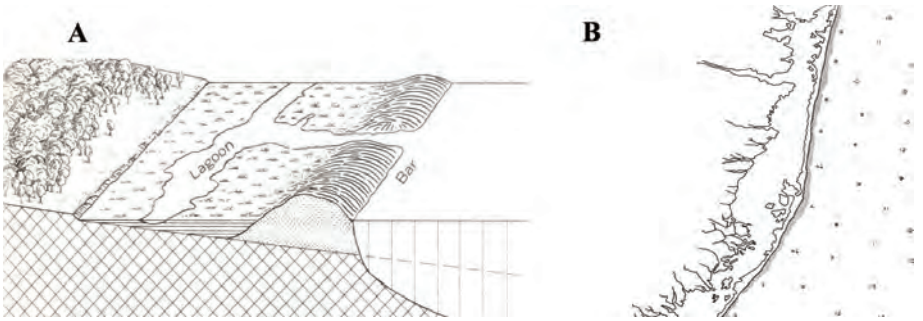


Figura 2. A) Vista de un modelo idealizado de una costa de barrera, B) A una escala más generalizada, una vista en planta de una porción del tipo de costa en cuestión, en la representación de una carta náutica.

Figura 3. Imagen oblicua de una costa de barrera con el frente de la isla barrera en primer plano, en el plano medio una segunda barrera y en la parte superior otra más.

Vulnerabilidad física de las barreras

La vulnerabilidad de un elemento o de un sistema, se define como la dificultad o falta de capacidad del mismo para recuperarse del daño producido por un fenómeno natural o humano peligroso. Muchas veces se utilizan como sinónimos de vulnerabilidad: fragilidad, sensibilidad y/o debilidad. Hay quienes diferencian vulnerabilidad intrínseca, referida a cuando el sistema es frágil por sí mismo y vulnerabilidad extrínseca, que expresa la intensidad de las causas externas que provocan el daño. Su cuantificación es difícil, ya que muchas veces los fenómenos están poco estudiados y las relaciones causa efecto no están definidas o comprobadas.

En el caso de las barreras litorales por ejemplo, muchas de las características que podrían interpretarse como promotoras de la vulnerabilidad, son también expresión del proceso evolutivo o de la dinámica natural e inestable que las caracteriza, por lo que la selección de variables debe ser conducida con mucha cautela.

Entre los trabajos para evaluar la vulnerabilidad de los litorales se pueden referir los de Thieler y Hammer-Klose (1999), Diez *et al*. (2007), Kokot *et al.* (2004) y Gornitz (1990). Una estrategia común en todos ellos es el cálculo de un índice de vulnerabilidad en donde se agrupa y combina una serie de variables para obtener un valor único que permita jerarquizar los tramos de costa de interés, con base en su mayor a menor vulnerabilidad física.

El procedimiento metodológico exige la consideración de los factores propios de los procesos marinos e hidrometerológicos que se califican de mayor a menor por su grado de magnitud y frecuencia; a éstos se integran los factores indirectos como geológicos y geomorfológicos. Las variables consideradas en el índice de vulnerabilidad costera de Thieler y Hammer-Klose (1999) en un esquema muy generalizado son:

Elevación media de la franja costera (v1), resistencia del substrato geológico a la erosión (v2), carácter acumulativo del microrelieve (v3), altura media de las olas (v4), intervalo del régimen de mareas (v5), susceptibilidad a inundaciones fluviales y a penetraciones marinas por huracanes (v6), pendiente media de la playa (v7), estructura geomorfológica de la costa (v8), descomposición de la dirección dominante del viento en ramas de quince grados (v9), número y duración de las tormentas (v10), retroceso de la línea de costa (v11), magnitud de la velocidad de desplazamiento tectónico vertical actual (v12).

Estos parámetros, tanto cuantitativos como cualitativos, deben codificarse en una gradación numérica con valores ordinales de 1 al 5 siempre en función de la influencia que ejerce cada parámetro en la vulnerabilidad física de la costa. Las magnitudes o situaciones más críticas se codifican con los valores más altos, es decir, 4 o 5. Finalmente se aplica la fórmula siguiente

$$\sqrt{\frac{v1 \,.\, v2 \,.\, v3 \,.\, v4 \,.\, v5 \,.\, v6 \,.\, v7 \,.\, v8 \,.\, v9 \,.\, v10 \,.\, v11 \,.\, v12}{12}}$$

Los tramos costeros que presenten los mayores valores del índice de vulnerabilidad física corresponden con las zonas de más alta susceptibilidad y deben estar sujetas a programas de ordenamiento territorial.

Este esquema no es aplicable a las costas con protección de barrera ya que éstas presentan particularidades para absorber la energía física del viento, el oleaje y las precipitaciones intensas; sin embargo se pueden seguir los mismos pasos metodológicos propuestos por estos autores, pero con la inclusión de variables que representen y reflejen la naturaleza de las costas de barrera.

Importancia de las costas de barrera en el Golfo de México

En el inventario regional de las costas del Golfo de México, Ortiz y De La Lanza (2006) establecen que las costas de barrera son las más representativas del litoral, además de presentar una gran diversidad de formas y multitud de disposiciones espaciales, (un ejemplo se presenta en la figura 4.) por lo que su descripción y estudio representa una gran oportunidad para establecer su valor y funcionalidad para la protección de las costas interiores continentales y de si mismas.

Los autores llevan a cabo una evaluación comparativa de las costas protegidas y desprotegidas, para ello diferencian dos tipos

Costas frontales: pueden ser continentales o no, son abiertas y externas, expuestas al embate directo de la energía física del océano, sujetas a una mayor inestabilidad, ya que se modifican continuamente por erosión, abrasión, transporte y acumulación con cambios morfológicos significativos.

Figura 4. Detalle del cordón frontal de duna, parcialmente cubierta de vegetación rastrera. Fotografía de una vista de la barrera de Sian Kan.

Costas internas: Corresponden a las orillas internas o de sotavento de la barrera y a la costa continental protegida por la misma. Las orillas internas de la barrera reciben una transferencia menor de energía al localizarse en una zona albergada, por ello dominan procesos de acumulación de sedimentos que provienen de la deflación de la propia barrera, pues usualmente ésta se halla compuesta de campos de dunas y del cordón frontal arenoso de playa. La formación de abanicos de desplayamiento originados durante las tormentas representa uno de los mecanismos más activos de relleno y expansión de las orillas y de la acreción del fondo de las aguas interiores. En tanto que las costas continentales protegidas, están cimentadas en una estructura geológica de mayor edad y evolución, se presentan siempre emergidas, con contactos más contrastados debido a la topografía de la porción continental. No incluyen las zonas deltáicas, los estuarios y en general los ambientes de transición más recientes que cubren a las estructuras geológicas más antiguas.

Los resultados que se presentadan en la tabla 1 y la figura 5, muestran que del total de longitud (2 768.7 km) de las costas frontales del Golfo de México 93% corresponde a costas de barrera. Que las costas internas incrementan la longitud (4 900 km) de las costas externas en casi 80%. Las márgenes internas de las barreras contribuyen con 37% a la extensión total del litoral protegido, en tanto que las márgenes de litoral continental protegido por las barreras representan 63% de la extensión total de litoral protegido. Estos valores dejan de manifiesto la gran importancia que representan las barreras para la protección de las costas continentales en el Golfo de México; considerando que el ascenso del nivel del mar promedio para la zona se reporta de manera general de 1.08 cm por año para el puerto de Veracruz (Zavala, comentario personal). Resulta evidente la amenaza que se cierne sobre los litorales y la necesidad inaplazable de generar propuestas de conservación y manejo para hacer frente a dichos efectos.

Tabla 1. Caracterización de la costa litoral del Golfo de México considerando la magnitud de las islas de barrera.

			Costa frontal (km)	Costa interna (km)	
Costa frontal con barrera			2 560		
	Costas internas	Margen interna de la barra		1 795	
		Margen interna continental		3 105	
Costa rocosa			146.4		
Bocanas y discontinuidades			62.3		
Totales			2 768.7	4 900	7 668.8

Figura. 5 Distribución de los tramos más importantes con costas de barrera, con trazo obscuro.

Propuesta metodológica

Partiendo del método presentado por Thieler y Hammer-Klose (1999), se formula la presente propuesta ya que las variables para establecer la vulnerabilidad de costas, a la fecha se aplican de forma indiscriminada sin considerar condiciones determinantes como el abrigo que ofrece la geomorfología de las costas de barrera.

La vulnerabilidad y la capacidad de resiliencia de un sistema de costa de barrera, depende del estado de sensibilidad o fragilidad de las propias barreras, toda vez que su integridad de defensa reside en la organización espacial de su estructura geomorfológica. Las variables que describen y caracterizan esta capacidad pueden agruparse en categorías o clases; posteriormente se establecen ligas entre clases mediante una red jerárquica que pondere la importancia de cada clase en función de su contribución a la vulnerabilidad del sistema.

Se proponen las siguientes cinco categorías de variables:

1. Emplazamiento espacial de la barrera
2. Dimensiones morfográficas y morfométricas de la barrera
3. Composición y organización espacial de las unidades naturales de las barreras
4. Llanura costera - planicie de cordones
5. Asimilación antrópica

En primer término, se seleccionó una serie de variables que caracterizan las relaciones con los paisajes circundantes. La estructura espacial es vital por lo que se seleccionan ciertos elementos, puntuales, lineales y de área para su descripción: los morfográficos referidos a las dimensiones geométricas y los morfométricos, de atributo numérico; posteriormente, un conjunto de descriptores ligados a las relaciones y condiciones de conectividad de las barreras con el entorno,

otro conjunto que toma en consideración la parte interna y más protegida de la barrera y el litoral continental, para por último, establecer su estado de alteración por la actividad humana. Estas nuevas variables agrupadas en temáticas se incorporan para mejorar, precisar, jerarquizar y retroalimentar las variables originales de la fórmula de vulnerabilidad.

La sistematización de esta información se llevó a cabo con base en la experiencia adquirida en múltiples trabajos de campo emprendidos desde 1988 a la fecha, en las costas del Golfo de México, particularmente en las costas de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y la península de Yucatán.

Las categorías de análisis, las variables que se incluyen en cada una de ellas, su medición y los intervalos de valores o criterios propuestos se presentan en forma resumida en el anexo 1 y se explican a continuación.

Guía de criterios, procedimientos y medición de variables

Emplazamiento espacial de la barrera

En este apartado se analizan y evalúan la integridad o disgregación de las barreras, su localización relativa con respecto a la margen continental y al océano, la disposición y el grado de exposición de las márgenes interna y externa de la barrera, las relaciones de proximidad a las fuentes de alimentación y la longitud de los abanicos de desplayamiento como indicadores de la intensidad erosiva. Las variables seleccionadas en este apartado permiten establecer los vínculos de reciprocidad e influencia entre ambas márgenes.

Índice de discontinuidad de la barrera

Su objetivo es conocer el grado de perforación o desmembración de la costa de barrera por la presencia de discontinuidades o de bocas que presenta. En la medida que aumenta el número de las bocas, la barrera estará en una disposición de mayor fragilidad. También pudiera pensarse en una serie de barreras alineadas y se mide la anchura de las bocas que las separa.

Es la razón del ancho medio de las bocas entre el ancho medio de la barra. Se toman en cuenta tanto las bocas abiertas por sus extremos, como las bocas cegadas que se ubiquen en el cuerpo de la barrera; incluso aquellas con una inestabilidad temporal en la época de lluvias, en las tormentas, en los Nortes, incluso en la falta de aportes de nuevos sedimentos.

$$ID = pab/paB$$

Donde:
ID= Índice de discontinuidad
pab= promedio del ancho de todas los bocas identificables (en metros)
paB= promedio del ancho de la barra (en metros) (esta variabe aplica tan sólo a la barrera)

Índice de resistencia relativa

Cuando se establece la costa de barrera se crean varias líneas de costa, una frontal que corresponde a la orilla externa de la barrera, posteriormente una segunda orilla, la de sotavento de la barrera que hace contacto con aguas interiores protegidas por la propia barrera y una tercera, la de la margen continental. Patrón que se puede repetir en caso de tratarse de barreras dobles o triples (figura 3). Cada barra, representa una franja topográfica que se opone y genera resistencia, al obstaculizar el paso del viento.

Con esta variable se aborda el número y la diversidad de las márgenes del litoral, de acuerdo con la disposición y composición del arreglo fisiográfico de las barreras, en función de la amplitud de espacio entre la costa frontal y la margen interior en tierra firme. A mayor cantidad de barreras mayor disminución de la velocidad y mayor amortiguamiento del impacto de la energía física de los procesos hidro-meteóricos.

El índice de resistencia relativa se mide:

$$IRR = nm(100)/pdext$$

Donde
IRR= Índice de resistencia relativa
nm= número de márgenes
pdext= promedio de distancias (en m) entre costas extremas (la continental y la que da a mar abierto)

A valores mayores de este índice, mayor resistencia y poder de resilencia del sistema de barreras por lo tanto, menor vulnerabilidad.

Índice de istmicidad

Las barras no tienen una configuración homogénea, presentan sitios exentos de acumulación sedimentaria importante. En donde se forman estrechos, que constituyen corredores de abrasión por viento u oleaje de marea, con una morfología de abras o puertos dispuestos entre los arenales y que conectan el flanco de barlovento al de sotavento; el viento remueve las arenas y las deposita en el cuerpo lagunar reduciendo su profundidad (acreción).

$$Iis = PLE/PAB$$

Donde
Iis= Indice de istmicidad
PLE=promedio de longitud media de estrechos (m)
PAB= promedio de la anchura de la barra (m)

Se asume que a menor valor de este índice, más cortos serán los istmos en función de la anchura de la barra y por tanto mayor vulnerabilidad.

Distancia media a los depocentros

Los depocentros son propiamente las desembocaduras de los ríos y esteros próximos a la barrera, representan las fuentes más cercanas de sedimentos para surtir la materia prima y preservar a las barreras.

$$Dmd=SDd/nd$$

Donde:
Dmd= distancia media a depocentros
SDd= suma de distancias a depocentros. Tomada desde el centro de barra y en línea recta hasta la boca de las desembocaduras, en kilómetros.
nd= número de depocentros

A mayor valor, más lejana estará la fuente de alimentación de sedimentos y por tanto es mayor su vulnerabilidad.

Longitud media de abanicos de desplayamiento

Los abanicos resultan del corte erosivo de una cercenadura que cruza la barrera en dirección de barlovento a sotavento depositando los sedimentos arrancados con el proceso de canaladura en la laguna interior de la barrera. Este proceso ocurre cuando hay una sobre elevación del nivel del mar a causa de la marea de tormenta. La presencia de abanicos indica, por un lado, que el sistema natural de la barrera es frágil ante los eventos de tormenta, en la medida en que se incrementa la magnitud de los abanicos o se crean otros nuevos.

En ocasiones, el proceso se revierte al dominar la acumulación sobre la erosión; en cuyo caso, las orillas internas de la barrera retroalimentarán el impulso primario de destrucción.

$$Lmad= SLad/nad$$

Donde:
Lmad= longitud media de abanicos de desplazamiento (m)
SLad= suma de las longitudes de los planos axiales de cada abanico
nad= número de abanicos de desplazamiento

Índice de sinuosidad de la costa interior de la barrera

En la orilla interna de la barrera, que es la margen de sotavento guarecida del oleaje y viento directo del océano, hay una menor energía física en el ambiente dado que las fuerzas meteóricas ya fueron atenuadas por el filtro de la barrera topográfica y arenosa, y por ende es común que en la orilla referida se formen humedales, que van ganado espacio a la laguna de barrera de aguas interiores; acción que se promueve a partir de nuevos terrenos formados por acreción en los bajos, que a su vez, son producto de la deflación y acumulación de abanicos de desplayamiento.

La disposición de los productos de acumulación no es exclusivamente de carácter mantiforme o tangencial, hay depocentros o centros de acumulación localizada a través de abras o

corredores de viento y abanicos y por ello, la orilla interna de la barrera es sinuosa, tiene una configuración ondulada o de entrantes y salientes sobre los cuales prosperan los brotes de maleza acuática arraigada-emergida (popal-tular) o de manglar.

Se calcula:

$$IS = Llr/LT$$

Donde:
IS= Índice de sinuosidad
Llr=Longitud en línea recta de extremo a extremo de la costa interior de la barra (m)
LT= Longitud total de la costa interior de la barrera (m)

Entre menor sea este índice, mayor será la sinuosidad y menor la vulnerabilidad de la barrera. Los criterios para asignar los grados de vulnerabilidad a cada una de estas variables se presentan en la tabla 1.

Dimensiones morfográficas y morfométricas de la barrera

El objetivo de este apartado es el de establecer el orden de magnitud dimensional y la distribución de la estructura espacial, permitiendo conocer las propiedades de extensión y tamaño de barreras.

En la medida que la barra evoluciona a un estado de mayor madurez, se extiende en espacio y tiempo, por consecuencia, sus dimensiones tienden a incrementarse poniendo en evidencia una mayor acumulación de sedimentos producto de procesos morfogenéticos persistentes y por lo tanto se vuelve menos vulnerable.

Los elementos morfográficos corresponden a las dimensiones geométricas y los morfométricos a los atributos de carácter numérico de las barreras, de manera que se pueden establecer las propiedades de extensión y tamaño de las mismas.

Las propiedades geométricas son importantes a fin de averiguar la configuración de la barrera, como la relación de tamaño y su liga con tramos estrechos y bajos y por tanto, de mayor fragilidad al embate de los eventos meteóricos, esto también se relaciona con la exposición debido a una determinada disposición del terreno, ya sea por su diseño espacial o su morfología.

La medición de las variables morfométricas se lleva a cabo, mediante la aplicación directa del Sistema de Información Geográfica (SIG), recurriendo a los módulos de análisis espacial.

Las variables consideradas en este apartado son:

Anchura media. Indica que a mayor anchura de la barrera será más estable, difícil de perforar o cercenar. Se mide en metros directamente de la imagen o del plano.

Altura media. Corresponde a la diferencia de altitud entre los puntos superiores e inferiores del perfil, medido en metros a partir de la expresión morfológica y utilizando el módulo de Google Earth, que muestra automáticamente las latitudes y las alturas absolutas aproximadas.

Longitud total. Es la longitud de la barra de extremo a extremo. La acumulación de sedimentos se lleva a cabo a lo largo del contorno mayor, lo que va confiriendo a la barra mayores dimensiones, mayor anchura y más altura; por el contrario, en la medida que la longitud es más corta, los sedimentos se acumulan menos. Se mide directamente en metros a partir de la imagen o mapa considerando la longitud del plano axial de la barrrera.

Superficie total. A mayor área existe una mayor concentración de sedimentos; ya que las barras son sitios de acumulación constante debido a la presencia de canales de baja energía del oleaje, que puede aumentar en épocas de tormentas y Nortes. La medición del área es en metros cuadrados a partir de la información espacial del polígono o imagen, utilizando los módulos indicados en el sistema de información geográfica (SIG).

Pendiente media de los flancos. Con el fin de conocer la morfología de la superficie frontal para ligar la magnitud de las formas erosivas y acumulativas del relieve. La pendiente media se mide en el perfil del flanco de barlovento, usando el criterio de pendientes límites, inherentes a la morfología, tal como se presenta en la tabla 1 y sobre imágenes del Google Earth, fotos aéreas, imágenes satelitales y ortofotos.

Los criterios para la asignación del grado de vulnerabilidad correspondiente se presentan en el Anexo 1 (cuadro 1).

Composición y organización espacial de las unidades naturales de la barrera

En este apartado se trata de evaluar la madurez en términos de desarrollo evolutivo indicada por la diversidad de la composición del paisaje que propicia las condiciones que llevan hacia la estabilidad y conservación de la barrera; en tanto que la simplicidad o unicidad del paisaje puede ser indicadora de inmadurez, fragilidad o simplemente que se encuentra en vías de deterioro por remoción o, por el contrario, hacia el acrecentamiento súbito de arena que sepulta la barra.

La diferenciación de la composición se hace seleccionado las franjas por la expresión fisonómica análoga de homogeneidad, relativa con referencia a un paisaje geomorfológico modelado por regularidad de condiciones y procesos semejantes sin diferencias contrastantes.

Las variables ligadas a la vulnerabilidad en términos de la composición y organización espacial de una barrera son:

Tipo de barrera. Se selecciona entre los siguientes tipos reconocidos, de menor a mayor vulnerabilidad: arrecife de coral, arrecife de coquina, cascajo conchífero, anclada a tierra, isla libre, flecha arenosa o espiga (spits). Como guía puede consultarse la figura 1.

Número de unidades naturales. Entre menos unidades diferentes conformen el paisaje de la barrera, más vulnerable será ante las fuerzas físicas que la impacten. De acuerdo a su número de elementos, tenemos las siguientes categorías

1. Playa
2. Playa más cordón frontal de dunas
3. Playa, cordón frontal de dunas, más campo de dunas altas semi-móviles o planicies de cordones
4. Playa, cordón frontal de dunas, campo de dunas semi-móviles o planicies de cordones, más campos de dunas bajas o cordones estabilizados por vegetación
5. Playa, cordón frontal de dunas, campos de dunas semi-móviles o planicies de cordones, campos de dunas bajas o corredores estabilizados de vegetación, más humedales dispuestos en las orillas interiores de la barrera

Número de cercenaduras. Simplemente se cuentan el número de cercenaduras o bocas que presenta cada barra. Entre más cercenaduras, mayor será la vulnerabilidad de la barra.

Índice de longitudes entre la línea de costa externa con respecto a la interna. Se trata de comparar el balance y tendencia del sistema, entre la costa con formas acumulativas de acrecentamiento y su porcentaje con respecto a las erosivas.

$$ILC = LCE/LCI$$

Donde
ILC= índice de longitud de costas
LCE=longitud de la costa exterior (m)
LCI= longitud de la costa interior (m)

Entre más alto el valor de este índice domina la costa exterior y por tanto las formas erosivas y se expresa una mayor vulnerabilidad. Los intervalos de valores o criterios a considerar para asignar una categoría de vulnerabilidad se presentan en el anexo 1 (cuadro 2).

Llanura costera- planicie de cordones

En este apartado se considera el caso especial de las planicies de cordones antiguos de playa, que no forman parte integral de una barrera, pero están conformados por cordones coalescentes adosados a las mismas.

Número de cordones litorales. Cada cordón es una barrera individual, en una planicie se aprecian como una superficie ondulada surcada por grupos o juegos de barreras, por ello su conteo da una idea de la rugosidad que antepone a las fuerzas hidrometeóricas.

Altura media de los cordones. Se expresa como el promedio de altura de cada uno de los cordones que conforman la planicie. Expresan los ciclos con corrientes de deriva de playa que acarrearon una cantidad más abundante de sedimentos, alternados con otros ciclos de menor sedimentación y por ende de altura más baja de los cordones. Los cordones altos resistirán mejor, ya que abaten la fuerza del viento al ras del suelo en mayor medida que los menos altos.

Distancia media entre cordones. Se expresa como el promedio de distancia de separación entre líneas de cordones. En la medida en que los cordones se aproximan unos a otros, habrá hondonadas o caños más estrechos formando un arreglo de lomos o crestas de cordones apretados. En el caso que los caños estén más separados mayor será la distancia entre cordones y por esto presentarán menor resistencia al impacto de las amenazas naturales.

Orientación de los cordones truncados con respecto a la costa actual. Los cordones truncados se toman como huellas que dejan los procesos dominantes a lo largo del tiempo, por lo que su disposición con respecto a la línea de costa actual permite la evaluación de los impactos potenciales. Los cordones paralelos indican menor vulnerabilidad y los perpendiculares el extremo opuesto.

Los fenómenos de erosión y acumulación han coexistido desde hace mucho tiempo, así lo atestiguan los patrones de diseño de cordones, que dan cuenta de la historia de los cambios en los últimos miles de años. Su interpretación constituye una herramienta de análisis geomorfológico. Cuando los patrones de cordones truncados adoptan una disposición, oblicua, subperpendicular o perpendicular, los caños estarán a merced de la entrada del oleaje al carecer de estructuras de protección. En cambio los arreglos paralelos y sub-paralelos disminuyen los valores de retroceso indicando una mejor protección. Se expone el modelo de diversos arreglos de cordones correspondientes al delta del río Grijalva-Usumacinta como referencia visual, para utilizarse como guía (figura 6.)

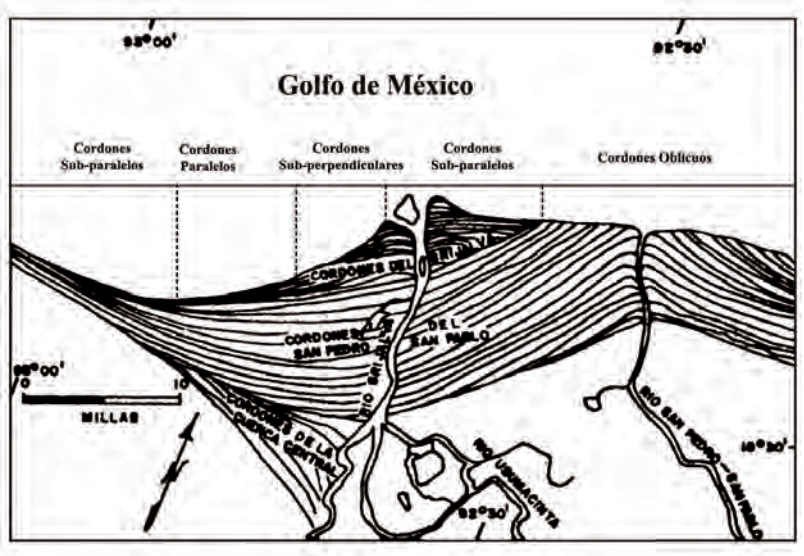


Figura 6. Delta del Grijalva mostrando la configuración asimétrica de los flancos. Se ilustra la disposición de cordones truncados de playa antigua del anterior delta del Usumacinta (Figura tomada de West *et al.,* 1969).

Porcentaje de inundabilidad de los caños en función de la superficie de la planicie de cordones. El ascenso del nivel del mar se traduce en mayores áreas sujetas a inundación. Los cordones acumulativos son producto de la regresión marina, o sea de un avance del la línea de costa sobre el mar; los cordones truncados (por erosión) y las áreas de inundación son producto de la penetración marina o transgresión, o sea un avance de la línea de costa hacia la porción continental tierra adentro. Por lo que a mayor porcentaje de inundación se atribuye mayor vulnerabilidad de la costa. Se expresa como el porcentaje de área inundada con respecto a la superficie total.

Grado de conectividad con los esteros. La inundación tiene lugar a partir de las entradas de agua de mar conectadas a lagunas, a cursos bajos de estuarios y a esteros; que a su vez, se conectan a la red de caños de la planicie de cordones. Estas hidro-conexiones se identifican estableciendo su número y su jerarquía de acuerdo a la capacidad de intercambio de flujos, conforme a los criterios del Anexo 1 (cuadro 4). Entre más conexiones entre las unidades que conforman la costa habrá mayor grado de vulnerabilidad en la misma.

Indice de elongación de la planicie. Indica la configuración de la planicie, qué tan alargada o ancha es, ya que entre más alargada, mayor posibilidad de perforación o ruptura por desmembración. El índice de elongación de una planicie, es comparable con un círculo de área semejante donde el desarrollo de la línea de costa hasta el cordón litoral más interior en la parte más ancha, es tan grande como el diámetro de la longitud de un círculo con valor a 1.

$$D_L = \frac{L}{2\sqrt{\pi A}}$$

Donde
D_L = diámetro de la longitud de un círculo de área igual a la de la planicie,
L = longitud de la línea de costa en metros
A = superficie de la planicie en m^2

Los criterios o intervalos de valores para asignar niveles de vulnerabilidad a estas variables se presentan en el Anexo 1 (cuadro 3) .

Asimilación antrópica

Se incluyen variables que representan el grado de perturbación impuesta por las actividades socio-económicas a través de los remanentes de vegetación natural, los bancos de materiales y de la modificación del terreno debido a la construcción de infraestructura, esto se traduce en cambios en la estructura espacial, la geomorfología y el funcionamiento de las comunidades bióticas, esto es, en el desarrollo natural del sistema de costas de barrera, contribuyendo a su vulnerabilidad.

Las variables consideradas son:

Remanentes de cobertura de vegetación natural (%)

Bancos de material arenoso (%) en función del tamaño de la barrera

Camino de dirección longitudinal. Se describe su posición en la pendiente de la barrera, así como la orientación del flanco en que se ubica. Las categorías se detallan en el Anexo 1 (cuadro 4).

Porcentaje de la longitud del camino con respecto a la longitud total de la barrera

$$PLC = (LC/LTB)100$$

Donde
PLC= porcentaje de longitud del camino (%)
LC= longitud del camino
LTB= longitud total de la barrera

Caminos transversales. Se describe su posición en la pendiente de la barrera, así como la orientación del flanco en que se ubica. Las categorías se detallan en el Anexo 1 (cuadro 4).

Porcentaje de la longitud de caminos con relación a la anchura media de la barrera

$$PAC = (LC/AMB)100$$

Donde
PAC= porcentaje de anchura del camino (%)
LC= longitud del camino
AMB= anchura media de la barrera

Localización de asentamientos humanos. Se describe su posición con respecto a la orientación del flanco en que se ubica. Las categorías se detallan en el Anexo 1 (cuadro 4).

Presencia de infraestructura portuaria. Se elige una categoría conforme al tipo de estructuras presentes, que se detallan en el Anexo 1 (cuadro 4).

Se pueden obtener a partir del procesamiento de imágenes aéreas o mediante un SIG. Los niveles de vulnerabilidad que se asignan a cada una de estas categorías se establecen en el anexo 1 (cuadro 4).

Comentarios finales

La presente propuesta es producto de múltiples observaciones, sin embargo aún se trabaja en los valores de los pesos relativos, ya sea por variable o por cada grupo de variables propuesto, que han de asignarse. Actualmente, se conducen las mediciones en estaciones específicas y se investigan métodos alternativos para llevar a cabo los cálculos de los índices de vulnerabilidad. Por otro lado, también conviene destacar el problema de escala, pues los datos y medidas están pensados en la cobertura cartográfica de la topografía en escala semi-detallada (1:50 000 INEGI) que cubre toda la línea de costa del Golfo de México. Las mediciones realizadas en productos cartográficos por debajo de esta escala serán de mayor resolución, pero sólo están disponibles para ciertos trechos de costa.

Es importante hacer notar que con la inclusión de estas variables, sería recomendable reportar dos niveles de vulnerabilidad, uno referido a las costas interiores protegidas, sean continentales o de la barrera, y otro para las costas abiertas, para las que podría seguirse utilizando el índice convencional.

Agradecimientos

A José Manuel Figueroa Mah-Eng por el apoyo técnico a este trabajo.

Literatura citada

Diez P. G., G M. E. Perillo, y E. S. Piccolo, 2007. Vulnerability to sea- level rise on the coast of the Buenos Aires. *Journal of Coastal Research,* 23 (1): 119-126.

Gornitz V., 1990. Vulnerability of the East Coast, USA. to future sea level rise. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 9:201-237.

Hernández Santana, J. R., M. A. Ortiz Pérez, A. P. Méndez Linares, y L. Gama Campillo, 2008. Reconocimiento morfodinámico de la línea de costa del estado de Tabasco, México: tendencias desde la segunda mitad del siglo XX hasta el presente. *Investigaciones Geográficas*, 65: 7-21.

Kokot, R.R., J.O. Codignotto, y M. Elissondo, 2004. Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia del río Negro. *Rev. Asoc. Geol. Argent.,* 59(3): 477-487.

Ortiz Pérez, M.A., 1988. Evidencias de cambios geomorfológicos del sistema litoral mediante el análisis de imágenes aéreas. p. 43-54. Memorias: Ecología y Conservación del Delta de los Ríos Usumacinta y Grijalva. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. División Regional Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco.

Ortiz-Pérez M. A., 1992. Retroceso reciente de la línea de costa del frente deltaíco del río San Pedro, Campeche-Tabasco. *Investigaciones Geográficas,* 25:7-23.

Ortiz, P. M. A., y G. De la Lanza, 2006. Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 138 p.

Ortiz, P. M. A., J. R. Hernández, y J. M. Figueroa, en prensa. Tasas del avance transgresivo y regresivo en el frente deltaico tabasqueño: en el periodo comprendido de 1995-2008. p. 305-324. En. AV

Botello, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexcianas ante el cambio climático. Semarnat-INE, UNAM-ICMYL. Universidad Autónoma de Campeche. 514 p.

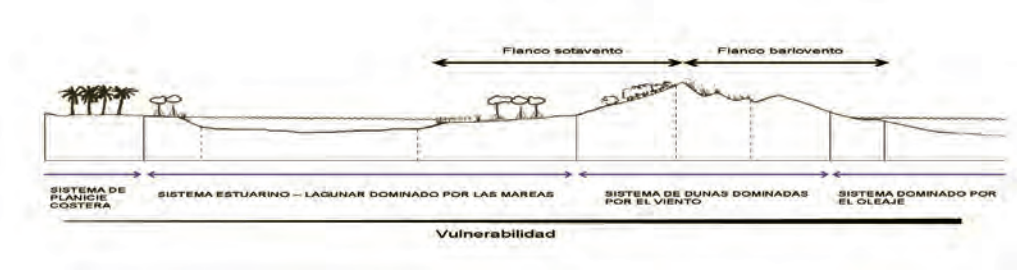
Thieler, E. R., y E.S. Hammer-Klose, 1999. National Assessment of Coastal Variability to Sea Level Rise. Preliminary Results for the US Atlantic Coast. Woods Hole, MA : United States Geological Survey (UGGS) Open File Report 99-593.

Wells, J.T., y C.H. Peterson, sin fecha. Atlantic and Gulf Coastal Barriers. National Fish and Wildlife foundation 20 p. Folleto divulgativo.

West, C.R., P.N. Psuty, y G.B. Thom, 1969. The Tabasco lowlands of southeastern Mexico. Technical Report No. 70. Coastal Studies Institute, Louisiana State University, Baton Rouge. 193 p.

Anexo 1

Perfil de costa de barreras, para ubicar y relacionar con los cuadros de índices de vulnerabilidad física



Cuadro 1. Emplazamiento espacial de la barrera.					
Grado de vulnerabilidad	**Muy baja (1)**	**Baja (2)**	**Moderada (3)**	**Alta (4)**	**Muy alta (5)**
Variables	**Criterios o intervalos de valores**				
Índice de discontinuidad de la barrera	<0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	>0.8
Índice de resistencia relativa (m)	<0.1	0.1-0.3	0.3-0.5	0.5-0.7	>0.7
Índice de istmicidad	>0.8	0.8-0.6	0.6-0.4	0.4-0.2	<0.2
Distancia media a los depocentros (km)	<1	1-5	5-10	10-20	>20
Longitud media de abanicos de desplayamiento (m)	>500	500-200	200- 100	<100	No tiene
Índice de sinuosidad de la costa interior de la barrera	1.0	1.2	1.4	1.5	>1.5

Cuadro 2. Dimensiones morfográficas y morfométricas de la barrera.					
Grado de vulnerabilidad	**Muy baja (1)**	**Baja (2)**	**Moderada (3)**	**Alta (4)**	**Muy alta (5)**
Variables	**Criterios o intervalos de valores**				
Anchura media (m)	>2 000	2 000-1 000	1 000-500	500-100	<100
Altura media (m)	>30	30-10	10-5	5-2	<2
Longitud total(m)	>20 000	20 000-10 000	10 000-5 000	5 000–1 000	<1,000
Superficie (m^2)	>20 000	20 000-15 000	15 000-10 000	10 000-5 000	5 000-2 500
Intervalos de pendiente media	Rampa inclinada 18-12° .	Rampa tendida 12-6°.	Planicie ligeramente inclinada 6-2° .	Planicie subhorizontal 2-0°.	Superficie plana, sin pendiente.

Cuadro 3. Composición y organización espacial de las unidades naturales de las barreras.

Grado de vulnerabilidad	**Muy baja (1)**	**Baja (2)**	**Moderada (3)**	**Alta (4)**	**Muy alta (5)**
Variables	**Criterios o intervalos de valores**				
Tipo de barrera.	Arrecife de coral.	Arrecife de coquina, cascajo conchífero.	Anclada a tierra.	Isla libre.	Flecha arenosa, espiga (spits).
No. de unidades naturales.	Playa, cordón frontal de dunas campos de dunas semi-móviles o planicies de cordones, campos de dunas bajas o corredores stabilizados de vegetación, más humedales dispuestos en las orillas interiores de la barrera (5 elementos).	Playa, cordón frontal de dunas, campos de dunas semi-móviles o planicies de cordones, campos de dunas bajas o corredores estabilizados de vegeación (4 elementos).	PLaya, cordón frontal de dunas, campos de dunas semi-móviles o planicies de cordones (3 elementos).	PLaya, cordón frontal de dunas (2 elementos).	Playa (1 elemento).
No. de cercenaduras.	No tiene	1	2	3	>4
Índice de longitud de costas.	**<0.2**	**0.2 - 0.4**	**0.4 -0.6**	**0.6-0.8**	**> 0.8**

Cuadro 4. Llanuras costeras-planicie de cordones.

Grado de vulnerabilidad	**Muy baja (1)**	**Baja (2)**	**Moderada (3)**	**Alta (4)**	**Muy alta (5)**
Variables	**Criterios o intervalos de valores**				
No. de cordones.	>100	100-75	75-50	50-25	<25
Altura media de cordones.	>2.0	2.0-1.5	1.5-1.0	1.0-0.5	<0.5
Disntancia media cordones (m).	<10	10-25	25-50	50-100	>100
Orientación de los cordones truncados con respecto a la costa actual.	Paralelos.	Sub-paralelos.	Oblicuos o de oreintación diagonal.	Sub-perpendiculares.	Perpendiculares.
Porcentaje de inundabilidad de los caños en función de la superficie de la planicie de cordones (%).	<20	20-40	40-60	60-80	>80
Grado de conectividad con los esteros.	Sin canales visibles.	Un estero comunicado con la laguna.	Un estero comunicado con estuario.	Dos o más esteros comunicados con laguna.	Dos o más esteros comunicados con estuario.
Índice de elongación.	<0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.9	>0.9

Cuadro 5. Asimilación antrópica.

Grado de vulnerabilidad	**Muy baja (1)**	**Baja (2)**	**Moderada (3)**	**Alta (4)**	**Muy alta (5)**
Variables	**Criterios o intervalos de valores**				
Remanentes de cobertura natural (%).	>60	60-40	40-20	20-10	<10
Bancos de material arenoso.	No existe.	<5%	<10%	10-20%	<20%
Camino de dirección longitudinal.	Ausente.	Porción media y alta del flanco de sotavento.	En la porción baja del flanco de sotavento.	Porción media y alta del flanco de barlovento.	En la porción baja del flanco de barlovento.
Procentaje de la longitud del camino con respecto a la longitud total de la barrera (%).	Ausente.	<25	25-50	50-75	>75
Caminos transversales.	Ausente.	Porción media y alta del flanco de sotavento.	En la base del flanco de sotavento.	Porción media y alta del flanco de barlovento.	Perpendicular añ flanco de barlovento.
Porcentaje de longitud de caminos con respecto a la anchura media de la barrera (%).	Ausente.	<25	25-50	50-75	>75
Localización de asentamientos humanos.	Ausente.	Sotavento.	Barlovento puntual.	Flanco de barlovento franja estrecha.	Flanco de barlovento en forma de franja.
Presencia de infraestructura.	Ausente.	Pedraplenes, muelles.	Diques, rompeolas.	Espigones.	Escolleras.

Ruiz G., E. Mendoza, R. Silva, G. Posada e I. Mariño, 2010. La geomorfología como herramienta para el análisis de las formaciones costeras y sus alteraciones de largo plazo. Aplicación a la Península de Yucatán, p. 125-158. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

La geomorfología como herramienta para el análisis de las formaciones costeras y sus alteraciones de largo plazo. Aplicación a la península de Yucatán

Gabriel Ruiz, Edgar Mendoza, Rodolfo Silva, Gregorio Posada e Ismael Mariño

Resumen

Las regiones litorales, constantemente, se ven sometidas a planteamientos de índole económico y social, que obligan a que éstas se consideren como sistemas dinámicos que deben de ser analizados mediante criterios que garanticen un mejor aprovechamiento, desarrollo y explotación sustentable de los diferentes componentes que integran el sistema. El estudio de la zona litoral puede ser abordado bajo tres concepciones de tiempo, ya sea corto, mediano o largo plazo. El análisis de las playas o costas en cada una de las escalas de tiempo debe proporcionar un marco teórico, en el cual se engloben todos los efectos de los procesos costeros y no se consideren las acciones de éstos como eventos aislados que corresponden exclusivamente a un determinado periodo de tiempo. Desde una óptica de largo plazo, el uso de la geomorfología costera permite determinar y comprender el efecto que han tenido los procesos costeros en la costa a través del tiempo, proporcionando con ello, importantes referencias acerca de la evolución de la playa. Por otro lado, la fragilidad de los sistemas y ecosistemas costeros se ha incrementado debido a las alteraciones climatológicas, provocadas por el aumento de la temperatura en el planeta. Como una respuesta a las variaciones del clima se ha observado un incremento en el nivel medio del mar, lo que ha originado que en algunos sectores de la población, cualquier modificación de las costas se relacioné como una consecuencia directa del cambio climático global. Si bien, no es posible negar la posible influencia que el efecto invernadero tiene en las playas, mediante la aplicación de la geomorfología costera y la geología es posible desmitificar, que toda modificación en el comportamiento de la playa sea resul-

tante de la variación climática. A continuación se presenta la aplicación de la geomorfología como una herramienta para estudiar el comportamiento de las configuraciones costeras y sus alteraciones a largo plazo, aplicadas a la península de Yucatán.

Introducción

Es ampliamente conocido que la dinámica de la línea de playa se rige y regula por los procesos y fenómenos derivados de la acción de los agentes físicos, químicos, meteorológicos, biológicos y marinos que actúan en la interfase sólido-líquido, quienes a su vez, son los responsables últimos de la distribución del material que forma las costas. Los principales procesos físicos que se relacionan con el génesis de los sedimentos costeros son: el intemperismo, la meteorización, la abrasión y la cavitación, dichos procesos reflejan la interacción que existe entre los agentes naturales y los materiales que se encuentran en la parte continental del litoral, más específicamente, de los mantos rocosos. Entonces, las características y propiedades físicas de los sedimentos que se encuentran en una playa determinada, dependen de la intensidad y frecuencia de cada uno de los citados procesos, de la litología del material y del modo en que los sedimentos son transportados y depositados sobre las playas. Dada la evidente relación entre la formación, las características y la distribución del sedimento, al analizar el comportamiento y la susceptibilidad que tiene un sistema litoral, es fundamental que se reconozcan sus características geológicas y geomorfológicas, máxime si la caracterización de un sitio dado tiene como propósito la predicción de escenarios.

Este capítulo representa un acercamiento al marco global de la geología y geomorfología, específicamente de la zona costera que abarca desde Punta Sam hasta Tulúm en el estado de Quintana Roo, México. Para tal efecto ha sido dividido en dos secciones, en la primera se presentan algunos conceptos de geomorfología acompañados de ejemplos aplicados a la zona costera de interés. Lo anterior se utiliza como base para una argumentación referente a la posible influencia del cambio climático en la zona. Posteriormente, se presenta la información relacionada a la geología de la península de Yucatán, para servir de preámbulo a la exposición de las características geológicas y morfológicas particulares de los sistemas litorales que presentan protección arrecifal (corredor turístico Tulúm-Cancún), así como de los sistemas que no la poseen (Cancún).

Vale la pena señalar que lejos está, de los objetivos de este capítulo, demostrar si el cambio climático derivado del calentamiento global es una realidad, aunque de hecho lo es. La intención es marcar la incertidumbre que aún persiste respecto de tópicos como la aportación de la actividad humana al calentamiento y principalmente en la existencia de una gran cantidad de características, mayormente regionales, que hacen que las predicciones globales puedan no ser el futuro de las costas mexicanas. La meta última de la discusión que se presenta es guiar al lector a la reflexión de que países como México, tienen necesidades y problemas que demandan atención inmediata, previa al diseño de planes y programas de preparación para las innegables alteraciones de largo plazo.

Definición de la zona de estudio

El estado de Quintana Roo se ubica en la parte oriental de la península de Yucatán entre las coordenadas 17°48' y 21°10' de latitud norte y 86°48' y 89°10' de longitud oeste (con respecto al meridiano de Greenwich). La extensión territorial del estado está limitada por el estado de Yucatán al noroeste, al norte por el Golfo de México, al oeste por el estado de Campeche, al sur por Belice y al este por el Mar Caribe. Las márgenes litorales del estado de Quintana Roo en su totalidad miden 1 176 kilómetros de longitud, las cuales representan 10.57% del total del litoral mexicano (INEGI, 2007).

La extensión longitudinal de la línea de costa de interés (noreste del estado de Quintana Roo) es de aproximadamente 150 kilómetros. Esta franja costera tiene por límite norte Punta Sam (Bahía Mujeres) y Tulúm al sur. Mientras que al este, las aguas del Mar Caribe bordean la zona de estudio (figura 1).

Geomorfología

La geomorfología es la ciencia que tiene por objeto estudiar las distintas formas del relieve terrestre y marino que existen en el planeta. La geomorfología costera, entonces, analiza las for-

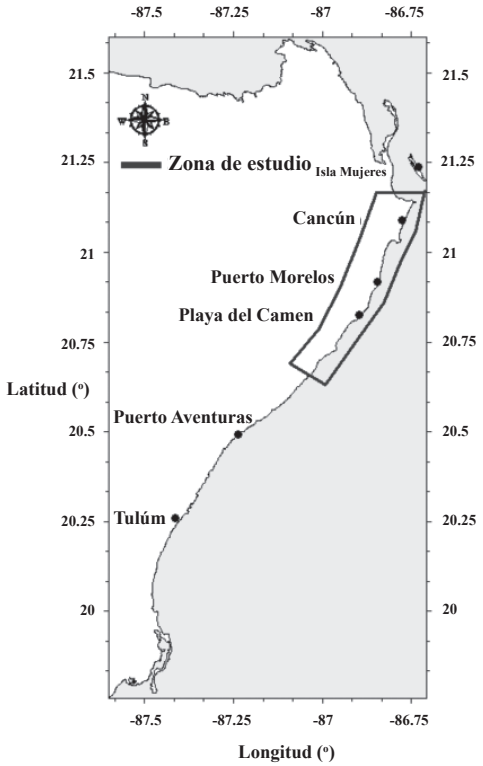


Figura 1. Zona de estudio.

mas de las costas, las variables que influyen en la configuración de la línea de playa (*e.g.* acarreo de sedimentos, clima, nivel del mar, factores antropogénicos, agentes naturales) (figura 2) y los procesos actuantes a los cuales está sometido el medio costero. De acuerdo con la geología, la superficie terrestre se puede dividir, atendiendo sus características estructurales y topográficas, en márgenes continentales y cuencas oceánicas. La zona donde los continentes y los océanos convergen, se conoce como zona precontinental, dicha área a su vez, está conformada por dos fronteras: una interna y otra externa. La plataforma, borde y talud continentales integran la frontera externa de la región precontinental, que se enlaza con los fondos oceánicos, por otro lado, en la frontera interna se localizan todas las costas del mundo y es ahí donde se halla el objeto de estudio de la morfología costera.

Al estudiar una forma o configuración costera desde el punto de vista geomorfológico, debe considerarse que los procesos físicos que se manifiestan actualmente, pueden ser la repetición de lo ocurrido en épocas geológicas previas, aunque no necesariamente con la misma intensidad con la que actúan hoy día. Además, se debe reflexionar que las estructuras geológicas que conforman el litoral, gobiernan la evolución morfológica de la línea de costa y son indicadores de la respuesta histórica de las formaciones terrestres a los agentes físicos. Cada proceso geomorfológico deja impresa una característica distintiva en las formaciones costeras que genera y al mismo tiempo, cada proceso físico desarrolla sus propios mecanismos de alteración, lo cual también se ve reflejado en las formaciones costeras.

Vale la pena puntualizar que línea de costa y costa, son términos utilizados para describir la zona donde coinciden tanto el medio marino, como el terrestre. Dichos términos generalmente se usan en el rango de escalas espaciales y temporales globales. La costa es una franja de tierra

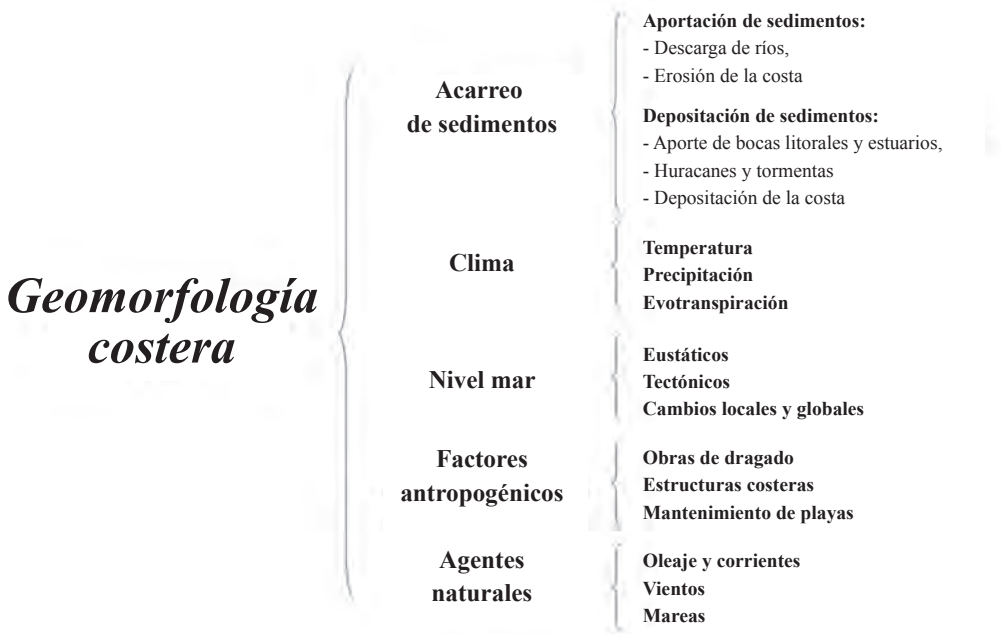


Figura 2. Variables y procesos que estudia la geomorfología costera.

(de ancho variable) que se extiende desde un cuerpo de agua (*e.g.* océano, mar, golfo) hacia tierra adentro y finaliza en el sitio donde se localiza una característica relevante en el relieve terrestre. La cuantificación de la extensión aproximada de las líneas de costa alrededor del mundo, es de 312 000 kilómetros (Britannica Inc., 2005). En este trabajo los términos playa y línea de playa se utilizan para referirse a la misma región pero en escalas de tiempo y espacio locales.

Debido a la dependencia recíproca que tienen los continentes y los océanos, la línea de costa se modifica en función de la evolución derivada de su interacción geológica. Considerando que las configuraciones costeras que se observan actualmente fueron determinadas por el ascenso postglacial del nivel del mar y como resultado de las distintas oscilaciones del nivel del mar en el Pleistoceno, no ha sido posible generar una clasificación general de los diferentes tipos de costas que existen alrededor del mundo. En la actualidad, las clasificaciones de las costas de Johnson (1919), Shepard (1963), Valentin (1952), Brunn (1954), Cotton (1954), Laval (1962), Inman y Nordstrom (1971) y Carranza, Gutiérrez y Rodríguez (1975) (*cfr.* Ruiz, 2004) son las más aceptadas en la geología e ingeniería costera en México. Las clasificaciones anteriores se fundamentan en los principios básicos de los movimientos relativos de la tierra y el mar; cuando los continentes se elevan con respecto al nivel medio del mar, ya sea por la tectónica de placas o la depositación de sedimentos, el ascenso del continente provoca que el nivel del mar descienda descubriendo zonas que ahora son de tierra, estas son las llamadas costas de emersión. De manera opuesta, las costas de sumersión se originan cuando las zonas litorales se desplazan hacia el interior del continente por acción de la erosión o movimientos tectónicos que se manifiestan como un aumento del nivel medio del mar.

A manera de ejemplo, considérense las líneas de costa de Cancún e Isla Mujeres, que se clasifican como costas de isla barrera y con acantilados marinos, respectivamente. Las costas de isla barrera se forman a partir de cordones de médanos (dunas), cuyas dimensiones dependen de la longitud y altura de las olas, de la amplitud de las mareas y de las dimensiones y cantidad del sedimento que se transporta por acción del viento y el oleaje. En la planicie costera que se forma entre los cordones de médanos y el continente, se pueden encontrar lagunas litorales formadas por la mezcla de agua marina y agua de origen continental. Por su parte, la línea de costa de Isla Mujeres que queda expuesta hacia el Mar Caribe es una costa con acantilados, ya que la planicie costera está formada por elevaciones que terminan en cortes rectos. En este tipo de costas la planicie es muy corta, por lo tanto la playa es pequeña o no existe y el corte del cantil puede ser la misma línea de costa o estar muy cerca de ella. En la orilla de la playa se produce el mayor intercambio de energía entre el océano y la isla (Cifuentes *et al.*, 2002). Ambos casos, a pesar de sus diferencias genéticas y morfológicas, son costas de emersión (Durham, 1985).

Los sistemas costeros son conocidos como los más dinámicos en toda la superficie de la Tierra, puesto que es prácticamente imposible que el medio marino y el terrestre mantengan una frontera inalterada y constante. Debe comprenderse, entonces, que en función de las características físicas del material en tierra y de la energía que el mar descargue sobre él, se determina la temporalidad de los cambios en la línea de playa. Así, se consideran como modificaciones de corto plazo los cambios producidos en la extensión de una playa por las mareas, mientras que

las variaciones que sufre una playa en su perfil transversal debidas a los cambios energéticos y direccionales en el oleaje asociados a las estaciones del año, son de mediano plazo. Por su parte, las alteraciones inducidas por los cambios del nivel medio del mar, corresponden a una escala de tiempo mucho mayor. En este sentido, el análisis geomorfológico permite comprender las formaciones costeras y sus perturbaciones actuales como una pequeña parte de ciclos o procesos que tienen lugar en espacios temporales geológicos.

Respecto de los procesos costeros y sus alteraciones, un ejemplo interesante de citar debido a que puede ocurrir en escalas de tiempo muy variadas es la capacidad de autoregeneración de una playa, la cual depende de los mecanismos de retroalimentación impuestos entre un sistema litoral y su entorno. Básicamente la retroalimentación es de tipo positivo o negativo. En el primero la playa tiene la capacidad de mantener bajo control cualquier cambio en el entorno (direccionalidad del oleaje, variaciones energéticas del clima marítimo, aumento o reducción del volumen de sedimento en transporte) hasta que dicho cambio supera un umbral a partir del cual la playa ya no es capaz de autoajustarse y el sistema se desestabiliza. En la retroalimentación negativa la playa tiende a mantener un balance entre los múltiples elementos y respuestas que se presentan en el sistema litoral. Cuando el sistema es capaz de mantener balanceadas la cantidad de material que pierde y recupera, se dice que existe un estado de equilibrio. Una playa se encuentra en equilibrio estático cuando su forma y comportamiento, a lo largo del tiempo, no presentan modificaciones significativas; cuando una playa exhibe una serie de cambios cíclicos, el equilibrio se denomina dinámico. Existe un tercer tipo de equilibrio que sucede cuando el entorno de una playa sufre cambios importantes y el sistema litoral se adapta a ellos, en un tiempo relativamente corto, alcanzando una determinada estabilidad. Eventualmente puede presentarse un evento que altere de nuevo la playa y que ocasionará un nuevo ajuste del entorno que, a su vez, conducirá a un nuevo estado de equilibrio distinto del que se tenía antes del evento extremo. Este tipo de equilibrio se conoce como metaestable o hiperestático (Woodroffe, 2003). Por ejemplo, los estados de equilibrio que una playa logra alcanzar pueden ser observados en la línea de costa del estado de Quintana Roo, en la figura 3 se muestra de manera gráfica el comportamiento de la playa a través del tiempo, así como ejemplos de playas que se considera, se encuentran en el estado equilibrio señalado en la figura 2. En el primer caso (Tres Ríos) es notoria la existencia de fluctuaciones alrededor de un estado estable que también cambia en el tiempo pero de manera muy lenta; el caso Cancún muestra una fuerte dependencia de la estabilidad a la ocurrencia de eventos extremos (huracanes) y un equilibrio casi estático en los periodos inter-ciclónicos. Es de notar que dicho estado de equilibrio lo mantuvo hasta la intervención humana en el sistema. Desde que la infraestructura hotelera despareció la duna costera y rigidizó el sistema, la playa entró en un proceso de erosión crónica que ni siquiera con los esfuerzos de relleno artificial se ha podido detener. Por su parte, el tercer ejemplo de la figura 3, dada la protección natural con que cuenta la playa, se mantiene en un estado prácticamente invariante.

Los fenómenos responsables de las fluctuaciones que definen el estado de equilibrio de un sitio particular son muy variados, sin embargo, sus efectos pueden fácilmente agruparse como

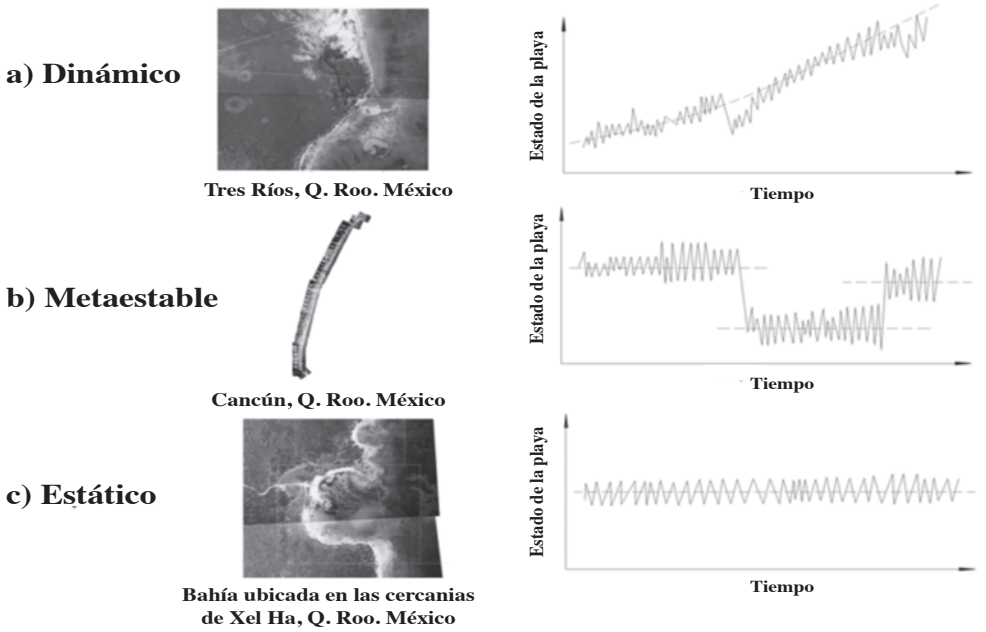


Figura 3. Estados de equilibrio morfológico de varios sistemas litorales.

erosión o acumulación de sedimentos. Dentro de los agentes físicos que erosionan las líneas de costa, el principal es el oleaje, pero existen otros agentes que contribuyen significativamente a la erosión de las costas como son: la corrosión, abrasión y desgaste de los materiales que conforman la costa y la presión de choque que se genera cuando la ola rompe sobre la playa. Dentro de los factores que, si bien, no generan erosión por sí mismos, sí condicionan el grado de erosión, se encuentran el tipo y durabilidad de las rocas, el rango de marea, la profundidad del agua costa afuera, la configuración de la línea de costa y la estabilidad del nivel del mar. Los rasgos morfológicos típicos derivados de erosión en la zona costera son: acantilados, terrazas marinas, arcos marinos, cuevas, pilas o columnas marinas, farallones, bahías o ensenadas, salientes o promontorios (puntas rocosas) y plataformas de abrasión (figura 4) (Thornbury, 1969).

Por otra parte, la depositación de material en las costas es causada principalmente por el oleaje de baja energía que acarrea arena hacia la playa y lo pone a disposición de las corrientes marinas con dirección paralela a la costa que lo redistribuyen. Otras fuentes de depositación son las descargas de los ríos que acarrean sedimento terrígeno. Las formas costeras relacionadas al depósito de sedimentos son, principalmente, deltas, playas, flechas, tómbolos, barras costeras y bancos de material (figura 4).

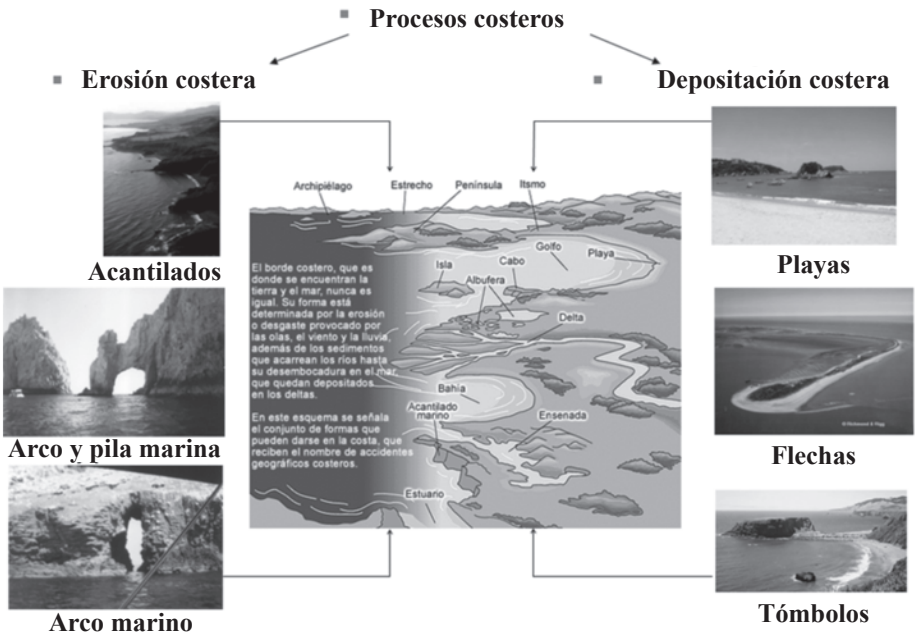


Figura 4. Formas costeras.

El cambio climático en la península de Yucatán desde el punto de vista de la geomorfología costera

La intensidad y distribución de la gran mayoría de los procesos que ocurren en las costas son una combinación del clima y de la variación del nivel del mar. Es un hecho conocido que a lo largo de la evolución de la Tierra, el clima ha fluctuado (figura 5), lo que se ha traducido en una serie de ascensos y descensos del nivel del mar (figura 6). Dichas variaciones son parte de un proceso natural de gran escala temporal. Sin embargo, en el presente siglo se espera que las variaciones climatológicas se presenten de una manera inusualmente rápida, entre otros, debida al incremento de la concentración de los gases conocidos como de invernadero, a saber, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) (gases de invernadero) en la atmósfera. El principal efecto dañino de estos compuestos químicos es que absorben la radiación infrarroja del Sol, produciendo un aumento en la temperatura de la Tierra (*i.e.* efecto invernadero).

Cuando la atmósfera intercepta la radiación solar, la superficie de la Tierra refleja una cantidad de esa radiación hacia el espacio, mientras que el resto queda atrapada entre la capa sólida y gaseosa del planeta; por otro lado, la superficie terrestre es mucho más fría que la atmósfera, lo que provoca que ésta se opaque. En este sentido, un calentamiento global de la superficie terrestre significa que la Tierra retiene una mayor cantidad de radiación solar, por el efecto de opacidad que producen los gases de efecto invernadero. El IPCC (2001) pronosticó que la

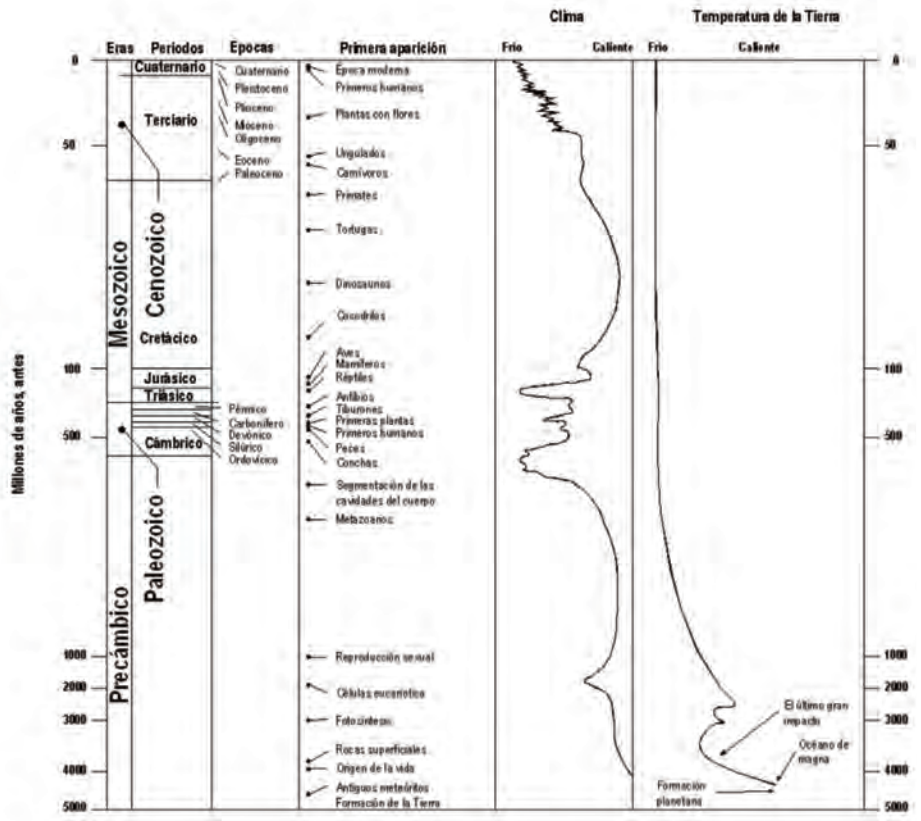


Figura 5. Escala de tiempo geológico y variación del clima (Drake, 2000).

acumulación de los gases de invernadero en el presente siglo será el doble del que se tuvo en el siglo xx, lo que conduciría a cambios climáticos asociados a un incremento de 1.5 a 4.5 °C en la temperatura media de la atmósfera. Entre las múltiples modificaciones climáticas que tal calentamiento podría causar en el planeta, se cuentan: la expansión térmica de los océanos, el derretimiento parcial de los casquetes polares y el retroceso de los glaciares o "hielos eternos", lo cual liberaría grandes volúmenes de agua de baja salinidad al océano y tendría consecuencias en el nivel medio del mar, en el patrón de corrientes a nivel mundial y en el clima de gran parte del globo. Un análisis genérico concluiría que el nivel del mar subirá de manera global inundando una parte importante de lo que hoy conocemos como zonas costeras, que las corrientes marinas en algunas zonas del planeta se detendrían por efecto de la reducción de la salinidad y la temperatura o que, en el mejor de los casos, se verían fuertemente alteradas y que los efectos en el clima podrían incluir una gran reducción en la temperatura de las regiones cercanas a los polos, un importante aumento en las precipitaciones y la ocurrencia de tormentas de mayor intensidad. Sin embargo, dichas conclusiones y predicciones aún parten de altos niveles de incertidumbre tanto en lo que toca a las causas del calentamiento global, como en la inclusión de variables, procesos y factores que bien podrían cambiar modificar las predicciones.

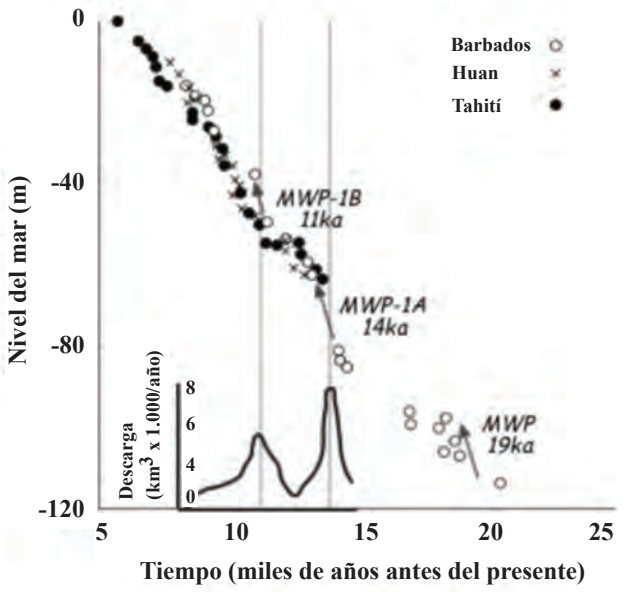


Figura 6. Niveles del mar registrados en los últimos 20 millones de años (Uriarte, 2003).

A este respecto, considérese el incremento de la temperatura del planeta. Varios de los gases de invernadero que se relacionan a actividades industriales y agrícolas han sido generados también por procesos naturales y acumulados en la atmósfera a lo largo de varios siglos. A través de comparaciones entre las concentraciones de dióxido de carbono que se tienen hoy con las que han sido preservadas en las burbujas de las distintas capas de hielo de la Antártica (que datan desde la era pre-industrial), se ha detectado un incremento aproximado del 30% en dicha concentración en los últimos 200 años, lo que, siguiendo la lógica actual debería haber derivado en un aumento considerable y cuantificable en la temperatura de la atmósfera. Algunos climatólogos afirman que han detectado un ascenso de 0.4 °C (Meehl *et al*., 2005) en las temperaturas atmosféricas desde el inicio del siglo pasado, sin embargo, muy distinta es dicha apreciación si se considera la influencia de las llamadas "islas de calor", es decir, el aumento en las temperaturas que se registran en áreas urbanas e industriales, donde se ubican muchas de las estaciones metereológicas (Singer, 2008), de hecho Goodridge (1996), al separar las tendencias en función del número de habitantes del sitio donde se han tomado las mediciones, encuentra que el calentamiento en comunidades con menos de 100 000 personas es prácticamente nulo. En todo caso, un aumento de 0.4 ºC en la temperatura es menor que el pronosticado por los modelos climatológicos que, alimentados con el aumento reportado en la concentración de los gases de invernadero, indicaron una elevación de 1°C a 2°C (Meehl *et al.,* 2005). Es claro que la temperatura del planeta depende, además de fenómenos internos, de factores como las variaciones de la radiación solar, especialmente de los ciclos de las manchas solares (de 8-14 años). Está demostrado que la variación de la radiación solar es un factor determinante en los

cambios climáticos que han ocurrido tanto hace millones de años (Neff *et al.* 2001), como en el siglo xx (Robinson *et al.,* 2007).

Durante el último millón de años la Tierra ha vivido diferentes ciclos glaciares que han hecho oscilar la temperatura de la atmósfera entre periodos fríos (periodo glaciar) y cálidos (periodo interglaciar) (figura 7 tomada de Don y Sheldon, 1968 y *cfr.* Gibbard *et al*., 2007); Ruiz de Elvira (2001) estima que a lo largo de ese millón de años el clima de la Tierra ha cambiado del orden de diez veces. En los periodos glaciares las condiciones promedio que se presentan son de climas gélidos, que provocan sequías o lluvias escasas, crecimiento de los hielos polares y glaciares acompañados de un descenso del nivel del mar. Por su parte, en el periodo interglaciar las condiciones ambientales medias son de precipitación intensa, con gran humedad, calor persistente, ausencia o presencia escasa de hielo polar y glaciar y ascenso del nivel del mar. Desde esta óptica, el actual calentamiento global, que inició hace alrededor de 200 años al terminar la Pequeña Era Glacial (figura 8), bien puede ser parte de un proceso geológico natural que difícilmente se podrá detener, como algún sector sugiere, reduciendo la actividad humana (Singer, 2008; Meehl, *et al.*, 2005). Por otro lado, y a pesar de que muchos climatólogos suponen que el calentamiento global es producto del efecto invernadero, otros han vaticinado que el incremento de la nubosidad impediría un aumento de la temperatura en la superficie terrestre, produciéndose un clima global húmedo y hasta cierto punto la atmósfera sería más opaca, sin un calentamiento significativo (Bird, 1993; Gallegos,2006).

Una discusión similar podría hacerse respecto de la parada repentina en las corrientes oceánicas, puesto que en adición a la salinidad y temperatura, las causas de la circulación incluyen la rotación terrestre y las perturbaciones generadas por la atracción gravitacional ejercida por otros cuerpos celestes (mareas), las cuales no dejarán de operar durante el deshielo. Definitivamente el intercambio de calor se verá modificado, lo que impactará en el clima de las regiones

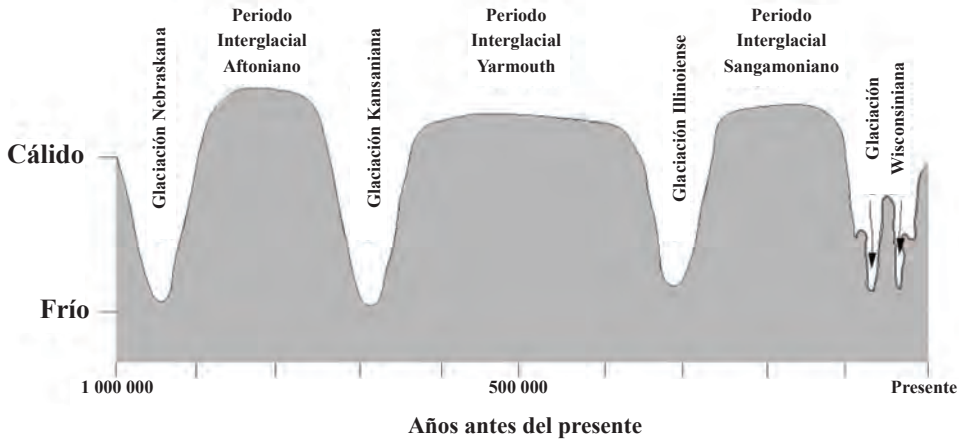


Figura 7. Ciclos glaciales.

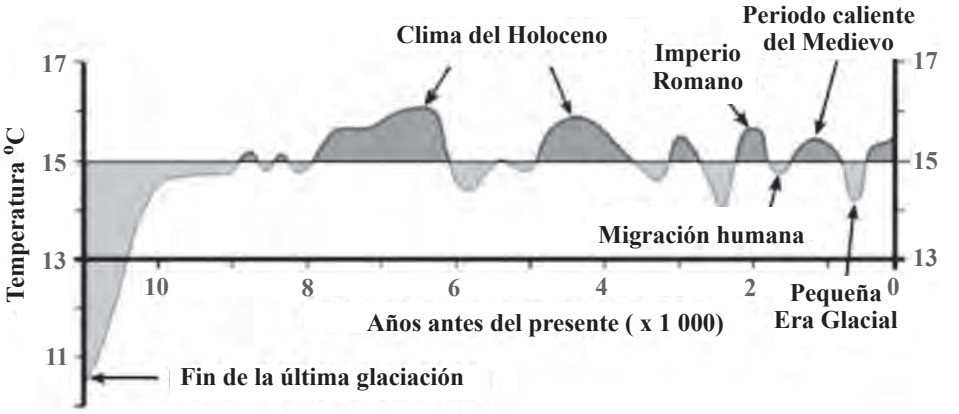


Figura 8. Desarrollo de la temperatura en el Hemisferio Norte desde la etapa glaciar más reciente (Dansgaard *et al.*, 1969 y Scönwiese, 1995).

cercanas a los polos, sin embargo, la circulación y clima en la zona de los trópicos no sufrirá cambios tan drásticos, como ya ha sucedido de acuerdo con Uriarte (2003), quien presenta la figura 9 en la que se puede comparar la circulación entre estadiales fríos y cálidos.

Por otro lado, el nivel actual del mar se alcanzó apenas hace 5 000 años, pero ha tenido un incremento relativamente sostenido, de cerca de 120 m, por los últimos 20 mil años (figura 6), por ello, la afirmación de que el nivel del mar se está incrementando de manera global, únicamente como resultado de la emisión de gases de invernadero, debe ser tratada con mucha cautela, ya que se omiten los efectos de la tectónica de placas y la eustasia[1], así como las variaciones geográficas mostradas por las fluctuaciones del Holoceno (0.64 ma) de los niveles de los océanos. Adicionalmente se deben considerara factores regionales como las variaciones locales en el nivel del mar por efecto de corrientes marinas que periódicamente se intensifican o relajan, ente otros.

En cuanto al posible efecto que tendría un incremento del nivel del mar en la península de Yucatán, no existen predicciones particulares acerca de las consecuencias que se observarían en la costa, en buena medida por que la incertidumbre de las condiciones y respuestas regionales es aún mayor que la global. Baste citar lo siguiente: es un hecho que la península ha sido objeto de diversas fluctuaciones en el nivel del mar y evidencia de ello es la existencia de los cenotes (Lugo-Hubp *et al.,* 1992). Por otro lado, la emersión de la península se presentó en diferentes etapas geológicas siendo la parte norte la última en hacerlo, pues se sabe (Quezada, 2001) que al final del Cretácico, hace 65 millones de años, el agua cubría hasta Uman, al sur de Mérida, con una profundidad cercana a los 0.5 m. A la luz de lo anterior, parecería contradictorio que la península emergiera y a la vez sufriera subidas y bajadas del nivel del mar y del nivel freático, posiblemente la explicación de ello tenga que ver con que la parte norte de la península sigue

[1]Proceso geológico de ascensión o hundimiento de la corteza terrestre.

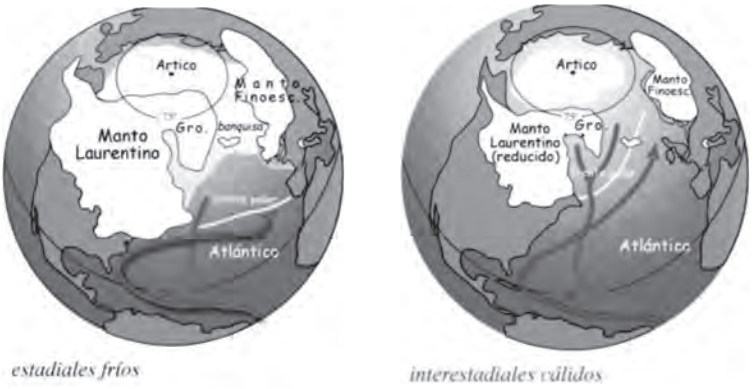


Figura 9. Diferencias de la circulación termohalina en estadiales fríos y cálidos (Uriarte, 2003).

emergiendo (Durham, 1985), al grado que en el último siglo la costa del Golfo y Progreso se han separado cerca de 200 m y a que, de acuerdo con el USGS (2005) y con Sykes *et al.* (1982), la placa del Caribe se sigue desplazando hacia el noreste ensanchando la brecha entre las placas suramericana y norteamericana. La suma de todos estos factores, sumados a los asociados a un incremento del volumen oceánico (*e.g.* erosión de zonas costeras, aumento de área hidráulica) hace muy compleja la predicción de los escenarios regionales ya que el nivel de mar no necesariamente subirá en todos los sitios ni lo hará con la misma magnitud. Adicionalmente, el resultado de una supuesta subida del nivel del mar no forzosamente será negativo de manera generalizada.

En todo caso, aceptando la posibilidad de un incremento del nivel del mar, las secuelas que podrían presentarse en la península de Yucatán, obviamente involucran un avance del mar hacia el continente cuya magnitud dependerá del volumen descargado al océano producto del deshielo y de la expansión térmica de los océanos. De acuerdo exclusivamente con las leyes de la conservación de la materia y de la termodinámica, el deshielo de los polos, al enfriar las aguas superficiales, originaría una reducción en la intensidad de la corriente del Golfo cerca de los polos, lo cual no significa que la circulación oceánica se detendría entre los trópicos. Luego, rasgos geológicos como el Canal de Yucatán y el estrecho de Florida sufrirían un aumento de la sección hidráulica lo que, a su vez, produciría que la península de Yucatán y Florida, así como algunas partes de la costa de Cuba sufrieran erosión e inundaciones diferenciales en las que las partes más recientemente emergidas serían las primeras en desaparecer. Es interesante señalar que derivado del aumento en la sección hidráulica y por fricción, el flujo al interior del Golfo de México podría ser de menor magnitud, por lo que se generarían zonas de depositación de sedimentos, con las consecuencias que ello implica.

Desde el punto de vista biológico, el decremento de la salinidad en el mar por efecto de deshielo de los polos tiene poca probabilidad de afectar la distribución de salinidad en los trópicos (especialmente en las costas), por efectos de dilución, al punto de afectar a los manglares. Por otro lado, en una tierra más caliente donde el balance de calor Polos-Trópico este alterado, la salinidad en las costas podría tender a aumentar. Es conocido que el manglar es el mejor control natural contra las inundaciones, por lo que su pérdida, a largo plazo, aumenta considerablemente la vulnerabilidad de las zonas costeras. Por otro lado, es innegable el impacto negativo que tendría la variación de la temperatura del mar en las estructuras coralinas del arrecife mesoamericano; los corales que se componen de diversos organismos marinos se desarrollan bajo condiciones específicas de temperatura y salinidad que, al modificarse en forma relativamente abrupta, no permitirían la adaptación de los individuos y los organismos inevitablemente morirían, socavando en gran medida la capacidad que exhiben los arrecifes para disipar la energía del oleaje en condiciones normales y eventos extraordinarios. Esta alteración en los sistemas de retroalimentación entre el sistema litoral y el terrestre, no permitiría el restablecimiento del estado natural de las playas, lo que provocaría gradualmente la pérdida de las mismas; dadas estas condiciones la línea de costa avanzaría hacia el continente, eliminando la zona de humedal.

Si bien, la aportación de la actividad humana en el calentamiento global y las consecuencias de éste siguen en tela de juicio, es innegable que las acciones antrópicas en las costas de la península de Yucatán han provocado un estado de daño alarmante por la pequeña escala temporal en que esto ha sucedido. En la costa noreste del estado de Quintana Roo, muchas de las playas han sido modificadas directamente, para albergar actividades turísticas y/o industriales, con la implementación de estructuras marinas o rellenos de arena, así como uso y explotación de esquemas sociales y económicos sobre ellas; e indirectamente a través de los impactos en la hidrología y ecología de los ambientes costeros. La construcción de edificaciones sobre las dunas de las playas y los rompeolas sobre la zona litoral han limitado el comportamiento natural del sedimento en el sistema litoral, muchos de los humedales o zonas de manglar, así como lagunas costeras han sido modificados alterando la relación natural con las costas. Todos estos cambios debilitan la capacidad de respuesta natural de la costa ante los efectos adversos que provocan las tormentas tropicales y huracanes y obviamente las hacen mucho más vulnerables al cambio climático de largo plazo. Las actuaciones que urge llevar a cabo, entonces, deben encaminarse a resolver los problemas de corto y mediano plazo que han sido provocados, en su mayoría, por mala planeación e irresponsabilidad en el desarrollo costero a fin de restaurar los recursos naturales que se han dañado gravemente sin necesidad de cambio climático alguno.

Aspectos geológicos de la costa noreste del estado de Quintana Roo y la península de Yucatán

La península de Yucatán (figura 10); colinda al norte y al oeste con las aguas del Golfo de México, mientras que al este con el Mar Caribe. Políticamente, la extensión territorial de la pe-

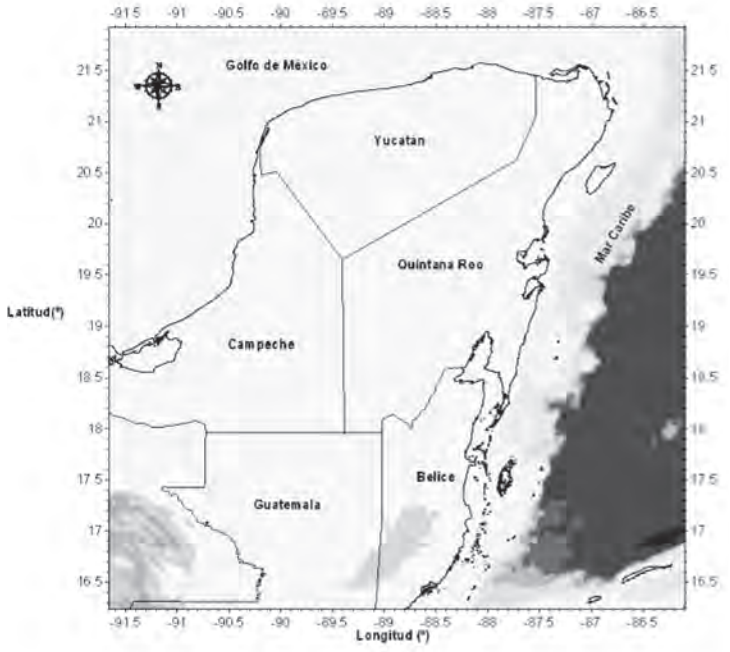


Figura 10. Península de Yucatán.

nínsula se encuentra dividida en tres estados: Yucatán (39 288.55 km^2), Campeche (56 033.96 km^2) y Quintana Roo (43 869.49 km^2) (INEGI, 2007).

Los rasgos morfológicos que exhibe una costa son función de los distintos agentes, fenómenos y procesos que actúan en ella, por otro lado la respuesta que muestran los materiales de la playa ante el embate del oleaje, las corrientes marinas, el viento y el acarreo litoral depende de las características físicas de las arenas de la línea de playa. En la línea de costa del noreste de Quintana Roo es posible identificar que el material de depósito predominante en las playas, proviene de afloramientos de roca sedimentaria consistente en calcita o residuos calcáreos de organismos marinos, por lo que es común encontrar pequeños cantiles y salientes que dividen la línea de costa en múltiples celdas litorales. La identificación de calizas[2] en la plataforma continental de las playas del noreste de la península de Yucatán, provoca que éstas se diferencien del resto de las playas de la península. La forma que esboza la línea de costa del estado de Quintana Roo fue originada por procesos tectónicos, ya que existe una falla geológica con dirección norte-noreste-suroeste. Esta falla hace que algunas playas del sur del estado sean extremadamente confinadas en comparación con otras al norte y noreste de dicho estado. Debido a la ac-

[2]Sedimento consistente de calcita o de residuos calcáreos de organismos. Con frecuencia contiene minerales de dolomita, partículas arcillosas y arenosas. A la caliza se le llama además según el componente o textura de la misma (oolítica, compacta, cristalina, detrítica, etc.)

tividad tectónica que se registró en el pasado en esta región (las costas del estado de Quintana Roo han sido tectónicamente estables desde el último período interglaciar, 4000-5000 años antes), se cree que la isla de Cozumel surgió a partir de un encallamiento tectónico. Siendo precisamente, la isla de Cozumel la que interrumpe la barrera arrecifal Mesoamericana que se localiza de manera intermitente y paralela a la línea de costa de Quintana Roo, a lo largo de 650 kilómetros. A causa de la naturaleza geológica de la costa del noreste de la península, es posible encontrar cientos de cayos o islotes en la parte posterior del arrecife. Una peculiaridad que se observa en el margen este de la península, es la presencia de lagunas someras que se encuentran delimitadas con manglares que crecen sobre terrenos de lodo calcáreo o de los mismos arrecifes de coral (West, 1962).

Para tratar de comprender el comportamiento de los sistemas litorales, es necesario analizar la evolución histórica de éste, pero desde una perspectiva global que permita realizar conjeturas acerca de la respuesta que tendrá el sistema en un futuro; el estudio del marco global debe iniciar desde la composición geológica de la región en la cual se encuentra inmerso el sistema. Los sistemas litorales de la Riviera Maya y de Cancún se localizan en una península cuya composición geológica consiste en carbonatos autigénicos y anhidritas que se originaron desde el Cretácico Medio-Aptiano (124.5 ma) hasta el Mioceno (23.3 ma); siendo ésta la principal característica geológica que comparten la península de Yucatán y la plataforma de Florida. El análisis de sedimentos cretácicos ha demostrado un hundimiento continúo del estrato marino que se presentó desde el Cretácico (145.6 ma) hasta parte del Eoceno (56.5 ma); siendo en el Cretácico donde prevalecieron las condiciones necesarias para la formación de material evaporítico. Debido a la gran cantidad de rocas evaporíticas localizadas en la península y a su amplia extensión geográfica, desde el norte de Guatemala, sureste de Chiapas y norte de la península, se reconocen a todas las "evaporitas de Yucatán" como una combinación de anhidritas, yesos, dolomías y calizas del Cretácico Medio (97 ma). La península de Yucatán se encuentra cubierta casi en su totalidad de sedimentos del Terciario[3] (López, 1973).

La península de Yucatán es una porción de tierra que emergió en el Cretácico; durante la Era Paleozoica (570 ma) la península permaneció bajo el nivel del mar (figura 11a) mientras que el territorio de México se identificaba como un archipiélago de islas de diferentes tamaños. Esta condición prevaleció durante los periodos del Triásico (245 ma) y Jurásico (208 ma) (figuras 11b y 11c). A partir del Cretácico Inferior (145.6 ma) se presentaron las condiciones necesarias para el depósito de grandes masas de evaporitas (figura 11d). Sin embargo, la inexistencia de sal en la tierra que emergió, indica que la sedimentación de las evaporitas (calizas, dolomías y anhidritas) se iniciara a partir del Albaniano-Cenomaniano (112-97 ma).

En el Cretácico Superior (65 ma), un lado de la porción central comenzó a emerger hasta quedar expuesta. En el Terciario y Cuaternario (figuras 11e 11f) se presentaron facies[4]de plataforma somera en ambientes de supramarea[5], que fueron generados por la continua oscilación

[3] *cfr.* figura 8 para referencia de las escalas geológicas.
[4] Conjunto de rocas con determinadas características.
[5] Zona de la costa que se encuentra delimitada por el nivel de pleamar de la marea.

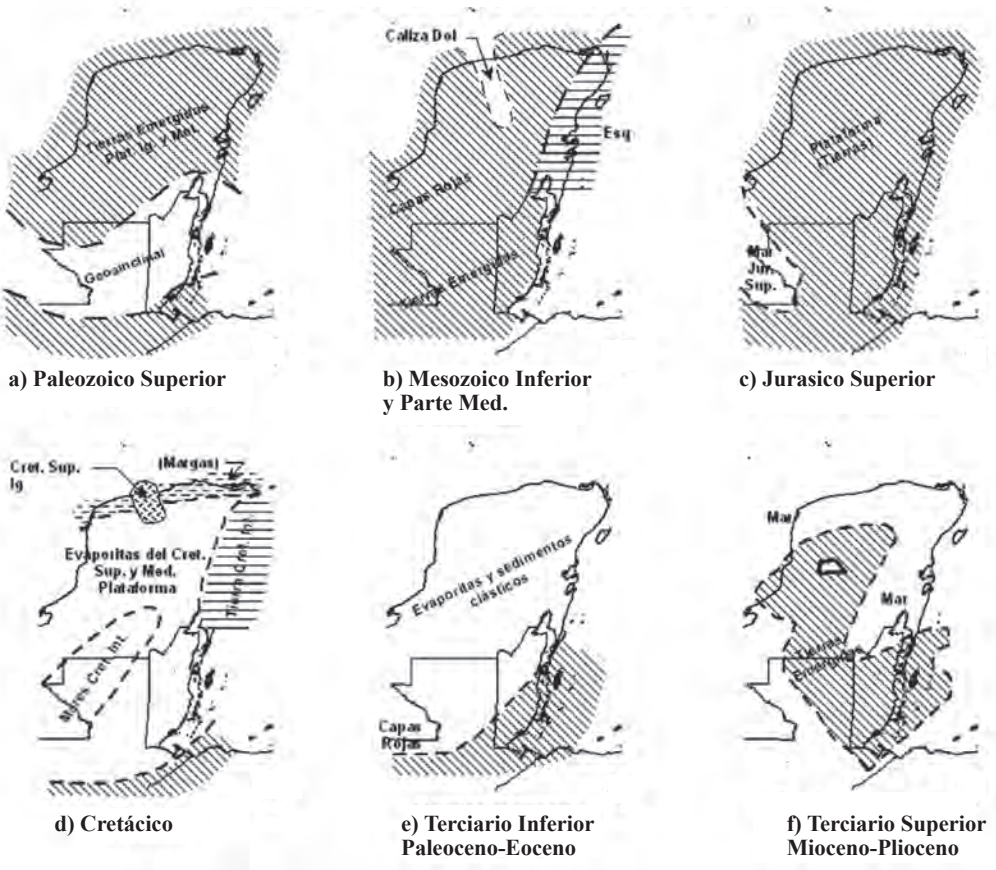


Figura 11. Paleogeología de la península de Yucatán (López, 1973).

del nivel del mar. Al final del Plioceno (2.48 MA) y ya en el Cuaternario (1.64 MMA) la península adquiere la forma actual, observándose alineamientos de arrecifes al norte del banco de Campeche, los cuales se encuentran formados esencialmente de material calcáreo; ya que la carencia de ríos en la masa de tierra peninsular limita de una manera importante la presencia de sedimentos del tipo terrígeno. En la tabla 1 se presenta la columna geológica de la península de Yucatán (Butterlin y Bonet, 1963; López 1973).

Así, desde el punto de vista morfo-tectónico se concluye que la península de Yucatán se originó a partir de la emersión de la plataforma continental; en la mayor parte de ella se identifica una llanura de relieve moderado y suave, mientras que en la parte oriental se profundiza rápidamente por erosión. Esta porción de tierra es una zona tectónicamente estable, en la que se observan rasgos casi planos por la ausencia de relieves positivos de importancia; que facilitan la libre precipitación de carbonatos que más tarde darán lugar a la formación de rocas carbonatadas. Una de las características de la porción central y norte de la península de Yucatán es que

Tabla 1. Columna geológica de la península de Yucatán (CNA, 1991).

Edad	Espesor (m)	Litología
Reciente y Pleistoceno (del presente a 1-5 millones de años).	100	Calizas coquiníferas color crema con abundantes huellas de moluscos.
Plioceno y Mioceno (1.5 a 23 millones de años).	200	Formación Carrillo Puerto, calizas fosilíferas blancas a amarillentas, duras y masivas, con calizas arenosas interestratificadas .
Oligoceno (23 a 36 millones de años).	260	Calizas blancas a cremas, con capas de margas arcillosas blancas y bandas silíceas.
Eoceno Superior (36 a 42 millones de años).	100	Formación Chichen Iztá (miembro Chumbec), calizas blancas, cristalinas y masivas.
Eoceno Medio (43 a 52 millones de años).	185	Formación Chichen Iztá (miembro Pisté), calizas microcristalinas color blanco, de grano fino con horizontes arcillosos, las calizas presentan textura sacaroide.
Paleoceno-Eoceno Inferior (52 a 66 millones de años).	100-350	Formación Chichen Iztá (miembro Abacal). Formación Eoceno Inferior Indiferenciado. Formación Icaiché. Calizas blancas cristalinas y dolomitas silicificadas, con yesos hacia la parte inferior.
Cretácico (66 a 144 millones de años).		Margas, lutitas, calizas, dolomías y evaporitas.

al no existir ríos superficiales a través de cuales fluya el agua de las precipitaciones atmosféricas o de la condensación, el líquido se percola hacia el subsuelo formando mantos freáticos; ésta agua subterránea tiende a disolver las calizas superficiales (fenómeno conocido como karst) originando cenotes. Otra consecuencia de la falta de drenaje superficial es que no existe aporte de sedimentos terrígenos al mar.

En la figura 12, se muestra el mapa geológico de la península de Yucatán (Butterlin, 1958; López, 1973; Nolasco, 1986; CNA, 1991). Los sedimentos carbonatados del Pleistoceno (1.64 MA) y del Holoceno (0.61 MA) fueron ampliamente distribuidos en las márgenes litorales de la plataforma de la península, en una etapa transgresiva, donde el nivel del mar alcanzó de 3 a 6 metros por encima del nivel actual (figura 7). Los sedimentos calcáreos depositados son característicos de ambiente eólico-costero y de playa (Szabo *et al*., 1978).

Características geológicas de Punta Maromas a Cancún

Una vez que ha sido establecido el marco geológico global de los sistemas litorales del noreste de la península de Yucatán a través de los diversos periodos y épocas geológicas, es necesario especificar las características geológicas desde una perspectiva más regional. Para ello, el análisis de los sedimentos que se encuentran en la zona de estudio puede abordarse a partir dos peculiaridades importantes que se observan en la región de Tulúm-Punta Maromas-Puerto Morelos-Cancún.

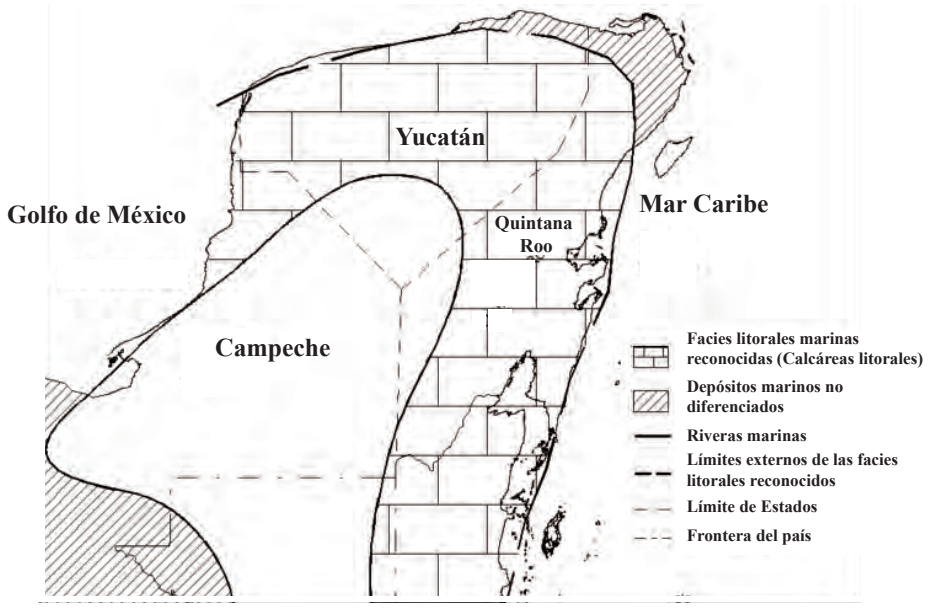


Figura 12. Mapa geológico de la península de Yucatán.
(Modificada de Butterlin y Bonet, 1963).

La zona de estudio presenta dos características relevantes: 1) el sedimento que se deposita en las playas es una acumulación de calcarenitas[6] y 2) las planicies costeras se generaron a partir del incremento del nivel de mar en el Pleistoceno Tardío (0.1 MA). Las rocas carbonatadas que se identifican en las playas, se componen de material oolítico[7] que se genera por la acción de las olas y corrientes paralelas a la costa. La sedimentación en la línea de costa del noreste del estado de Quintana Roo es diferente a la que se plantea en las costas del Mar Caribe, ya que en dicho modelo se centra la depositación de material carbonatado en bancos de material, dominados por mareas.

En la región de la línea de costa que se analiza es posible identificar una planicie de paleodunas, la cual se eleva por encima del nivel del mar de 5 a 50 metros y tiene una longitud de 150 kilómetros, con un espesor que varía de 0.5 a 4 kilómetros; dicha estructura geológica reposa sobre un estrato de material carbonatado. La planicie de paleodunas formada en el Pleistoceno Tardío cubre el noroeste de la península y termina en la frontera sur de Xel Ha. En su parte más ancha, la planicie tiene alrededor de 20 paleodunas que son paralelas a la actual línea de costa. Las crestas de las paleodunas son de 1 a 5 metros sobre el nivel del valle de las mismas y la separación que existe entre paleodunas es de 50 a 200 metros. En el continente y en la zona donde se identifican las paleodunas, se considera un bajo relieve kárstico con una elevación de 8 a 10

[6]Sedimentos calcáreos con diámetros aproximadamente de 1/16 milímetros, en este caso de origen bioclástico.

[7] Esferas calcáreas con diámetros inferiores a 2 milímetros.

m sobre el nivel del mar. Por otra parte, la fisiografía de las paleodunas suele ser la típica que se observa a partir de la depositación de arenas provenientes de ambientes costeros. Al noroeste de Cancún se localizan 2 cinturones diferentes de paleodunas y valles del Pleistoceno (1.64 ma). La superficie costera data del Pleistoceno Tardío (0.126 ma) y se encuentra compuesta por calizas micritícas[8] o calizas provenientes de arrecifes y de las partes frontales de los mismos (Ward y Brady, 1979; Ward, 1985).

Por otro lado, la línea de costa que se ubica entre Cancún y Xel Ha muestra tres estratos de sedimentos:

1. El estrato inferior se compone de facies inferiores, que son una característica de granos bioclásticos[9] finos a granos medios de calcarenitas con pequeñas láminas de calciruditas[10]. Los componentes dominantes de los detritos[11] de arena son: algas verdes de la especie "*Halimeda*", moluscos y granos microcristalinos de material aglomerado; los conglomerados de lentejuelas son compuestos de conchas de moluscos, cabezas de coral y litoclastos[12] de caliche negro y gris.
2. El estrato intermedio se encuentra compuesto de materiales que van de bioclastos y oolitas bien graduadas a calcarenitas gruesas con numerosas capas de conchas y lentejuelas de calciruditas.
3. Para el estrato superior de calcarenitas, las facies más importantes se consideran como: bien clasificadas a clasificadas, de material oolítico con granos finos a gruesos; así como, calcarenitas biogénicas con inclusiones de capas de conchas.

Al norte de Puerto Morelos, la planicie costera del calcarenitas reposa sobre una corteza subáerea (caliche) donde el material que se identifica en la parte superior son calizas de coral sin datar o registro; mientras que al sur, bajo la planicie de paleodunas, las calcarenitas reposan sobre unas micritas no estratificadas y calcarenitas que pasan sobre la misma corteza subáerea. Las calcarenitas que se encuentran debajo de la planicie costera entre Cancún y Puerto Morelos, se depositan sobre una superficie ondulada de caliches de una antigua caliza.

Debido a la evidencia que presenta la configuración del fondo marino en la parte interna de la zona litoral, en muchas de las playas es posible afirmar que las olas y las corrientes longitudinales son los principales agentes que ocasionan la depositación de arena en las costas del noreste de la península de Yucatán; ya que el fondo emigra predominantemente de manera paralela a la costa y hacia la zona oceánica del sistema litoral. Cabe señalar que en la zona no es posible identificar depósitos de canales regidos por la marea.

Por otro lado, la abundancia de interclastos y corales que alcanzan el tamaño de las gravas en la planicie costera, demuestra que éstos fueron depositados por fuertes oleajes y corrientes litorales que generalmente se asocian con las tormentas. Las conchas y cabezas de coral que

[8] Granos de carbonato que se disuelven en el medio.
[9] Sedimentos de origen animal o vegetal.
[10] Sedimentos calcáreos constituidos por pequeños guijarros, intraclastos y bioclástos.
[11] Fragmentos de rocas o minerales procedentes de rocas preexistentes.
[12] Pequeños fragmentos de roca.

se identifican, aparentemente son depositadas a partir de las secciones de los arrecifes; suele ser frecuente encontrar en las facies de los asentamientos transversales mezclas de vestigios de corales y moluscos que fueron modificados por la abrasión así como, conchas, caliche, calcarenitas intraclásticas.

A partir de la comparación con otras costas, tales como las de Florida, Bermudas y Carolina del Norte, el patrón de los eventos eustáticos del nivel del mar durante el Pleistoceno y el Holoceno se pueden resumir de la siguiente forma[13] (Ward y Wilson, 1974):

1. A fines del Pleistoceno, en el Sangamoniano, el nivel del mar subió 5 metros (tomando como referencia el nivel actual) originando un depósito de sedimentos de playa, lo cual se puede evidenciar hacia el sur y hacia el noroeste de Puerto Juárez (hoy en día, zona metropolitana de la ciudad de Cancún).
2. En el Wisconsiano, el nivel del mar bajo 2 ó 3 metros con respecto al nivel actual, por lo que la línea de costa se retiró mar adentro. Al estabilizarse el nivel, se formaron varias terrazas de sedimentos de forma paralela a la línea costera actual. El nivel del mar siguió descendiendo lentamente y dejó como testigos de este hecho, una serie de terrazas escalonadas que fluctúan entre los 10 y los 140 metros por debajo del nivel actual.
3. Durante el período post-glacial, hace 18 000 años, el nivel del mar osciló con franca tendencia transgresiva, formándose varias terrazas que se encuentran entre los 60 y 70 metros ó los 30 y 40 metros bajo el nivel del mar actual.
4. Hace 5 000 ó 6 000 años, el nivel del mar estaba 4 ó 5 metros por debajo del nivel actual, el cual ha ido ascendiendo gradualmente hasta alcanzar la cota actual.

En la línea de costa que se localiza desde Tulúm hasta Punta Sam, se observan principalmente los sedimentos eolianíticos del Pleistoceno, dunas y arenas de playa del Holoceno (figura 13). En la costa de la zona de Tulúm se observan sedimentos de playa del Holoceno y eolianitas del Pleistoceno. En Playa Paraíso, los sedimentos recientes están constituidos por arena fina, moderadamente bien clasificada, formada principalmente por corales y, en menor proporción, por microforaminíferos bentónicos, espículas de alcionarios, etc. Esta arena procede en su mayor parte de la destrucción de la barrera arrecifal, localizada aproximadamente a 0.5 km de la costa. La barrera arrecifal finaliza hacia el norte en Punta Nizuc, extremo sur de Cancún, a unos 100 m de la orilla de la playa. Aparentemente, el arrecife termina en este lugar por dos razones: a) la disminución de la profundidad del agua hacia el norte y b) debido a la competencia que existe entre el desarrollo de arrecifes y los bancos de oolitas, las cuales son más abundantes al norte de Punta Nizuc, haciendo que el fondo se encuentre en constante movimiento. En Tulúm, afloran eolianitas del Pleistoceno formando los acantilados del Mar Caribe y cuya composición litológica varía de un sitio a otro, de acuerdo a las condiciones locales de depósito.

En la zona de playa que corresponde a Puerto Morelos y su periferia, el material sedimentario está constituido por calizas coquinoides formadas en ambiente somero de playa, en la que se observan buenos ejemplos de bioespatita, bioesparrudita y ooespatita. Esta coquina se compo-

[13] *vid*. Figura 5, figura 8 y figura 11.

Figura 13. Configuración de las áreas costeras en el periodo del Pleistoceno. (Google Earth; Ward y Brady, 1979).

ne esencialmente de fragmentos de conchas y moluscos, así como de corales mal clasificados (Formación Carrillo Puerto).

En las playas de Cancún e Isla Mujeres, los agentes que controlan la movilidad del sedimento son: las corrientes litorales, la acción del oleaje, las mareas y el viento; antes de las modificaciones antropogénicas en la zona, dichos agentes distribuían el material calcáreo en cinco ambientes sedimentarios (Ward y Brady, 1979; Aguayo *et al*., 1980):

1. Complejos arrecifales, que se desarrollan desde el extremo sur de Cancún hacia el sur de Tulúm,
2. Playas disipadoras de alta energía en mar abierto, generando gran cantidad de oolitas que son depositadas a lo largo de la isla de Cancún,
3. Megarrizaduras de fondo, entre el continente e Isla Mujeres (Bahía Mujeres),
4. Dunas eolíticas y litorales, las cuales conforman a las dos islas, Cancún y Mujeres, y
5. Lagunas restringidas que se desarrollaron durante el Pleistoceno Tardío y el Holoceno a causa del depósito de tómbolos en los extremos sur y norte Isla Cancún.

Debido a la relevancia que posee Cancún en el sector turístico del país y a los grandes problemas costeros que afronta es necesario detallar de manera particular las características de

esta isla barrera. Cancún mide aproximadamente 13 kilómetros de largo por 0.5 km de ancho. La isla barrera se encuentra unida a la península por medio de unos tómbolos situados en los extremos norte y sur. Las partes principales de Cancún corresponden a remanentes de crestas de dunas pleistocénicas (figura 14a), las cuales se depositaron cerca del borde externo de una terraza situada actualmente a 10 metros de profundidad la cual se formó durante un descenso del nivel del mar, que ocurrió probablemente en la etapa temprana de la regresión Wisconsiana (hace 30 000 años). Posteriormente, durante la transgresión holocénica se formaron tómbolos en ambos extremos de la isla, acumulándose además dunas en el extremo oriental del cinturón eolianítico del Pleistoceno (figura 14b) (Ward, 1974). La plataforma continental es estrecha al sur de la isla y está controlada por una serie de bloques fallados normalmente; los sedimentos se depositan actualmente en un ambiente lagunar, protegidos por una barrera arrecifal. Al norte, los sedimentos se acumulan en dunas y bermas en la zona litoral a lo largo del estrecho.

En la isla barrera de Cancún se detectan 3 tipos de ambientes depositacionales:

1. Ambiente de playa
2. Ambiente de laguna abierta o estrecha
3. Ambiente de laguna restringida y protegida

El ambiente de playa se presenta a todo lo largo de la costa oriental de la isla, donde el impacto del oleaje del Mar Caribe es casi normal a la línea de costa. El material que era posible identificar antes que se establecieran los desarrollos turísticos era arena muy fina y muy bien clasificada, formada casi en su totalidad de oolitas y en menor proporción fragmentos de corales.

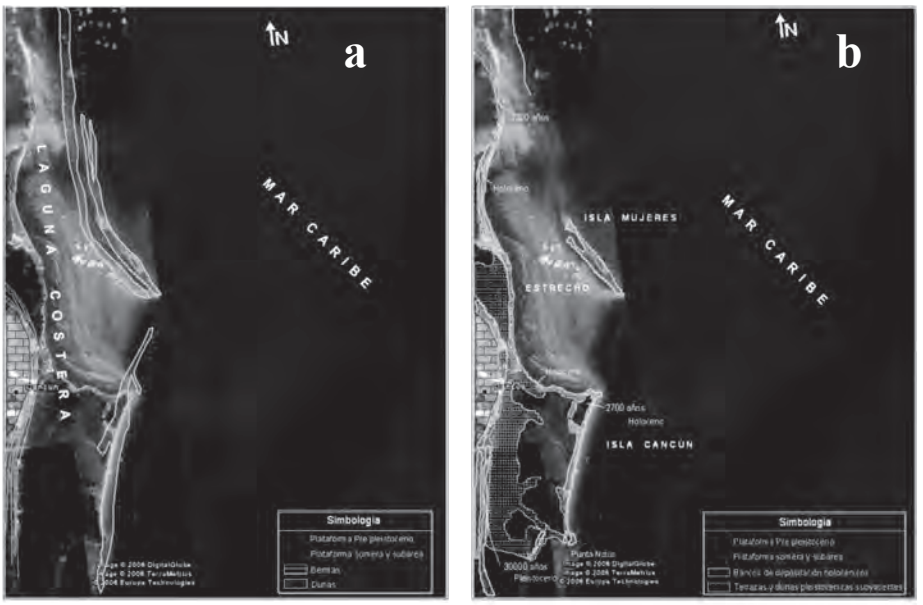


Figura 14. Configuración de las áreas costeras en el periodo del a)Pleistoceno (1.64 MA) y b)Holoceno (0.61 MA) (Google Earth; Ward y Brady, 1979).

La línea de playa forma parte de un cinturón de sedimentos oolíticos que corre paralelamente a la costa del Mar Caribe, desde Cancún hasta Isla Blanca; esta isla se cataloga como una formación morfológica que disipa grandes cantidades de energía del oleaje, dado que el área es influenciada por un oleaje persistente e intenso. Es por ello que en las playas se presenta una buena clasificación del sedimento. En la actualidad se carece de dunas naturales, pero en el pasado las dunas holocénicas estaban formadas de oolitas bien clasificadas. La arena de la zona de rompientes de Punta Cancún está constituida por material arenoso muy grueso y moderadamente bien clasificado conformado en su totalidad por fragmentos biogénicos. Actualmente mucha de esta arena proviene de los rellenos que se han hecho con la finalidad de evitar la erosión de las eolianitas plestoicénicas que forman la punta. Los sedimentos de playa de Punta Nizuc están formados por arena mal clasificada que está constituida por fragmentos de corales y menor cantidad de moluscos, briozoarios, espículas de esponjas, alcionarios y equinodermos, micro foraminíferos bentónicos y escasas oolitas. Este material proviene de la barrera arrecifal que se encuentra al sur-suroeste de Punta Nizuc así como de los corales que se localizan en las cercanías de dicho lugar (Aguayo *et al.,* 1980).

Las rizaduras y megarrizaduras del fondo marino han sido usadas para describir el ambiente de laguna abierta. Se advierte que los depósitos sedimentarios están influenciados por la corriente del Caribe que pasa a través del estrecho que existe entre Isla Mujeres y la península. Las rizaduras del piso marino consisten de arena fina muy bien clasificada formada principalmente por corales y microforaminíferos bentónicos. Gran parte de los sedimentos probablemente provienen de la barrera arrecifal que se encuentra al sur de Cancún y son transportados por la corriente del Caribe y depositados en el estrecho. La megarrizadura en la costa del estrecho adyacente al tómbolo norte, consiste en arena fina, moderadamente bien clasificada y se compone en su totalidad de oolitas, con menores cantidades de fragmentos biógenos. El material proviene principalmente del cinturón oolítico holocénico de la costa oriental de la isla, y de las eolianitas pleistocénicas. El sedimento resultante es transportado hacia el noroeste por la corriente del Caribe.

En el ambiente de laguna protegida y restringida entre Cancún y la península de Yucatán, se encuentran una serie de lagunas, la mayor de ellas la Laguna Nichupté. La laguna se encuentra protegida del Mar Caribe por la isla barrera y su circulación es restringida debido a los dos tómbolos situados en los extremos norte y sur de la barrera. La única comunicación directa que existe entre la laguna y el mar son unos canales de marea angostos que atraviesan los tómbolos. La laguna principal contiene bancos calcáreos de forma alongada, los cuales la dividen en tres lagunas menores interiores, casi aisladas una de la otra. Los bancos se forman a expensas del crecimiento de manglares y su localización está controlada por las terrazas y dunas pleistocénicas subyacentes. Estos bancos aíslan a las pequeñas lagunas del Inglés y Bojórquez de la parte principal de la de Nichupté. La superficie rocosa que se origina de la península tiene una inclinación hacia el oriente, encontrándose ésta en la parte central de la laguna, a una profundidad de 12 metros; esta profundidad se mantiene más o menos constante hacia el oriente, hasta que abruptamente disminuye, aflorando nuevamente en la porción occidental de la Isla Cancún.

Caracterización geomorfológica de la zona de estudio

La caracterización geomorfológica de la zona que abarca el corredor turístico Tulúm-Cancún (Riviera Maya) y Cancún-Isla Mujeres, fue realizada a partir de la construcción de fotomosaicos georeferenciados de imágenes aéreas de escala 1:5000 (figura 15); para la zona de la Riviera Maya, las fotografías con las cuales se trabajó, fueron tomadas en el año 1999. Para la isla barrera de Cancún, la caracterización se desarrolló utilizando diferentes series de imágenes, correspondientes a los años 1985, 1990 y 1999. Debido a la importancia económica que representa Cancún para el sector turístico del país (derrama económica basada en más de 30 000 habitaciones de hotel), se analizaron los compartimientos litorales que se desarrollaron antes y después del huracán Gilberto (1988), así como la configuración costera que existía en este sitio, antes del huracán Wilma (2005).

Para efectuar el reconocimiento de las diversas formas morfológicas que existían en las áreas de estudio, los sistemas litorales fueron conformados por otros subsistemas y microceldas (celdas y compartimientos litorales). El origen de valorar a la costa como un sistema que se encuentra integrado por diferentes subsistemas, permite identificar las interrelaciones que coexisten entre las variables que conforman al sistema original. Es precisamente la complejidad de la interacción entre los distintos elementos del sistema, lo que faculta a que éstos lleguen a ser

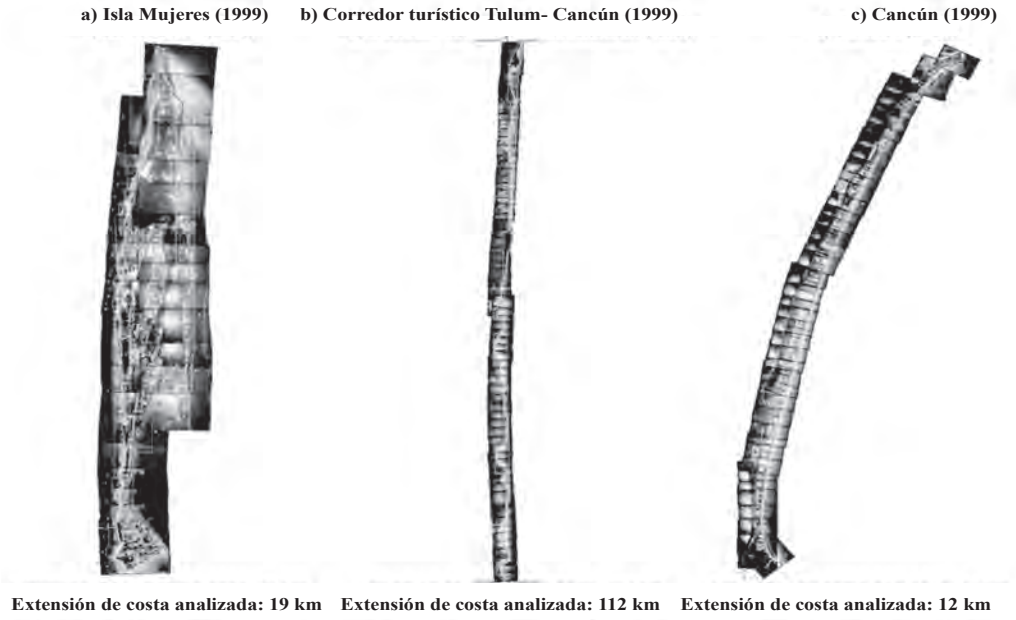


Figura 15. Fotomosaicos elaborados para la caracterización geomorfológica.

comprendidos mediante el uso de niveles de generalización. El detalle en el cual los sistemas litorales se definen puede variar de acuerdo al enfoque de generalización que se elija; existen tres maneras con las cuales es posible identificar la correlación que existe entre los elementos que participan en un sistema litoral: el enfoque de una caja negra es utilizado para identificar solamente las principales partes de un sistema; por el contrario, un enfoque de caja blanca se relaciona al estudio cuantitativo de la relación de todos los agentes, procesos y fenómenos que se reconocen en las celdas litorales y finalmente, en el enfoque de caja gris se identifican los elementos que conforman sistemas y subsistemas pero de manera cualitativa y se establecen las relaciones que existen entre las variables de los sistemas litorales. Para la caracterización que fue desarrollada en este trabajo, en el estudio de las celdas litorales, se hizo uso del análisis de caja gris, con lo que fueron identificados los componentes del sistema, tales como: salientes, bajos, afloramientos de rocas, ríos, barras, bocas litorales, arrecifes, etc.

Para generar una base de datos que almacenara el inventario geomorfológico se obtuvieron: las coordenadas geográficas de las fronteras que delimitaban las celdas litorales fueron obtenidas, las dimensiones físicas de la playa (ancho y longitud de la playa), el material predominante que se observaba sobre la playa (arena, grava, rocas o una combinación de ellas), la forma en planta que presentaba la línea de playa (recta, semirectilínea o la forma de una playa que se encuentra entre dos salientes, ya sean naturales o edificadas por el ser humano). Si la forma de la playa de la celda presentaba una forma de curva (playa encajada), las dimensiones de las líneas de control que se proyectan en este tipo de playas eran medidas de manera aproximada.

Los rasgos morfológicos relevantes que se consideran en la caracterización, en caso de existir, son: tómbolos, bajos, barras, semitómbolos, arrecifes, deltas, fuentes (pequeñas desembocaduras de escurrimientos superficiales), drenes naturales (cañones submarinos), afloramientos de agua y rocas. Solamente se consideraron los rasgos antes mencionados, debido a que éstos influyen más sobre las formas que las playas de arena tienden a desarrollar. Para delimitar las celdas litorales, se utilizaron como fronteras las salientes naturales; adicionalmente, si se observaban estructuras marinas construidas sobre la playa, dichos obstáculos se consideraban de igual manera, como fronteras de las celdas litorales.

Con el objeto de realizar un inventario más detallado de las características de las playas, al analizar las celdas, se identificaron las estructuras marinas, edificadas por el hombre, que se encontraban sobre la orilla de la playa (escolleras, rompeolas emergidos y sumergidos); además se determinó si éstas provocaban o tenían algún tipo de influencia positiva o negativa sobre la forma de las playas aledañas a ellas. Finalmente, tratando de asociar el impacto antropogénico en las playas, se clasificaban las construcciones (de uso turístico o residencial) que existían sobre alguna de las secciones de la playa. Una vez que era obtenida la información referente a la morfología de las celdas litorales, el análisis concluía con un diagnóstico o comentario acerca de los rasgos morfodinámicos o morfológicos que se observaban en cada una de las celdas analizadas.

En lo que respecta a la caracterización que se realizó a la línea de playa de Cancún del año 1985 (figura 16a), solamente se encontró una celda litoral, la cual tenía como fronteras físicas

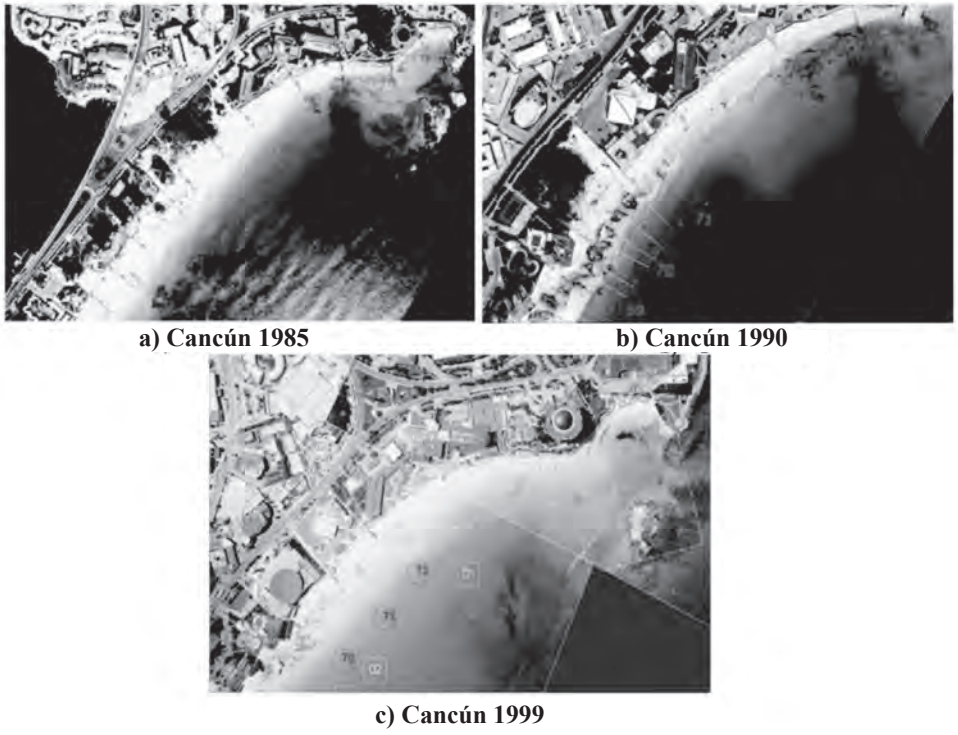


Figura 16 Celdas litorales de Cancún.

Punta Nizuc y Punta Cancún. En toda la línea de playa no se apreciaron características morfológicas que influyeran de una manera drástica en la forma que tenía la playa; de igual manera no se identificaron obstáculos naturales que llegaran a alterar la configuración de la playa, así como el acarreo litoral. El rasgo más relevante desde el punto de vista geomorfológico fue el relacionado a la formación de barras paralelas a la línea de playa; en algunas zonas, las barras podían considerarse como del tipo ondulatorio. Otro aspecto interesante en la caracterización de la línea de playa de Cancún fue observar el ancho de la playa, puesto que se registró un promedio de 20 a 23 metros. Es importante resaltar que el fotomosaico se integraba con fotografías de 1985, tres años antes del paso del huracán Gilberto por la península de Yucatán y al cual se le atribuyó la mayor erosión de playas hasta entonces en la zona y resultó ser el elemento desestabilizador del equilibrio del sistema litoral de Cancún. En 1985, a través de las imágenes, ya era posible percibir que las playas de Cancún sufrían de problemas graves de erosión, con la reducción del ancho de playa de 40 metros a 20 metros.

Para la caracterización de la línea de playa de Cancún del año 1990 (figura 16b), dos años después del huracán Gilberto, se identificaron siete celdas litorales; los aspectos que resaltaron del análisis de este fotomosaico fueron los relacionados a la aparición de elementos rocosos en las playas. A partir de los afloramientos rocosos, algunas celdas se dividieron en microsistemas.

En ciertas celdas se reconoció la formación de barras perpendiculares a la playa; la erosión que presentaban algunas celdas con respecto a otras era evidente, por ejemplo, la celda que tenía como una de sus fronteras a Punta Nizuc, era inobjetable el grado de erosión que sufrían las playas, ya que en algunos de los sectores de la línea de la playa se encontraban completamente erosionados, conservando tan sólo una franja de 3 metros. La aparición de los estratos rocosos demostró la inestabilidad del equilibrio que tenía la playa. Para el año 1999 (figura 16c), se observó que la línea de playa de Cancún, se encontraba compuesta de 10 celdas litorales. A partir de la delimitación de la playa, se registró que antes del huracán Gilberto (1988), el estado morfológico de la playa, no podía considerarse como estable; posteriormente al huracán, el sistema litoral trata de restaurar su estado anterior al huracán Gilberto, pero al ser alterados los mecanismos de retroalimentación a lo largo de veinte años, el sistema no posee la capacidad de autoregenerarse y continuamente se erosiona (Delgado, 2007), por lo que tienden a desarrollar continuamente un estado de equilibrio metaestable, lo cual ocurriría si el sistema no hubiera sido rigidizado. Se sabe que, una vez alterado, el sistema de playa en Cancún se encuentra en un estado de erosión crónico. El equilibrio de una playa es un concepto que depende del tiempo y éste puede inferirse a partir de la morfología que se identifica en una escala de tiempo particular; el prescribir el equilibrio de una sistema costero debe considerarse como una componente de gran trascendencia en la morfodinámica costera, ya que las distintas formas costeras tratan de ajustarse u oscilar hacia cierto estado de equilibrio, particularmente por la retroalimentación negativa entre las variables que se ven implicadas en los sistemas costeros. El concepto de equilibrio morfológico es una generalización que es muy útil, puesto que éste nos proporciona una visión de los posibles cambios que sufrirá la playa o la costa.

Para la Riviera Maya se reconocieron 67 celdas litorales, lo que mostró de una manera clara, los distintos tipos de playas que pueden formarse a partir del acarreo litoral y la influencia que ejercen el oleaje, las corrientes litorales y las tormentas en la erosión de las playas; a través de la morfología se estudió la gran dependencia que existe entre los arrecifes litorales y la zona de manglar con el sistema litoral. Al distinguir las formas de la línea de playa de Tulúm a Playa del Carmen, se reconoció que éstas conformaban una línea de costa "dentada", es decir, una costa compuesta con playas de formas rectas, encajadas o semiencajadas.

En la costa que se encuentra localizada entre Tulúm y Xel-Ha, se encontraron estructuras de rocas, que en la mayoría de los casos delimitaban playas con formas encajadas o semiencajadas; en algunas de estas playas se logró identificar cómo la arena que se depositaba sobre la playa, había sido removida, dejando al descubierto estratos de roca. En una longitud aproximada de 40 kilómetros se registraron veinticinco playas encajadas, en otros segmentos de las celdas litorales, se identificaron semitómbolos que según su configuración permitían suponer la dirección predominante del acarreo longitudinal de los sedimentos. En esta zona también fue posible observar que ciertas dársenas descargaban sedimentos y que de igual manera que los semitómbolos, a partir de la pluma de sedimentos era posible corroborar la dirección del acarreo litoral dominante. En catorce de las veinticinco playas expuestas, fue posible encontrar segmentos del arrecife coralino Mesoamericano; en dichas playas, se podía verificar que no se

presentaban problemas de erosión severa, inclusive fue evidente relacionar al arrecife con la forma de las playas; a partir del reconocimiento de los patrones de dirección de los frentes de ola, era posible ver el efecto de la estructura arrecifal sobre el oleaje, ya que dichas estructuras actuaban como rompeolas sumergidos, que provocan la disipación de energía del oleaje. Por otro lado, en la mayoría de las playas encajadas se identificaron vestigios de posibles cordones litorales, que provocaban que la energía del oleaje que pasaba a través del arrecife, al encontrar en su paso hacia la playa a este cordón, la energía se disipará de nuevo, ocasionando con ello, que el oleaje que llegaba a la costa fuera considerablemente menor al oleaje que rompía en el arrecife. Debido a las características de las playas, muchas de ellas se consideraron como disipativas.

Para la línea de playa que existe entre Playa del Carmen y Punta Nizuc se detectaron cuatro playas semiencajadas, exceptuando dichas playas, se encontró que la forma que proyectaban las playas era de líneas semirectas. Precisamente en esta zona fue posible constatar la influencia que tienen el arrecife coralino y la zona de manglar en las costas, por ejemplo en la periferia de Punta Maromas, es posible reconocer una punta de arena, en la cual su comportamiento se rige por el arrecife de coral que se encuentra en la zona exterior de la playa y las corrientes litorales. En la celda correspondiente a esta punta, se observó que las playas presentan problemas de erosión principalmente, por el desplante de estructuras marinas que interrumpen el acarreo litoral que existe sobre la costa. Por medio de las fotografías, fue posible identificar cómo el sedimento se movía a través de la laguna arrecifal, donde una cantidad del volumen de sedimentos oscila entre las playas de la celda y otra cantidad de arena sale del sistema por la ruptura del cordón arrecifal. En la celda correspondiente a Punta Bete, se encontraron evidencias de canales entre el mangle y la playa, que posiblemente tienen la función de desalojar tanto el agua como el sedimento que son depositados por algún evento metereológico extremo en la zona del humedal. En este sitio se podía observar perfectamente, la interacción que debe de existir entre los elementos de retroalimentación de la playa.

En Isla Mujeres se identificaron 52 celdas litorales, del número total de celdas determinadas en 44 de ellas, se identificó algún elemento rocoso (acantilados, plataformas, salientes, etc.) en la playa. Las playas donde la arena era el material predominante se ubican en la parte noroccidental de la isla; mientras que en la parte suroriental y toda línea de costa de Isla Mujeres que se delimita con el Mar Caribe, se consideraron como playas de acantilados.

Existen múltiples parámetros que se ven implicados en la determinación de la forma de la playa, sin embargo al acarreo litoral se le reconoce como la principal variable que configura un sistema costero; a partir de la caracterización morfológica, en la costa noreste del estado de Quintana Roo se identificaron sistemas litorales donde su forma fue originada por el acarreo y lavado de los sedimentos. Las formas de las líneas de playa entre Tulúm y Playa del Carmen son moldeadas, en su mayoría por el movimiento de sedimentos por lavado; mientras que los contornos de las playas de Playa del Carmen a Cancún son generados por el acarreo.

No obstante que todas las playas del mundo presentan cierto grado de erosión y depositación, la naturaleza siempre tratará de reestablecer un balance entre ambos procesos. Cuando

el sistema litoral es modificado por la intervención humana sin comprender las relaciones y las interacciones que existen entre los diferentes componentes del sistema, el proceso de regeneración natural se complica. Precisamente, los problemas de erosión que experimenta Cancún y algunas de las playas del corredor turístico Tulúm-Cancún, se agravan por el efecto adverso que han ocasionado los efectos antropogénicos de la zona, puesto que éstos, generalmente, no consideran las respuestas morfológicas que pueden producirse al alterar con sus edificaciones el sistema natural. Entre los principales efectos negativos que producen las acciones antropogénicas en las celdas litorales que se revisaron, se encontró la interrupción del flujo de sedimentos por la implementación de estructuras perpendiculares a la costa, observándose los problemas de erosión que producen dichas estructuras; también se detectó que la infraestructura hotelera, generalmente se edifica en la zona de mangle o de dunas costeras; las secciones de las playas se alteran al construir muros perimetrales. En algunas celdas se detectaba la presencia de rompeolas paralelos a la costa, que en tan sólo algunos casos, solucionaban parcialmente problemas de erosión, pero éstas estructuras modificaban la hidrodinámica y con ello, el comportamiento morfodinámico de toda la celda.

El análisis de morfología costera muestra que los huracanes pueden considerarse como uno de los medios a los que recurre la naturaleza para restaurar las condiciones de equilibrio o para generar nuevos estados en respuesta a alteraciones de largo plazo. Desafortunadamente en muchos de los casos, el comportamiento de los sistemas costeros se concibe como un sistema lineal; sin embargo, éstos son sistemas complejos y dinámicos que exhiben mecanismos de retroalimentación, ya sean positivos o negativos. En el caso de Cancún se identificó que los elementos de retroalimentación negativos, como pudieran ser las bocas litorales intermitentes que existían entre el sistema lagunar y el sistema litoral (Pedrozo, 2008) han sido obstruidas y todo el sistema rigidizado, debido a la construcción de infraestructura. Esto ha ocasionando que la línea de playa ya no tenga la capacidad de recuperar sus equilibrios de manera natural y ha entrado en un estado de erosión continuo. Por otro lado, los mecanismos positivos *(i.e*. las barras y las dunas de las playas de Cancún, en especial éstas últimas) han sido completamente alteradas a tal grado que las edificaciones han sido desplantadas en esta sección de la playa, provocando con ello, una gran vulnerabilidad del sistema litoral; las dunas y las barras representan los conductos por los cuales la playa tiende a tener la capacidad de mantener cierto balance, hasta el momento que el sistema se modifica por los distintos procesos, agentes y fenómenos que se presentan en las líneas de playas.

El equilibrio morfológico que poseen algunas de las playas de la costa de Quintana Roo, se considera dinámico, exceptuando la línea de playa de Cancún que podría haberse encontrado en un equilibrio metaestable hasta antes de la intervención humana. Las playas de la Riviera Maya, especialmente las que se encuentran protegidas por arrecifes, guardan un estado de equilibrio estable de manera temporal, pero de manera contraria, si el equilibrio de dichas playas se estudia a mediano y largo plazo, se consideraría dinámico. Desde la perspectiva de la morfología costera, la costa noreste de Quintana Roo es un caso excepcional para estudiar, ya que en ella se presentan sistemas costeros que son estables, dinámicos o hiperestables; las playas de

Puerto Morelos y Tulúm representan las playas que poseen un equilibrio estático, mientras que las playas de Playa de Carmen, Xcaret y Tres Ríos (entre otras) se consideran con un equilibrio dinámico. La mejor ejemplificación de playas con equilibrio hiperestático en nuestro país, se tiene en toda la isla barrera de Cancún.

Como resultado de la caracterización que se realizó, todas aquellas playas que exhiben la interacción entre los dos mecanismos de retroalimentación, son capaces de regresar a un estado de equilibrio previo a cualquier evento que modifique dicho estado de manera temporal. Los arrecifes coralinos además de desempeñar un papel como disipadores de la energía del oleaje, tienden a consolidan los mecanismos de retroalimentación positiva y negativa.

La comprensión y el conocimiento de la geología de la península de Yucatán, así como el reconocimiento de las características geológicas particulares de la zona de interés, permiten concebir la problemática que experimentan las líneas de playas al carecer de fuentes naturales de abastecimiento de sedimentos una vez, que las playas pierden arena.

El contexto que proporciona reconocer las formas morfológicas que brindan la retroalimentación (positiva o negativa) de los sistemas litorales y cómo dichos rasgos interactúan en ciertos periodos de tiempo, permitirá un manejo y/o explotación sustentables de los recursos naturales del sistema litoral, cuando éstos sean requeridos para satisfacer los diferentes usos (ambientales, protección o recreación) de un costa o playa.

Conclusiones

Comparar las formas costeras en diferentes sitios, permite identificar una secuencia de las distintas etapas de desarrollo que han sufrido esos contornos hasta el día de hoy. La interpretación correcta de las formas costeras que existen en el presente carecerá de validez, si en ella no existe una apreciación de los diferentes cambios geológicos y climáticos que se han presentado durante el Pleistoceno. Una apreciación del clima de manera global es necesaria para entender la variación de los diferentes procesos geomorfológicos.

La descripción de los rasgos morfológicos puede considerarse como una herramienta primordial para el estudio del comportamiento de cualquier costa, línea de playa y sistema litoral, puesto que permite reconocer e identificar de una manera cualitativa los diferentes agentes, procesos y fenómenos que integran un sistema costero; además este tipo de análisis permite comprender, cómo el medio marino y terrestre interactúan a lo largo de las diferentes escalas de tiempo-espacio que se elija, ya que las interrelaciones desarrolladas entre ambos medios pueden ser abordadas al corto, mediano y largo plazo. Sin embargo, todo análisis geomorfológico deberá estar sustentado bajo un marco geológico que faculte un conocimiento que permita disipar incertidumbres acerca de la génesis y composición de los distintos materiales que se depositan en las costas; dicho conocimiento aportará las claves necesarias para entender de una mejor manera la actuación del sedimento ante los diversos mecanismos que rigen el comportamiento de una playa.

Desafortunadamente, en la mayoría de los casos donde se desea estudiar el comportamiento de una playa, se tiende a subestimar la gran relevancia y utilidad que proporcionan el conocer la geología y la geomorfología de un sitio específico, ya que no se vislumbra que el entendimiento de la composición del material, así como la evolución de los rasgos de las costas y playas a través de diferentes periodos de tiempo, permitirán con ello realizar perspectivas a futuro, acerca del comportamiento del sistema; la información que aportan las herramientas de análisis antes mencionadas, proporcionarán un marco científico que pueden ser aprovechado para un mejor manejo social y ambiental, así como una explotación sustentable de los distintos recursos naturales que se encuentran en una playa.

Es innegable, el hecho que existirá un incremento del volumen de los gases invernadero en la atmósfera de la Tierra y esto se sumará al calentamiento global, lo que a su vez producirá un incremento en el nivel de todos los océanos y mares del mundo, sin embargo, otros factores tienen repercusiones en las variaciones climáticas y cambios en el nivel del mar, es por ello que no es posible afirmar que solo el cambio climático sería el único responsable del posible aumento del nivel del mar. No existen dudas acerca de que en las próximas décadas si se registrará una expansión en el volumen de las masas oceánicas, pero aún no es posible afirmar los efectos del incremento del nivel del mar en una zona específica, considerando los múltiples factores implicados en el ascenso y descenso de dicho nivel.

Por otro lado, no se puede dejar de lado que independientemente de los procesos geológicos y de largo plazo, las alteraciones de origen humano sobre las zonas costeras han resultado más efectivas en la destrucción de los equilibrios ecosistémicos que cualquier evento natural. Es por ello que a la par de la preocupación y preparación para los eventos del orden de décadas, se debe caminar hacia la explotación responsable de los recursos costeros que están siendo dañados irreversiblemente en temporalidades mucho más cortas.

Literatua citada

Aguayo, J., R. Bello, M. Vecchio, J. Araujo, y M. Basañez, 1980. Estudio sedimentológico en el área de Tulúm-Cancún-Isla mujeres, Estado de Quintana Roo, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 41(1-2):15–32.

Bird, E., 1993. Submerging coasts: the effects of a rising sea level on coastal enviroments. John Wiley & Sons, UK.

Britannica Inc., 1995. Coast, Enciclopedia Britannica, volume 3. Encyclopaedia Britannica.

Butterlin, J., 1958. Reconocimiento geológico preliminar del territorio del estado de Quintana Roo. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 10(9-10):531–570.

Butterlin, J., y F. Bonet, 1963. Mapas geológicos de la península de Yucatán. *Ingeniería Hidráulica en México*, 1(18):65–71.

Cifuentes, J., P. Torres-García, y M. Frías, 2002. El océano y sus recursos. Las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química, volumen 12 de La ciencia para todos. Fondo de Cultura Económica, México.

CNA, 1991. Actualización geohidrológica del acuífero de la zona norte del estado de Quintana Roo. Informe final realizado por Infraestructura Hidráulica y Servicios S.A. de C.V.

Dansgaard, W., W. Dansgaard, y H. Tauber, 1969. Glacier Oxygen-18 content and Pleistocene ocean temperatures. *Science*, 166: 499-502.

Delgado, A., 2007. Análisis de la dinámica geomorfológica de la zona hotelera de Cancún como contribución al desarrollo de un plan de manejo costeros. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche.

Drake, F., 2000. Global warming. The science of climate change. Hodder Arnold Publication. London 288 p.

Durham, J., 1985. Movement of the Caribbean plate and its importance for biogeography in the Caribbean. *Geology*, 13: 123-125.

Gallegos, A., 2006. Clima oceánico: los mares mexicanos ante el cambio clima global. p. 41-52. En J. Martínez, y A. Fernández (eds.), Cambio climático: una visión desde México. Semarnat, México.

Gibbard, P., S. Boreham, K. Cohen, y A. Moscariello, 2007. Global chronostratigraphical correlation tale for the last 2.7 million years v. 2007b. Subcommission on Quaternary Stratigraphy, Department of Geography, Universidad de Cambridge, Inglaterra.

Goodrich, J., 1996. Comments on regional simulations of greenhouse warming including natural variability. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 33:3-4.

INEGI, 2007. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. INEGI, México.

INEGI, 2008. Sistema de cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por entidad federativa 2001-2006.INEGI, México.

IPCC, 2001. Cambio climático 2001. La base científica. Reporte Técnico, UNEP-WMO.

López, E., 1973. Estudio geológico de la península de Yucatán. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 25(1-3):23–73.

Lugo-Hubp, J., J. Aceves-Quezada, y R. Espinasa-Pereña, 1992. Rasgos geomorfológicos mayores de la península de Yucatán. *Revista del Instituto de Geología*, 10(2): 143-150.

Meehl, G.A.,W.M. Washington, W.D. Collins, J.M. Arblaster, A. Hu, L.E. Buja, W.G. Strand, y H. Teng, 2005. How much more global warming and sea level rise? *Science*, 307(5716): 1769-1772.

Neff, U., S. Burns, A. Mangini, M. Mudelsee, D. Fleitmann, y A. Matter, 2001. Strong coherence between solar variability and the moonson in Oman between 9 and 6 kyr ago. *Nature*, 411: 293- 293.

Nolasco, M., 1986. Sedimentología litoral de los estados de Yucatán y Quintana Roo. Tesis de licenciatura.

Pedrozo, D., 2008. Respuesta hidrodinámica del sistema lagunar Nichupté, Cancún, México. UNAM, México. Tesis de maestría.Instituto de Ingeniería, UNAM.

Quezada, S., 2001. Breve historia de Yucatán. Fideicomiso de historia de las Américas, Serie: Breves historias de los estados de la República Mexicana. EFE, El Colegio de México. México.

Robinson, A., N. Robinson, y W. Soon, 2007. Environmental effects of increased atmospheric carbon dioxide. *Journal of American Physicians and Surgeons*, 12: 79 – 90.

Ruiz, G., 2004. Modelos para determinar la geomorfología de la línea de playa en costas en equilibrio. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. México.

Ruiz de Elvira, A., 2001. Quemando el futuro. Clima y cambio climático. Nivola Libros y Ediciones, S.L. Madrid, España. 128 p.

Schönwise, C., 1995. Klimaänderugen. Data, analysen, prognosen. Ed. Springer-Verlog. Berlin. 224 p.

Singer, F. (ed.), 2008. Nature, Not Human Activity, Rules the Climate. Summary for Policymakers of the Report of the Nongovernmental International Panel on Climate Change, Chicago, IL: The Heartland Institute. 50 p.

Sykes, L., W. McCann, y A. Kafka, 1982. Motion of the Caribbean plate during last 7 million years and implications for earlier Cenozoic Movements. *Journal of Geophysical Research*, 87(B13): 10656 – 10676.

Szabo, B., W. Ward, A. Wiedie, y M. Brady, 1978. Age and magnitude of the late Pleistocene sea-level rise on the eastern Yucatán Peninsula. *Geology*, 6(12):713–715.

Thornbury, W., 1969. Principles of Geomorphology. John Wiley & Sons, US.

United States Geological Survey, 2005. Geologic Map of North America.

Uriarte, A., 2003. Historia del Clima en la Tierra. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 306 p.

Ward, W.C., y J. Wilson, 1974. General aspects of the northeastern coast of the Yucatán Peninsula. p. 96-105. *In:* Geological Society of America. Field Trip 2, Annual Meeting of the Geol. Soc. of America, US.

Ward, W.C., y M. Brady, 1979. Strandline sedimentation of carbonate grainstones, Upper Pleistocene, Yucatán Peninsula. *American Association Petrolum Geologists Bulletin*, 63:362–369.

Ward, W.,1985. Quaternary geology of northeastern Yucatán Peninsula. p. 62-72. *In:* W. Ward, A. Weidie, and W. Back, (eds.). Geology and hydrologeology of the Yucatan and quaternary geology of northeastern Yucatán Peninsula. New Orleans Geological Society, USA.

West, R., 1962. Physical geography of the Yucatan platform. p. 58-62. *In:* Peninsula of Yucatan, Field trip guidebook. New Orleans Geological Society, US.

Woodroffe, C., 2003. Coasts: form, process and evolution. Cambridge University Press, UK.

Escofet, A., R. Contreras y A. Monti, 2010. Análisis de vulnerabilidad orientado a la gestión litoral a partir del uso de hábitat , p. 159-180. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Análisis de vulnerabilidad orientado a la gestión litoral a partir del uso de hábitat

Anamaría Escofet, Rosa Contreras y Alejandro Monti

Resumen

Para contribuir a la identificación de la vulnerabilidad de los objetos naturales y sociales del espacio litoral se indagó la predicción de que los especialistas de hábitat serían más vulnerables que los generalistas, frente a un disturbio como la elevación del nivel medio del mar. La hipótesis fue que la vulnerabilidad diagnosticada en términos ecológicos puede ser traducida a los términos operativos que plantea la gestión del riesgo, e incorporarse al proceso de gestión del espacio litoral. Estudios sobre uso de hábitat por parte de 22 especies de aves playeras a lo largo de 400 km de costa entre Tijuana y El Rosario (Baja California, México) muestran que una elevación de hasta 110 cm en el nivel medio del mar implicaría la pérdida del 30% de las playas, y una progradación del 70% restante, con una afectación de la abundancia entre 28 y 30% en las tres especies obligadas de playas marinas, entre 15 y el 23% en las seis especies facultativas de playas marinas y entre 0 y 11% en 13 especies facultativas. Se identificó una *vulnerabilidad natural o intrínseca* en las playas marinas, una *vulnerabilidad ecológica* en los playeros, y una potencial *vulnerabilidad institucional* en el proceso de gestión, por factores que impidieran una planeación de largo plazo para mantener intacto el 70 % de las playas con bajo riesgo de pérdida por inundación frente al evento de elevación marina, y así conservar el hábitat y la integridad del elenco de playeros migratorios.

Introducción

El modo en que los sistemas naturales y sociales podrían responder frente a eventos climáticos mayores, tal como la elevación del nivel medio del mar, ha sido tema central en las últimas décadas, movilizando conocimiento disciplinario, y esfuerzos interdisciplinarios para la revisión crítica de las tendencias de uso de los espacios litorales. Así, existen exploraciones geomorfológicas para estimación de impacto y riesgos (Turner *et al.*, 1996; Titus y Richman, 2001; Cooper *et al.,* 2005) o proyecciones de cómo la disminución del periodo de exposición del intermareal podría afectar las abundancias actuales de elementos bióticos conspicuos y característicos, como las aves playeras, al incidir sobre su base de alimentación y descanso (Galbraith *et al.*, 2005 ; Le V. dit Durell *et al.,* 2006).

Visualizando la elevación del medio del mar como un agente amenazante, y a los espacios costeros como el receptor del mismo, la identificación de la vulnerabilidad de los objetos naturales y sociales del espacio litoral deviene en un tema central (Doornkamp, 1998). En ese contexto, se reconoce que la concepción de vulnerabilidad y riesgo, y la terminología asociada, han evolucionado según la disciplina que la haya abordado, y que urge trabajar para una consistencia que apoye la efectividad en la gestión bajo una visión holística e integral (Cardona, 2001).

En esa línea, presentamos resultados selectos sobre uso de hábitat por parte de 22 especies de aves playeras en los 400 km de costa comprendidos entre Tijuana y El Rosario (Baja California, México). El trabajo original de Contreras-Motolinía (1999) utilizó un modelo porpuesto por Kolasa (1989) que vincula la naturaleza del hábitat, el grado de especialización, y la relación entre abundancia y modo en que se usa el hábitat. Estableciendo que la abundancia de una especie es función del número de hábitats que ocupa y del número total de hábitats posibles, el modelo permite explorar predicciones sobre abundancia relativa de especialistas y generalistas, grupos de especies según rango ecológico y abundancia, y vulnerabilidad diferencial de especialistas y generalistas frente a un disturbio que afectara a los hábitats.

Sobre esa base, nos propusimos indagar si los resultados específicos sobre vulnerabilidad diferencial de especialistas y generalistas frente a una elevación del nivel medio del mar podrían asimilarse a las expresiones generales de riesgo, bajo la hipótesis de que la vulnerabilidad diagnosticada en términos ecológicos puede ser traducida a los términos más operativos que plantea la gestión del riesgo, y de ese modo incorporarse al proceso de gestión del espacio litoral en la zona de estudio.

Estado del arte

Marco conceptual

A los fines de este trabajo, es relevante plantear los conceptos de hábitat y uso del hábitat, y el empleo del término vulnerabilidad en los ámbitos de la ecología y estudios de riesgo.

Hábitat y uso del hábitat

Un tema central de la ecología es la relación entre los recursos del ambiente, la respuesta de las especies a dichos recursos, y el modo en que esto se traduce en los patrones de abundancia (Pianka, 1978; Odum, 1986; Ricklefs, 1990; Krebs, 1994).

La definición de unidades espaciales que reflejen unidades ecológicamente relevantes es esencial para proveer divisiones naturales del paisaje que sirvan de referencia a la investigación y planeación de uso de suelo (Ray y Hayden, 1992). En ese sentido, para diseño de reservas, identificación de ecosistemas frágiles, y programas de monitoreo, se impone indagar la relación entre unidades ecológicamente relevantes y unidades cartográficas, ya que la descripción de patrones de distribución de abundancia depende del diseño de los muestreos, y de la escala cartográfica a la que se hayan separado los hábitats (Hays *et al.*, 1981; Dethier, 1992; Bricker y Ruggiero, 1998).

Conceptualmente, son los principios de heterogeneidad ambiental los que guían este tipo de aproximación, con sus refinamientos en cuanto a estructura jerárquica del ambiente (Kolasa, 1989; Kolasa y Pickett, 1991; Keddy, 1991). De este modo, es posible visualizar la estructura del hábitat como una jerarquía de subdivisiones donde los fragmentos aparecen cada vez más pequeños como una función del incremento en la resolución con que la especie percibe el ambiente. Así, serían los especialistas, que perciben el espacio como heterogéneo, los que utilizan las pequeñas subdivisiones, mientras que los generalistas perciben el espacio en modo más homogéneo y emplean los fragmentos más grandes. Sobre esta base, es posible predecir que las especies especialistas serían más vulnerables a la desaparición de algún hábitat (figura 1).

Las aves playeras constituyen un conjunto adecuado para estudios de uso de hábitat a escala paisajística, ya que presentan afinidad con una variedad de sustratos inundables con distribución espacial heterogénea, que se concentran en una franja litoral relativamente angosta, y que en un perfil mar-tierra se presentan secuencialmente (figura 2).

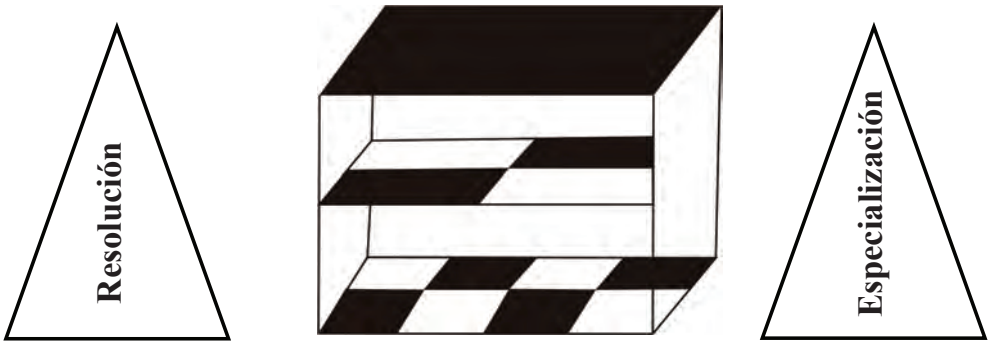


Figura 1. Representación esquemática del ambiente, donde la homogeneidad o heterogeneidad dependen de la resolución a la cual las especies perciben sus hábitats. Tomado de Contreras-Motolinía (1999).

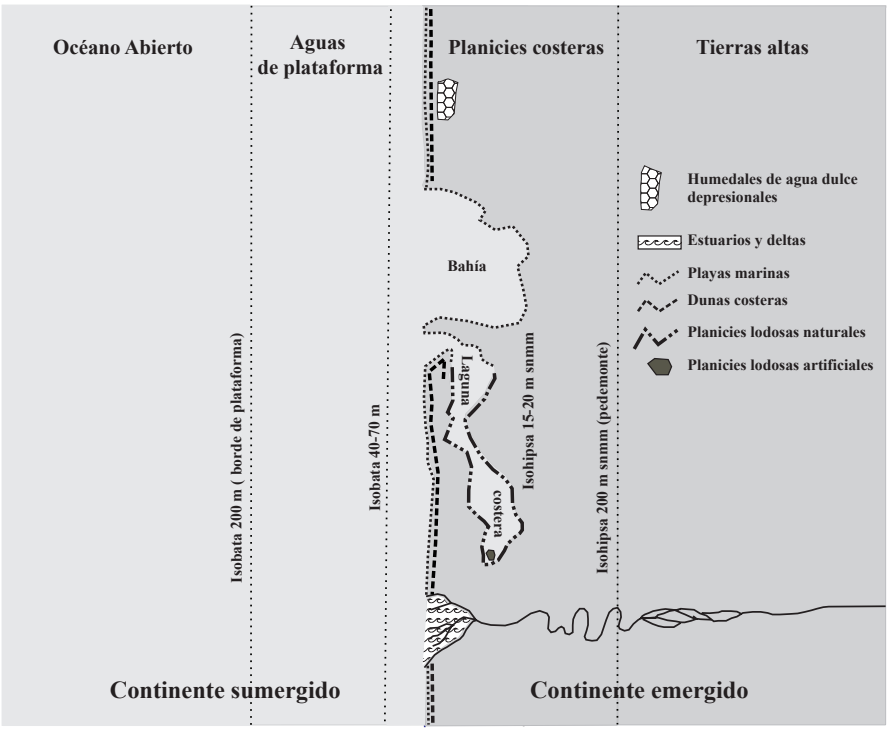


Figura 2. Esquema idealizado de la distribución en la franja litoral de los principales sustratos inundables utilizados por aves playeras.
A partir de Escofet (2004) y Hernández-Leonel (2005).

Los playeros migratorios, que visitan ecosistemas de diferentes, son un grupo particularmente estudiado, ya que su estatus poblacional y como grupo, pueden revelar mucho acerca del estado de los ecosistemas visitados, y por lo mismo, promueven muchas acciones internacionales de conservación. En la zona de estudio, que forma parte del Corredor Migratorio del Pacífico, se ha comprobado la asincronía y segregación espacial de las especies de playas marinas y de planicies lodosas (Palacios *et al.*, 1991) y sobre esa base se ha propuesto el mantenimiento del mosaico de hábitat, y de pequeños apostaderos a lo largo del corredor (López-Uriarte *et al.*, 1997) como base esencial para conservar la integridad del elenco migratorio (Escofet, 1994).

Vulnerabilidad

La acepción del sustantivo *vulnerabilidad* es "calidad de vulnerable". La acepción del adjetivo *vulnerable* es "que puede ser herido o dañado". La clave para tratar con el término *vulnerabilidad* reside en entender que descansa sobre la definición de *vulnerable*, y que tal definición conlleva la noción de dos elementos: uno "que puede ser herido o dañado" y uno capaz de causar herida o daño. La vulnerabilidad es entonces una condición que sólo se visualiza en presencia del otro elemento; no se puede hablar de "vulnerabilidad" por sí sola, sino de "vulnerabilidad

frente a algo". De la claridad con que este concepto sea tratado por las diferentes disciplinas que utilizan el término vulnerabilidad, depende la claridad con que puedan analizarse casos concretos en los que el resultado de la interacción adquiera dimensiones sociales preocupantes, que se desean disminuir (Cardona, 2001).

Ecología del disturbio

En esta rama de la ecología, el vocablo vulnerabilidad aparece asociado a la díada *agente efector-agente receptor*, base fáctica insoslayable que subyace a cualquier cambio notorio en objetos de la naturaleza, pudiendo a dicho cambio llamársele *disturbio* o, preferentemente, *perturbación*. Al *agente efector*, o *agente de disturbio*, se le asocian rasgos tales como la intensidad y la frecuencia, mientras que al *agente receptor* se le asocia la vulnerabilidad. La magnitud de la interacción entre ambos, o *perturbación*, que generalmente se mide en pérdida de biomasa del agente receptor, dependerá de qué tan intenso y/o frecuente haya sido el agente efector, y de qué tan vulnerable haya sido el agente receptor, a esa exacta condición del agente efector (Dethier, 1984; Rykiel, 1985; Pineda y Escofet, 1989; Escofet, 1989; López-Uriarte, 1997).

En *ecología*, los agentes de disturbio y los eventos de perturbación están incorporados en la dinámica modeladora de la diversidad, reconociéndose que en condiciones naturales opera un sabio balance entre intensidad y frecuencia de los agentes de disturbio: alta intensidad y baja frecuencia, o baja intensidad y alta frecuencia (Connell, 1978; Souza, 1984). Lo anterior está íntimamente ligado con la noción de *estabilidad* (y variedad de significados asociados) que se ocupa de analizar los modos en que un determinado escenario natural se recupera luego de una perturbación (Holling, 1973; Orians, 1975; Westman, 1978). Progresivamente, se fue haciendo importante incorporar las acciones humanas como agente de disturbio, reconociéndose que además de violar el balance intensidad-frecuencia, y por lo mismo desafiar los umbrales de recuperación en que han sido evolutivamente moldeadas las respuestas de los sistemas naturales, introducen agentes cualitativamente desconocidos por la naturaleza (Jacobs, 1975).

Teoría del riesgo

En esta disciplina, la vulnerabilidad aparece asociada a la *ecuación general del riesgo*

Riesgo = Amenaza, o Peligro X Vulnerabilidad

El riesgo, o probabilidad de que ocurra una determinada pérdida, o daño, es función de dos factores: la probabilidad de que se manifieste una *amenaza*, o *peligro*, y la *vulnerabilidad* de los *objetos expuestos* a tal amenaza o peligro, pudiendo distinguirse en este segundo término (1) el grado de exposición de los elementos a una determinada amenaza y (2) el factor interno de selectividad, o predisposición intrínseca, que determina el grado de afectación (Cardona, 1993a y b).

La creciente necesidad social de intervenir en la disminución del riesgo (Lavell y Argüello, 2003) ha extendido el uso del término vulnerabilidad para abarcar (a) objetos expuestos tangibles (es decir, con expresión espacial concreta sobre el terreno) y (b) aspectos sociales, sin

expresión espacial concreta, pero vinculados a conductas públicas o privadas que contribuyen a la construcción social de la vulnerabilidad. Así, se habla de una vulnerabilidad física, ecológica y/o natural, cuando se refiere a objetos expuestos tangibles, con expresión espacial concreta sobre el terreno, y de vulnerabilidad económica, social, política, técnica, ideológica, cultural, educativa, institucional, cuando se refiere a políticas públicas, actitudes y otras componentes sociales que inciden en el proceso de gestión (Wilches-Chaux, 1993; Cardona, 2001).

Alcances y equivalencias entre aproximaciones

La equivalencia entre Ecología del Disturbio y Teoría del Riesgo es directa en lo que se refiere a objetos expuestos tangibles, sean estos del medio natural o antrópico. La expresión "*objetos expuestos tangibles*", propia del riesgo, es particularmente idónea para el planteamiento de los casos, porque permite circunscribir el concepto de vulnerabilidad a los límites físicos, tangibles, de los objetos de interés directo, y visualizar la vulnerabilidad no tanto como una condición universal de tales objetos, sino como una singularidad de la relación respecto a un determinado agente efector (peligro, o amenaza) que debe claramente identificarse.

En ese contexto, a los fines de un diagnóstico del territorio, la aproximación del *disturbio* puede refinarse con aportaciones del riesgo en lo que hace a tipos de vulnerabilidad. En general, la natural, la física, y/o la ecológica aplican a objetos expuestos tangibles pero, más específicamente, la natural y la ecológica aplica a objetos del medio natural, y la física a objetos del medio antrópico (Cardona, 1993a y b; Wilches-Chaux, 1993). Otra aportación desde el riesgo es que la forma de ecuación en que se presentan sus términos, que no necesariamente obliga a resolverla numéricamente, contribuye mucho al planteamiento de los casos, porque fuerza a especificar los dos términos de la díada *efector-receptor*, y automáticamente ayuda a visualizar cuál de los términos admitiría su intervención para reducir la condición de riesgo actual y/o evitar la consolidación de una situación de riesgo futuro (gestión del riesgo).

Es justamente en los planteos de la gestión del riesgo cuando entran en juego los demás tipos de vulnerabilidad, los que se aplican al contexto social, y que permiten visualizar los factores económicos, sociales, políticos, técnicos, ideológicos, culturales, educativos y/o institucionales, que favorecen o desfavorecen determinadas alternativas de gestión.

El caso de estudio

Los datos y el modelo

Los datos básicos provinieron de 218 censos de aves playeras en 18 sitios y ocho tipos de hábitat a lo largo de 400 km de costa comprendidos entre Tijuana (San Antonio del Mar, 32 26 N, 117 06 W) y El Rosario (30 02 N, 115 47 W) y a lo ancho de una franja que incluyó los aproximadamente 50 m de ancho del intermareal, y 3 km tierra adentro, totalizando unos 1 220 km^2 (figura 3).

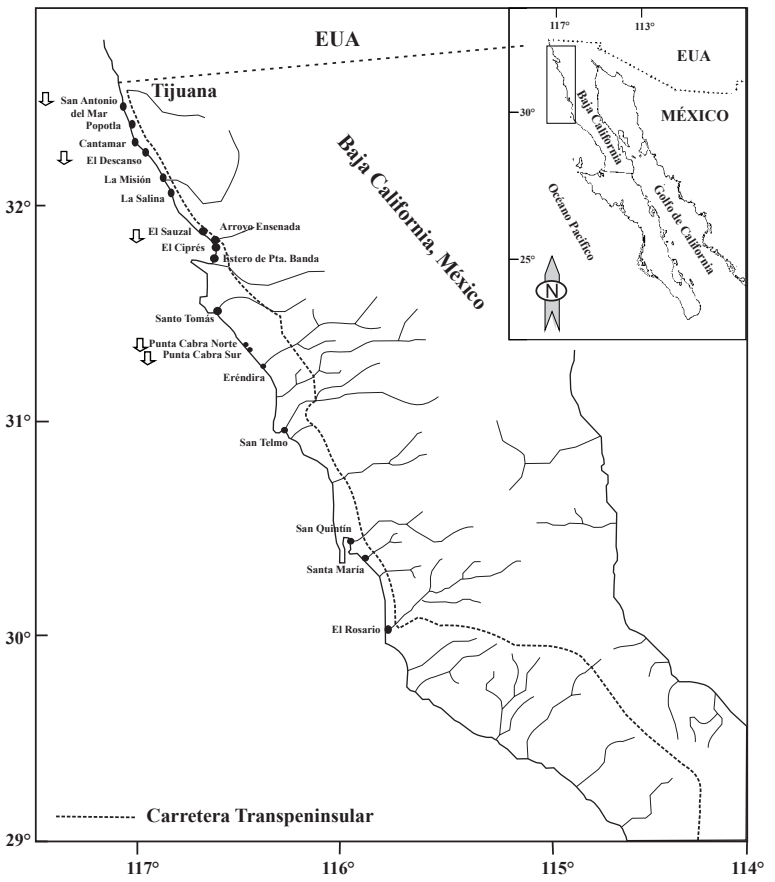


Figura 3. Área de estudio, indicando los sitios en los que se relevó el hábitat playas marinas. Las flechas señalan las playas en las que ocurriría un evento de pérdida frente a un aumento del nivl medio del mar.

Las unidades ecológicamente relevantes se identificaron en (a) cartas topográficas, 1:250 000 y 1: 50 000 (INEGI, 1981a); (b) Carta de uso de suelo y vegetación, 1: 250 000 (INEGI, 1981b); (c) fotografía aérea del puerto de Ensenada, B.C., 1: 9 500 (Ceseña , 1990); (d) carta urbana de usos y destinos del suelo propuestos, 1:35 000 (Ceseña, 1990).

Los conteos, ya corregidos para normalizar por número de censos, y eliminando dos especies ocasionales que tuvieron solamente uno o dos individuos en el total, arrojaron un elenco de 22 especies de playeros y 2 183 individuos (tabla 1).

Estos datos se emplearon para explorar el Modelo de Estructura Jerárquica del Ambiente (Kolasa , 1989) cuya ecuación general es

$$N = f\,(Rx^2 / Ry)$$

Tabla 1. Los datos de hábitat y de especies de aves playeras, utilizados en los cálculos.
(gris claro = especies obligada de playas marinas; blanco = especies facultativas de playas marinas; gris oscuro = especies facultativas).

Especie	Playas marinas (17 sitios)	%	Estuarios y deltas (9 sitios)	%	Dunas (1 sitio)	%	Planicies lodosas naturales (3 sitios)	%	Planicies lodosas artificiales (1 sitio)	%	Lagunas de agua dulce (2 sitios)	%	Campos de cultivo (3 sitios)	%	Embalses y Presas (1 sitio)	%	Total
Calidris mauri/minutilla	49	12	137	35	0	0	140	36	54	14	6	1	0		8	2	394
Catoptrophorus semipalmatus	212	60	23	7	0	0	116	33	0	0	0	0	3		0	0	355
Limosa fedoa	126	37	31	9	13	4	141	41	0	0	1	0	29		0	0	341
Calidris alba	313	98	4	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0		0	0	320
Limnodromus spp.	56	25	22	10	0	0	125	56	0	0	9	4	0		9	4	222
Pluvialis squatarola	80	56	14	10	2	2	46	32	0	0	0	0	0		0	0	143
Calidris alpina	1	2	31	43	0	0	26	37	12	17	0	0	0		0	0	70
Charadrius vociferus	4	6	54	84	0	0	1	2	0	0	4	6	1		0	1	64
Numenius phaeopus	26	50	1	3	2	5	17	33	0	0	2	3	3		0	0	51
Charadrius alexandrinus	26	65	1	2	0	0	12	31	1	2	0	0	0		0	0	40
Himantopus mexicanus	0	0	14	36	0	0	6	15	0	0	17	45	1		0	1	38
Arenaria interpres	21	69	0	0	0	0	9	30	0	1	0	0	0		0	0	30
Arenaria melanocephala	23	94	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	24
Charadrius semipalmatus	8	32	14	58	0	0	0	0	2	8	0	1	0		0	0	24
Recurvirostra americana	0	0	2	11	0	0	1	10	9	63	2	15	0		0	0	15
Numenius americanus	0.2	2	1	5	1	10	5	38	0	0	0	0	6		0	0	13
Actitis macularia	2	16	9	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	1	11
Tringa melanoleuca	0	0	3	32	0	0	5	49	2	19	0	0	0		0	0	10
Calidris canutus	6	70	2	26	0	0	0	4	0	0	0	0	0		0	0	9
Charadrius wilsonia	0	6	0	0	0	0	0	2	3	92	0	0	0		0	0	3
Aphriza virgata	3	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	3
Tringa flavipes	0	0	0	0	0	0	2	100	0	0	0	0	0		0	0	2
Número de especies	20		18		5		20		13		10		6		5		22
Número de individuos	955		364		19		658		84		42		42		18		2 183

Donde *N* es la abundancia de la especie *x*, *Rx* es el rango ecológico de la especie (número de hábitat ocupados) y *Ry* es el rango total (número disponible de hábitat). La función cuadrática incorpora una corrección para considerar el modo en que la especie usa el ambiente, comparando cada caso contra un blanco ideal en que el ambiente fuera percibido en modo uniforme (generalistas absolutos; todos los hábitats usados en la misma medida).

El modelo vincula la naturaleza del hábitat, el grado de especialización de las especies, y la relación entre la abundancia de las especies y el modo en que éstas usan el recurso hábitat. En términos generales, establece que la abundancia de una especie es función del número de hábitat que ocupa, y del número total de hábitats posibles; permite explorar predicciones sobre la abundancia relativa de especialistas y generalistas, sobre grupos de especies según su rango ecológico y abundancia, y sobre vulnerabilidad diferencial de especialistas y generalistas. Específicamente, sugiere seis predicciones:

1) El número de especies especialistas debe ser mayor que el de las generalistas;
2) Los especialistas, en promedio, deben ser menos abundantes que los generalistas;
3) La densidad de los especialistas debe ser menor que la de los generalistas;
4) El rango ecológico y la abundancia deben estar positivamente correlacionados;
5) Debe haber grupos de especies según la similitud de su rango ecológico y abundancia;
6) Los especialistas serían más vulnerables a un disturbio que pudiera causar la desaparición de hábitat.

Los resultados completos pueden consultarse en Contreras-Motolinía (1999). En este capítulo se presentan únicamente los resultados de la exploración de la predicción # 6.

La vulnerabilidad de los playeros frente a elevación del nmm

La exploración de la predicción # 6, en la cual están involucrados la vulnerabilidad y el disturbio, requirió la selección de (1) escenarios de disturbio y (2) criterios para medir vulnerabilidad frente a la desaparición de hábitat. Uno de los escenarios de disturbio escogidos fue la elevación del nivel medio del mar, en la cual la desaparición de hábitat ocurriría en una secuencia fija que empezaría desde el mar. El otro escenario, que sólo será mencionado comparativamente aquí, fue la desaparición de hábitat por cambios de uso de suelo, en el cual la desaparición de hábitats sería al azar.

Como criterio para medir la vulnerabilidad de los playeros frente a la desaparición de hábitat, se procedió conforme a categorías de especialidad que distinguen tres grupos de especies según su abundancia en diferentes hábitat (Croonquist y Brooks, 1991): *obligadas de un determinado hábitat* (90 al 100% de su abundancia en ese hábitat); *facultativas de un determinado hábitat* (ocupan otros hábitat, pero reúnen 50 al 89% de su abundancia en uno determinado); *facultativas* (ocupan otros hábitat, con menos del 50% de su abundancia en uno determinado). Así, se encontró que de las 22 especies registradas, tres son *obligadas de playas marinas*, con 94, 98 y 100% de su abundancia en ese hábitat, seis especies son *facultativas de playas marinas*, por ocupar otros hábitat pero reunir entre 53 y 78% de su abundancia en playas marinas, y las

restantes 13 son especies *facultativas*, por presentar mayores abundancias en otros hábitat y solamente 0 a 40% en playas marinas (tabla 1).

Previamente a la exploración de la vulnerabilidad de los playeros, se procedió según estándares establecidos (Daniels *et al*., 1993) y se calculó el porcentaje de playas que desaparecerían en la zona de estudio si ocurriera una elevación del nivel medio del mar entre 16 y 110 cm. Para esto, en la franja comprendida entre los cero y los tres m de elevación snmm, se relevaron las playas y el cambio fisiográfico adyacente. Se estableció que ocurriría una inundación permanente, o pérdida del hábitat, en playas que tuvieran una combinación de cantiles mayores a 3 m, y distancia de 3 a 24 m al cambio fisiográfico más próximo, y que un desenlace de progradación ocurriría en las que tuvieran cantiles de 3 m o menos, y presentaran desembocaduras de arroyos o dunas adyacentes a la playa. Así 30% de las playas marinas de la región estudiada experimentarían inundación permanente, y 70% experimentaría progradación (tabla 2).

Sobre esa base se calculó el porcentaje de la abundancia total de playeros que sería afectado a nivel regional en caso de ocurrir una elevación del nivel medio del mar como la supuesta. Para

Tabla 2. Identificación de eventos de pérdida (⇓) o progradación (⇒) de playas frente a un aumento del nivel medio del mar.

Localidad	Características de la costa Consideras	Distancia al cambio fisiográfico más próximo (m)	Evento posible
San Antonio del Mar	Playa con cantil (30 m)	24	⇓
Popotla	Playa con cantil (14 m)	3	⇓
Cantamar	Playa con boca de arroyo	-	⇒
El Descaso	Playa con cantil (2.7 m) coronado con dunas; boca de arroyo	77	⇒
La Misión	Playa con boca de arroyo	-	⇒
La Salina	Playa con dunas	62	⇒
El Sauzal	Playa con cantil (6 m)	17	⇓
Arroyo Ensenada	Boca de arroyo	-	⇒
El Ciprés	Playa con dunas	0	⇒
Estero de Punta Banda	Playa con dunas	123	⇒
Santo Tomás	Playa con boca de arroyo y dunas	108	⇒
Punta Cabra Norte	Playa con cantil (5-10 m)	16	⇓
Punta Cabra Sur	Playa con cantil (13 m)	15	⇓
Eréndira	Playa con boca de arroyo	-	⇒
San Telmo	Playa con boca de arroyo	-	⇒
San Quintín	Planicie lodosa con cantil (3 m)	7	⇒
Santa María	Playa con boca de arroyo y dunas	42	⇒
El Rosario	Playa con boca de arroyo y dunas	139	⇒

esto, la abundancia proporcional de cada especie en el hábitat playas marinas se multiplicó por 0.3, que es la probabilidad de que en la región ocurra una pérdida o inundación permanente de ese hábitat si se diera una elevación como la supuesta. Se estimó que resultaría afectada entre 28 y 30% de la abundancia total de las tres especies *obligadas de playas marinas*, entre el 15 y el 23% de la abundancia de las seis especies *facultativas de playas marinas*, y entre 0 y 11% de la abundancia de las 13 especies *facultativas* (tabla 3).

Tabla 3. Abundancia de las especies de aves playeras, ordenadas según su grado de especialidad respecto al hábitat playas marinas.

Especie	Abundancia presente en playas marinas, respecto al total de la especie (%)	Afectación de la abundancia (%) en un escenario de inundación permanente del 30% de las playas	Especialidad
Aphriza virgata	100	30	Obligadas de playas marinas
Calidris alba	98	29	
Arenaria melanocephala	94	28	
Calidris canutus	70	21	Facultativas de playas marinas
Arenaria interpres	69	21	
Charadrius alexandrinus	65	19	
Catoptrophorus semipalmatus	60	18	
Pluvialis squatarola	56	17	
Numenius phaeopus	50	15	
Limosa fedoa	37	11	Facultativas
Charadrius semipalmatus	32	10	
Limnodromus spp.	25	8	
Actitis macularia	16	5	
Calidris mauri/minutilla	12	4	
Charadrius vociferus	6	2	
Charadrius wilsonia	6	2	
Calidris alpina	2	1	
Numenius americanus	2	0	
Himantopus mexicanus	0	0	
Recurvirostra americana	0	0	
Tringa melanoleuca	0	0	
Tringa flavipes	0	0	

Especialistas

Generalistas

Lectura de la vulnerabilidad

Disturbio

La lectura de la vulnerabilidad surge de los resultados que confirman la predicción # 6 del modelo, en el sentido de que es la condición de especialización la que define la vulnerabilidad frente a la manifestación de un agente de disturbio. De ese modo, frente a una elevación del nivel medio del mar entre 16 y 110 cm se identifica un gradiente de afectación de la abundancia (28-30%; 15-21%; 0-11%) a lo largo del gradiente de especialidad (especies obligadas de playas marinas - facultativas de playas marinas - facultativas).

Al mismo tiempo, contrastando estos resultados con los de la proyección de otro escenario de disturbio (cambios de uso de suelo, en el cual la desaparición de hábitats sería al azar) se confirma el planteamiento general de que la vulnerabilidad no es una condición universal sino una singularidad respecto a un determinado agente efector. Tomando como ejemplo la desaparición de planicies lodosas, la abundancia de las especies de playas marinas resultaría afectada solamente entre 0 y 1 % en el caso de las *obligadas de playas marinas*, y entre 4 y 33 % en el caso de las especies *facultativas de playas marinas* (Contreras-Motolinía, 1999).

Riesgo

En términos de Riesgo se identifican dos objetos expuestos a la amenaza de elevación del nivel medio del mar: playas y aves playeras. Por otra parte, el caso permite visualizar uno de los aspectos más difíciles en el análisis de la vulnerabilidad de los objetos expuestos tangibles, que es la separación entre (1) el grado de exposición a un determinado agente, y (2) el factor que determina la severidad de los efectos de tal agente, o *factor interno de selectividad*.

El grado de exposición se visualiza únicamente en un perfil mar-tierra, que incluye la totalidad de los hábitats regionales para aves playeras, y donde la amenaza o peligro es la elevación del nivel medio del mar (ver figura 2). Así emerge claramente que el grado de exposición de las playas marinas es mayor, por estar físicamente más cercanas al efector, y que lo mismo ocurrirá con sus usuarios preferentes.

El factor interno de selectividad debe explorarse independientemente en los dos objetos expuestos: playas, y aves playeras. En ambos casos, el trabajo original contiene la información pertinente, aunque no expresada en los términos de enlace que exponemos a continuación.

Playas

En el caso de las playas, el factor interno de selectividad frente a la elevación del nivel medio del mar es su conformación, que es exactamente lo que el trabajo original identifica en el paso previo a la exploración de la vulnerabilidad de los playeros. Cierta conformación (cantiles mayores de 3 m; distancia de 3 a 24 m al cambio fisiográfico más próximo) imprimiría condiciones de mayor vulnerabilidad y favorecería una inundación permanente, mientras que otra conformación (cantiles de 3 m o menos; presencia de desembocaduras de arroyos, o de dunas

adyacentes) corresponde a una condición menos vulnerable porque permitiría la progradación de la playa, y la recuperación del hábitat en ese segmento.

En términos de tipos de vulnerabilidad, en este caso podría hablarse de *vulnerabilidad natural o intrínseca*, que es la que corresponde identificar cuando al cambiar las condiciones externas, el objeto expuesto tangible puede verse limitado en su permanencia (Cardona, 1993a y b; Wilches-Chaux, 1993). En este caso, sería la geoforma playas marinas, particularmente aquellas con cierta conformación morfológica, el objeto de la naturaleza que podría ser limitado en su permanencia, o expresión espacial tal y como la conocemos, en caso de que las condiciones externas cambiaran (elevación del nivel medio del mar).

Aves playeras

En el caso de las aves playeras, el factor interno de selectividad frente a la elevación del nivel medio del mar es el grado de especialización en el hábitat *playas marinas* (a mayor especialización en ese hábitat, mayor vulnerabilidad y viceversa). En este caso, pueden identificarse tres grados posibles: alta vulnerabilidad para las tres especies *obligadas de playas marinas*, mediana vulnerabilidad para las seis especies *facultativas de playas marinas*, y baja vulnerabilidad para las 13 especies *facultativas*.

En términos de tipos de vulnerabilidad, en este caso podría hablarse de *vulnerabilidad ecológica,* que es la que corresponde identificar cuando lo susceptible a ser dañado no es tanto la estructura física de los objetos, sino un proceso vital (Wilches-Chaux, 1993). En este caso, el proceso ecológico bajo amenaza sería el uso de hábitat.

Planteamiento del riesgo

Pueden plantearse dos cálculos para el riesgo, uno para playas y otro para playeros. En el primer caso, el cálculo es directo, y descansa sobre los datos de vulnerabilidad de playas (tabla 2). Para playeros, el cálculo debe apoyarse en la vulnerabilidad de playas, detalle atinadamente previsto en el desarrollo de la investigación base (tabla 3). El siguiente paso es formular los términos de la ecuación general del riesgo en la forma específica que dé sentido a cada caso.

Playas

Para las playas, la formulación de cada término sería:

RIESGO Probabilidad de pérdida de playas marinas en el sector estudiado	=	AMENAZA Probabilidad de una elevación del nmm entre 16 y 110 cm (en este caso , certeza, 1, que es el supuesto)	X	VULNERABILIDAD Proporción de playas con cantiles de 3 m o más, y distancia de 3 a 24 m al cambio fisiográfico más próximo (en este caso, 30%, o 0.3)

De este modo, el riesgo de una pérdida de playas marinas sería de 30% (0.3)

Playeros

En este caso, dado que existen grados de vulnerabilidad asociados con grados de especialidad, los cálculos pueden desglosar ese nivel de refinamiento.

RIESGO	=	AMENAZA	X	VULNERABILIDAD
Probabilidad de que la abundancia de aves playeras disminuya en la región si el nmm se elevara entre 16 y 116 cm		Probabilidad de que desaparezca el hábitat playas marinas en la región, si el nmm se eleva 16 a 116 cm (0.3)		Abundancia proporcional de playeros obligados de playas marinas (94 a 100%) + Abundancia proporcional de playeros facultativos de playas marinas (50 a 70%) + Abundancia proporcional de playeros facultativos (0 a 37%)

De este modo, tomando los puntos inferiores del recuadro de Vulnerabilidad, resultaría afectado el 43 % de la abundancia total de playeros (94 + 50 + 0 = 144; 144 x 0.3 = 43.2) y tomando los puntos superiores, resultaría afectado el 64% de la abundancia total de playeros (100 + 70 + 37 = 207; 207 x 0.3 = 62.1).

Estos resultados coinciden con los que se presentan en la tabla 3 (col 3), sumando los valores inferiores (28; 15; 0) y los valores superiores (30; 21; 11) ya que estos integran el paso de multiplicar por 0.3 la abundancia proporcional de cada especie.

Esto comprueba que los datos originales contenían un cálculo implícito del riesgo para cada categoría de especialidad, es decir, un cálculo de la probabilidad de que disminuya la abundancia de, respectivamente, especies *obligadas de playas marinas*, *facultativas de playas marinas*, y *facultativas*.

De este modo, el cálculo con base en los datos originales equivaldría al concepto de Riesgo Total (Cardona, 1993a y b) al resultar de la sumatoria de los riesgos parciales:

> Riesgo Total (Probabilidad de que la abundancia de aves playeras disminuya en la región si el nmm se elevara entre 16 y 116 cm) = Probabilidad de que disminuya la abundancia de especies *obligadas de playas marinas* (28 a 30 %) + Probabilidad de que disminuya la abundancia de especies *facultativas de playas marinas* (15 a 21 %) + Probabilidad de que disminuya la abundancia de especies *facultativas* (0 a 11 %) = 43-64 %

Planteamiento de la gestión

El caso permite plantear la gestión del riesgo tanto en términos de conservación de la biodiversidad, específicamente de las aves playeras migratorias, como en términos de sus hábitats, con lo que eso conlleva en la planeación de uso de suelo.

La condición analizada es desafiante en términos dinámicos, porque el grueso de la información en ecología del disturbio proviene de organismos sesiles, que frente a un agente efector

responden directamente con la estructura de sus cuerpos (Souza, 1984) mientras que nuestros datos involucran organismos móviles, que pueden compensar conductualmente la reducción de hábitat ocasionada por el agente efector.

En ese sentido, la heterogeneidad regional presenta dos ángulos promisorios para la gestión litoral. Por un lado, la segregación altitudinal (perpendicular a la línea de costa) de los hábitats propios de playeros, permite visualizar a las playas marinas como el hábitat con mayor grado de exposición a la elevación del nivel medio del mar, en contraste con una serie de hábitat mucho menos expuestos. Por el otro, las diferentes conformaciones latitudinales (a lo largo de la costa) del hábitat más expuesto a una elevación del nivel medio del mar, es decir, las playas marinas, permiten visualizar grados de vulnerabilidad frente a tal elevación, donde un nada despreciable 70% de las playas tiene bajo riesgo de pérdida por inundación frente al evento de elevación marina.

Entonces, frente a la amenaza de una elevación del nivel medio del mar (que por ser un fenómeno climático, sería el término no manejable de la ecuación general del riesgo) la gestión litoral podría sin embargo incidir en la disminución del riesgo atendiendo al segmento más sensible o vulnerable a tal amenaza, es decir, sobre las especies *obligadas de playas marinas*. Para esto, y aprovechando que solamente 30 % de las playas marinas se perdería por la elevación esperada, la prioridad de la gestión sería el mantenimiento del resto de las playas, con menor vulnerabilidad, que podrían progradar, y así restablecerse el hábitat.

Sin embargo, la conservación de la totalidad del elenco de playeros pediría una programación cuidadosa de acciones en la franja continental más costera, desde la línea de costa hasta unos 3 km hacia el continente, a fin de retener el abanico de hábitats sobre los que descansa la diversidad de playeros. La primera prioridad, ya señalada, sería impedir cualquier bloqueo físico que pudiese detener la progradación que naturalmente ocurriría en 70% de las playas. La segunda prioridad sería mantener el abanico de humedales existentes, y eventual creación de humedales artificiales.

En ese sentido, habiendo en la región estudiada 70% de la costa en condiciones de progradar, la oportunidad está abierta para una gestión prospectiva (Lavell y Argüello, 2003) y para analizar en términos de vulnerabilidad institucional (Wilches-Chaux, 1993) aquellos aspectos que facilitarán o dificultarán una planeación a largo plazo como la que requiere la gestión prospectiva.

En apoyo a esta propuesta de gestión, la proyección teórica del rango de afectación de la abundancia de aves playeras en escenarios de pérdida creciente del hábitat playas marinas, permite contrastar las pérdidas inevitables en caso de una elevación, y el amplio rango de pérdidas evitables mediante una gestión adecuada (figura 4).

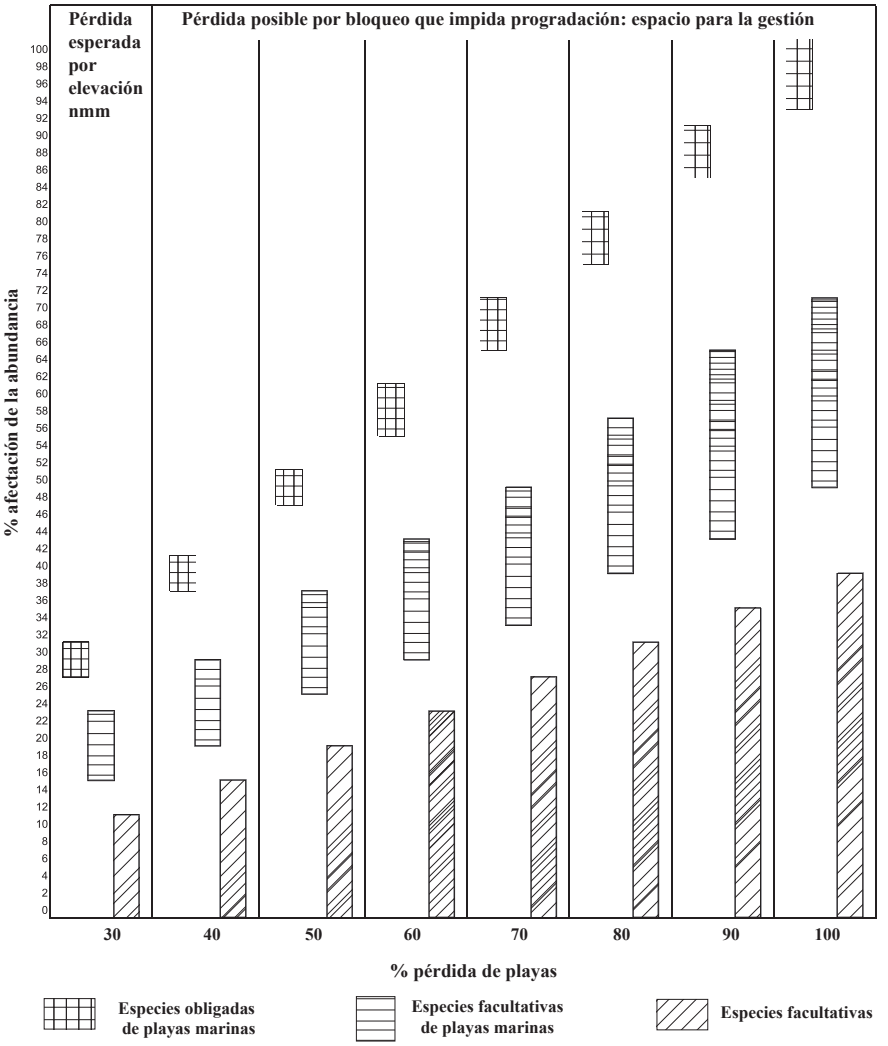


Figura 4. Proyección teórica del rango de afectación de la abundancia de aves playeras en escenarios de pérdida creciente del hábitat playas marinas, indicando pérdidas inevitables en caso de una elevación, y pérdidas evitables mediante la gestión.

Lecciones aprendidas

El análisis que ofrecemos, con obvias aplicaciones a la planeación del territorio costero, descansa sobre una separación de hábitat a escala fina (1: 9 500, y relevamientos directos) pero su grado de operatividad podría menguar si hubiera menor definición espacial.

Se muestra que la vulnerabilidad diagnosticada con una aproximación ecológica puede ser traducida sin problemas a términos más operativos que plantea la gestión del riesgo, y enlazarse con procesos de gestión del espacio litoral, encontrándose en ese proceso las aristas sociales de la vulnerabilidad.

La correspondencia entre conceptos de disturbio y riesgo planteados, y el enlace con la gestión, son compatibles con aproximaciones ingenieriles que modelan la interacción entre (1) agentes de peligro (*e.g.* viento, oleaje, o mareas de tormenta), (2) rasgos físicos, biológicos y sociales de la costa que los reciben, y a los cuales se asocia el vocablo vulnerabilidad y (3) las acciones y/o diseños que pueden disminuir los efectos dañinos de la interacción (Mendoza *et al.*, 2006).

Entendemos que la correspondencia señalada arriba obedece a que ambas aproximaciones plantean la vulnerabilidad con una perspectiva de concepto más que de definición, y un concepto determina todo lo que puede incluir una palabra, mientras que las definiciones determinan todo lo que debe excluir una palabra (Abbagnano, 1961; Fernández-Christlieb, 2004). En estos casos el concepto de vulnerabilidad se mantiene, y eventualmente se asigna el tipo de vulnerabilidad que corresponda, sin redefinir términos.

En cambio, la correspondencia no es tan directa, aunque igualmente posible, con aproximaciones como las del Instituto Nacional de Ecología (INE), que reservan el término fragilidad para los objetos expuestos tangibles del medio natural, y el término vulnerabilidad para los elementos del medio social, incluyendo objetos expuestos tangibles de origen antrópico (INE, 2007). En ese caso, como el enfoque diagnóstico del INE está orientado por el Modelo de Presión-Estado-Respuesta (OECD, 1993) los tipos de vulnerabilidad de los objetos expuestos tangibles pueden tratarse como indicadores de estado del medio físico-biótico (fragilidad) y del medio social (vulnerabilidad). Un poco más difícil es la correspondencia con aproximaciones que desdoblan y redefinen términos tales como vulnerabilidad, fragilidad, y sensitividad, sin necesariamente añadir operatividad (Malvárez-García *et al*., 2000; Zacharias y Gregr, 2004; Walter *et al*., 2004; Cooper, 2005).

El planteamiento que ofrecemos podría ser difícil de operar en la vida real, dado que la ocupación urbana de la franja litoral es una tendencia mundial muy establecida (que en la región se manifiesta de modo vertiginoso) y porque la conservación del elenco de playeros migratorios no podría competir ni como argumento ni como prioridad frente al desarrollo urbano. Sin embargo, las predicciones visualizadas desde la óptica de los playeros han ayudado a identificar segmentos de la costa en los que los efectos serían más severos si los ambientes no pudieran progradar, ya sea por topografía abrupta o por presencia de estructuras bloqueadoras, lo cual automáticamente advierte sobre desaciertos en la elección de muchos de los usos establecidos (Galbraith *et al*., 2005) que a su vez, impondrían nuevas causales para la consolidación de otros escenarios de riesgos (Mustin *et al.,* 2007; Vinchon *et al.,* 2009).

Sugerencias y recomendaciones

Los profesionales costeros (Clark, 1998) pueden encontrar atractivos nuestros resultados, que a partir de datos sobre un segmento muy emblemático del medio natural, como son los playeros, van enlazando ordenadamente el ámbito de la gestión, con equivalencias rastreables. En ese enlace, una vez identificada la amenaza o peligro, los pasos recomendables serían la iden-

tificación de objetos expuestos tangibles, y la proyección de la gestión, asignando al término vulnerabilidad la acepción más amplia, que puede refinarse en sucesivas aproximaciones.

Nuestra lectura de la gestión del riesgo no es la más convencional, ya que habitualmente se considera intervenir sobre la amenaza como alternativa principal para reducir el riesgo, con lo cual, en caso de amenazas naturales, se abusa de su inevitabilidad y se soslaya la responsabilidad social de reducir la vulnerabilidad. En cambio, aquí se sugiere que un adecuado diagnóstico de las fuentes de vulnerabilidad habilita una lectura más integral del escenario de riesgo-disturbio, derivando estrategias de gestión más realistas y responsables.

Agradecimientos

Reconocemos a M. Mondragón (CICESE) la diligente confección de tablas y figuras, a G. Chávez (INAH-BC) las sugerencias para mejorar la figura 3, y a J. Serrano (Ciencias Marinas, UABC) los atinados comentarios al primer manuscrito.

Literatura citada

Abbagnano N., 1961. Diccionario de Filosofía. Fondo de Cultura Económico, México.

Bricker O., y M. Ruggiero, 1998. Toward a nacional program for monitoring environmental resources. *Ecological Applications,* 8 (2):362-329.

Cardona OD., 1993a. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad, y el riesgo, elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo. p. 51-74. En: A. Maskrey (comp.). Los Desastres no son Naturales. La Red-ITDG, Colombia.

Cardona OD., 1993b. Manejo ambiental y prevención de desastres. p. 75-93. En: A. Maskrey (comp.). Los Desastres no son Naturales. La Red-ITDG, Colombia.

Cardona OD., 2001. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Disponible en www.desenredando.org/public/articulos/index.html.

Ceseña C., 1990. Fotografía aérea escala 1:9 500 Puerto de Ensenada, B.C. México. Archivos personales, 1990.

Clark JR., 1998. Coastal Seas, the Conservation Challenge. Blackwell Science, Oxford.

Connell J.H., 1978. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science,* 199:1302-1310.

Contreras-Motolinía, R., 1999. Exploración del modelo de estructura jerárquica del ambiente (Kolasa, 1989) en la zona costera del Pacífico de Baja California, México. Tesis de Maestría, Departamento de Ecología, CICESE, México.

Cooper MJP., MD. Beevers, y M. Oppenheimer, 2005. Future sea level rise and the New Jersey coast, assessing potential impacts and opportunities. Disponible www.princeton.edu/~cmi/news/Future%20of%20Sea%20Level%20Rise%20and%20the%20New%20Jersey%20Coast.pdf.

Croonquist M., y R. Brooks, 1991. Use of avian and mammalian guilds as indicators of cumulative impacts in riparian-wetland areas. *Environmental Management,* 15 (5):701-714.

Daniels RC, TW. White, y KK. Chapman, 1993. Sea-level rise: destruction of threatened and endangered species habitat in South Carolina. *Environmental Management,* 1993; 17(3): 373-385.

Dethier MN., 1984. Disturbance and recovery in intertidal pools: maintenance of mosaic patterns. *Ecological Monographs,* 54: 99-118

Dethier MN., 1992. Classifying marine and estuarine natural communities: an alternative to the Cowardin System. *Natural Areas Journal,* 12 (2):90-100.

Doornkamp JC., 1998. Coastal flooding, global warming and environmental management. *Journal of. Environmental Management,* 52:327-333.

Escofet A., 1989. Ecología aplicada en Baja California. p. 285-318. En: J. de la Rosa-Véleza y F. González-Farías (eds.). Temas de Oceanografía Biológica en México. Ensenada.

Escofet A., 1994. Evaluación de hábitat y de fuentes de disturbio. p. 497-525. En: G. de la Lanza-Espino y C. Cáceres-Martínez (eds.) Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano. UNAM-UABC, México.

Escofet, A., 2004. Aproximación conceptual y operativa para el análisis de la zona costera de México: un enfoque sistémico-paisajístico de multiescala. Tesis de Doctorado, Fac. Ciencias Marinas, UABC. Ensenada, Baja California, México.

Fernández-Christlieb P., 2004. La sociedad mental. Anthropos, México.

Galbraith H, R. Jones, R. Park, J. Clough, S. Herrod-Julius, B. Harrington, y G. Page, 2005. Global climate change and sea level rise: potential losses of intertidal habitats for shorebirds. Disponible en www.treesearch.fs.fed.us/pubs/32117.

Hays R., C. Summers, y W. Seitz, 1981. Estimating wildlife habitat variables. Fish and Wildlife Service, US Department of the Interior, Washington. DC.

Hernández-Leonel, ML., 2005. La fauna de fondos blandos en el corredor costero Tijuana-El Rosario (BC, México): un análisis de la comunidad. Tesis de Maestría en Ecología Marina. CICESE. Ensenada, BC. 2005.

Holling CS., 1973. Resilience and stability in ecological systems. *Ann. Rev. Ecol. Syst.,* 4:1-23.

Instituto Nacional de Ecología (INE), 2007. Términos de referencia generales para el Programa de Ordenamiento Ecológico de la región costero terrestre del Golfo de México y Mar Caribe.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 1981a. Cartas topográficas. Escalas 1:250 000 y 1:50 000. Secretaría de Programación y Presupuesto.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 1981b. Carta de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Secretaría de Programación y Presupuesto.

Jacobs J., 1975. Diversity, stability and maturity in ecosystems influenced by human activities. p. 187-207. En: W. H. van Dobben & R. H. Lowe-McConnell (eds.). Unifying Concepts in Ecology. Dr W. Junk B. V. Publishers, The Hague.

Keddy PA., 1991. Working with heterogeneity an operator´s guide to environmental gradients. p. 181-201 En: J. Kolasa y STA. Pickett (eds). Ecological Heterogeneity. Springer-Verlag, New York.

Kolasa J.,1989. Ecological systems in hierarchical perspective: breaks in community structure and other consequences. *Ecology*, 70 (1):36-47.

Kolasa J., y STA. Pickett, 1991. Ecological Heterogeneity. Springer-Verlag, New York, 1991.

Krebs J., 1994. Ecology, the Experimental Analysis of Distribution and Abundance (fourth edition) Addison Wesley Longman Inc, USA.

Lavell A, y M. Argüello, 2003. Gestión del riesgo: un enfoque prospectivo. Colección Cuadernos de Prospectiva 3, PNUD.

Le V. dit Durell SEA., RA. Stillman, RWG. Caldow, S. McGrorty, AD. West, y J. Humphreys, 2006. Modelling the effect of environmental change on shorebirds: A case study on Poole Harbour, UK. *Biological Conservation,* 131(3):459-473.

López-Uriarte E., A. Escofet, E. Palacios, y S. González, 1997. Migrant shorebirds at sandy beaches located between two major wetlands on the Pacific coast of Baja California (México). *Natural Areas Journal ,* 17 (3):212-218.

Malvárez-García G., J. Pollard, y R. Domínguez-Rodríguez, 2000. Origins, managemente and measurement of stress on the coast of southern Spain. *Coastal Management,* 28: 215-234

Mendoza E., JL. Quiñone, y R. Silva, 2006. Estudio experimental de la forma estable de diques rompeolas. XIV Congreso Nacional de Oceanografía, Manzanillo, Col. México.

Mustin K., WJ. Sutherland, y JA Gill, 2007. The complexity of predicting climate-induced ecological impacts. *Climate Research,* 35: 165-175.

Odum EP.,1986. Fundamentos de Ecología. Nueva Editorial Interamericana, México DF.

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), 1993. OECD core set of indicators for environmental performance reviews. Environment Monographs, 83 p.

Orians GH. 1975. Diversity, stability and maturity in natural ecosystems. p. 139-148. En: W. H. van Dobben & R. H. Lowe-McConnell (eds.). Unifying Concepts in Ecology. Dr W. Junk B. V. Publishers, The Hague.

Palacios E., A. Escofet A, y DH. Loya-Salinas, 1991. El estero de Punta Banda, Baja California, México, como eslabón del "Corredor Migratorio del Pacífico": abundancia de aves playeras. *Ciencias Marinas,* 17 (3):109-131.

Pineda J., y A. Escofet, 1989. Selective effects of disturbance on populations of sea anemones from northern Baja California, México. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* 55:55-62.

Pianka E., 1978 Evolutionary Ecology (2nd edition) Harper & Row Publishers, NY.

Ray GC., y BP. Hayden, 1992. Coastal zones ecotones. p. 403-420. En: AJ Hansen, y F di Castri (eds.). Landscape Boundaries, consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows. Springer-Verlag, NY

Ricklefs R., 1990. Ecology (3rd edition). W. H. Freeman and Company, NY.

Rykiel EJ., 1985. Toward a definition of ecological disturbance. *Australian Journal of Ecology,* 10:361-365.

Souza WP., 1984. The role of disturbance in natural communities. *Ann. Rev. Ecol. Syst.,* 15: 353-391.

Titus JG., y Ch. Richman, 2001. Maps of lands vulnerable to sea level rise: modelled elevations along the US Atlantic and Gulf coasts. *Climate Research,* 18: 205-228.

Turner RK., S. Subak, y WN. Adger, 1996. Pressures, trends, and impacts in coastal zones: interactions between socioeconomics and natural systems. *Environmental Management*, 20 (2):159-173.

Vinchon C., S. Aubie, Y. Balouin, L. Closset, M. Garcin, D. Idier, y C. Mallet, 2009. Anticipate response of climate change on coastal risk at regional scale in Aquitaine and Languedoc Roussillon (France). *Ocean and Coastal Management,* 52:47-56.

Walter B., CS. Holling, SR. Carpenter, y A. Kinzig, 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9 (2): 5. Online www. ecologyandsociety.org.vol9/iss2/art5/.

Westman WE., 1978. Measuring the inertia and resilience of ecosystems. *BioScience,* (11): 705-710.

Wilches-Chaux G., 1993. La vulnerabilidad global. p. 9-50. En: A. Maskrey (comp.). Los Desastres no son Naturales. La Red-ITDG, Colombia.

Zacharias MA., y EJ. Gregr, 2004. Sensitivity and vulnerability in marine environments: an approach to identifying vulnerable marine areas. *Conservation Biology,* 19(1):86-97.

Padilla Souza, C., H. Alafita-Vásquez, y E. Andreu-Montalvo, 2010. Factores de riesgo para los arrecifes coralinos y sus mecanismos de respuesta ante los efectos del cambio climático global, p. 181-204. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Factores de riesgo para los arrecifes coralinos y sus mecanismos de respuesta ante los efectos del cambio climático global

Claudia Padilla Souza, Héctor Alafita-Vásquez y Erika Andreu-Montalvo

Resumen

Los arrecifes coralinos son ecosistemas complejos, interrelacionados con ambientes terrestres y marinos, que se encuentran seriamente amenazados por los efectos del cambio climático que han estado alterando su estructura y funcionamiento. Además, estos ambientes están expuestos a una serie de factores de riesgo generados a una escala local y regional, principalmente derivados de actividades antrópicas, los cuales incrementan su vulnerabilidad e impiden el desarrollo de mecanismos de adaptación ante un ambiente cambiante. Esta situación evidencia la urgente necesidad de realizar ajustes en las estrategias y objetivos tradicionales de conservación para los ambientes arrecifales, siendo importante que se implementen medidas de manejo regionales y locales con una visión holística e integradora. Bajo este precepto, se establece un nuevo paradigma para la conservación de los arrecifes coralinos, el cual consiste en diseñar e implementar estrategias de adaptación al cambio climático global, a través de fortalecer la resiliencia en estos ambientes, permitiendo que sus mecanismos de respuesta naturales actúen para adecuarse al cambio. Con esta intención se propone una estrategia para la conservación de los arrecifes coralinos, que incluye la integración de iniciativas a distintos niveles de acción, enfocada a mantener, conservar e incrementar la resiliencia de estos ambientes. Esta propuesta considera diversas herramientas de manejo las cuales, a través de un proceso integrador, permitirán orientar la toma de decisiones, tanto para el desarrollo como para la conservación, logrando introducir la variable ambiental como criterio primordial. El éxito de esta estrategia estará en función de la medida en que los manejadores de recursos y los

tomadores de decisiones impulsen de manera formal este tipo de iniciativas, en plazos que permitan alcanzar objetivos tangibles y con resultados inmediatos, para hacer frente al cambio climático que sufre nuestro planeta.

Introducción

Los arrecifes de coral son ecosistemas complejos en su estructura y funcionamiento, se encuentran formados por la acumulación de carbonato de calcio que secretan y depositan los organismos que lo habitan. Los corales escleractinios son considerados los constructores primarios por su contribución a la acreción de la estructura arrecifal, a través de la acumulación de sus esqueletos (Schumacher y Zibrowius, 1985), aunque la contribución de muchos otros organismos es indispensable como material de relleno y cementante (Guilcher, 1988). Considerando lo anterior, los arrecifes son verdaderos depósitos de origen biogénico (Wells, 1954), por lo que actualmente, son empleados con éxito para la reconstrucción de condiciones ambientales del pasado reciente (Villaescusa y Carriquiry, 2004; Caderón-Aguilera *et al.*, 2007).

En México, los arrecifes se distribuyen en cuatro áreas principales: Pacífico (sur del Golfo de California hasta Oaxaca y las islas Revillagigedo), donde las condiciones ambientales son desfavorables para su desarrollo; suroeste del Golfo de México (Sistema Arrecifal Veracruzano y los arrecifes de Tuxpan y Lobos), con fuerte influencia terrígena por la desembocadura de ríos; sonda de Campeche, son arrecifes que se desarrollan en un ambiente oceánico; y Caribe Mexicano (costa oriental de la península de Yucatán, incluyendo islas y banco Chinchorro), siendo un área en donde se ha llevado a cabo un alto desarrollo costero.

De estos arrecifes, los del Golfo de México y Mar Caribe son los más reconocidos por su nivel estructural e importancia económica y ecológica, íntimamente asociada a la amplia plataforma continental de la cuenca del Caribe Mexicano, siendo generadores de una gran variedad de bienes y servicios, tanto ambientales como productivos. Desde el punto de vista biológico, los arrecifes han sido considerados los ecosistemas más diversos, productivos y complejos del medio marino, comparados en el medio terrestre con las selvas altas perennifolias (Connel, 1978), que proporcionan refugio, alimentación y zonas de reproducción a una gran cantidad de especies, dentro de las que se encuentran recursos de alto valor comercial. Por otro lado, los arrecifes sirven de protección a la costa de la acción del oleaje, tormentas y huracanes, además de que son formadores de las playas arenosas. Aunado a lo anterior, los arrecifes tienen gran importancia en la generación de condiciones óptimas para el desarrollo de ambientes asociados a ellos, tales como manglares, comunidades de pastos marinos y dunas costeras, existiendo entre estos ecosistemas relaciones ecológicas muy importantes, especialmente de intercambio de nutrientes y biomasa, ya que gran número de animales del arrecife tienen sus etapas larvarias en las praderas de pastos y en el manglar (Mumby *et al.*, 2004).

Ahora bien, si consideramos la ubicación de estos arrecifes, es posible aseverar que se encuentran en algunas de las zonas de mayor importancia económica a nivel nacional, relacionándose así con las actividades productivas básicas para el desarrollo del país tales como el turismo. De

acuerdo a datos de la Secretaría de Turismo, en el periodo de 1998 al 2007, las zonas turísticas de Quintana Roo presentaron un incremento en la afluencia turística del orden de 173%, de modo que esta actividad económica representa, después de la industria petrolera, la más importante generación de divisas del país. Sin duda, el éxito del turismo como actividad altamente productiva está directamente asociado a la existencia de los arrecifes de coral ya que, además de ser un atractivo por su alto valor paisajístico y para el desarrollo de actividades acuáticas, son los responsables de la presencia de arena en estos destinos turísticos.

Desgraciadamente, en la actualidad los arrecifes de coral se encuentran seriamente amenazados por el cambio climático que ocurre a nivel mundial, el cual afecta por igual a ecosistemas terrestres y marinos. La emisión de gases de efecto invernadero es considerada la causa principal al producir cambios en la atmósfera que modifican las condiciones normales del aire y del agua, alterando de esta manera el clima global y con ello el balance ecosistémico. Justo en la zona de intercambio entre las zonas marinas y terrestres se encuentran ubicados los arrecifes de coral, los cuales interactúan tanto con los elementos provenientes de los grandes océanos, como con aquellos que llegan de las masas continentales, lo que los convierte en ecosistemas indicadores del funcionamiento de las condiciones ambientales del mar y la tierra. A pesar de que el cambio climático representa una de las mayores amenazas para los arrecifes, éstos cuentan con mecanismos de regulación ambiental, los cuales son estrategias de adaptación que surgen de procesos evolutivos, que les permiten hacer frente a las adversidades del entorno; entre estas herramientas se encuentran la resistencia y la resiliencia (Grimsditch y Salm, 2006). Esta capacidad evolutiva, generada a través de 250 millones de años, les brinda la posibilidad de adaptarse y recuperarse de daños directos e indirectos; sin embargo, la celeridad e intensidad con la que actualmente se está alterando el patrón ambiental pone en riesgo su capacidad de respuesta, la cual compromete su estabilidad ecosistémica, y con ella los bienes y servicios ambientales que proporcionan.

Aunado a los procesos y alteraciones generados por el Cambio Climático Global (CCG) existen factores de presión de escala local y regional, que no sólo alteran las condiciones ambientales óptimas de los arrecifes de coral, sino que incrementan su estrés ambiental impidiéndoles desarrollar o implementar de manera efectiva sus mecanismos de regulación y adaptación. Estos factores se vinculan de manera directa con actividades antrópicas, que no necesariamente obedecen a procesos del CCG, pero que en conjunto y de manera sinérgica incrementan la fragilidad de estos ecosistemas y dificultan sus procesos adaptativos.

Por todo lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo establecer los elementos necesarios para el desarrollo de una franca discusión y análisis de las estrategias que permitan estimular los mecanismos de resistencia y resiliencia de los arrecifes, a través de la comprensión de los efectos generados tanto por el CCG, así como por los factores antrópicos que afectan su capacidad de respuesta, generando de este modo una estrategia de conservación de los arrecifes coralinos ante el CCG.

Factores de riesgo para los arrecifes coralinos

Los arrecifes coralinos, al ser ecosistemas altamente especializados, resultan vulnerables a los cambios y alteraciones del medio en el que se desarrollan, ya que su distribución está condicionada a parámetros específicos y estables (Goreau *et al.*, 1979). Paradójicamente, estos ambientes se desarrollan en zonas altamente dinámicas, en donde converge una interacción entre agentes de origen terrestre con los propios de la zona marina, de modo que las fuerzas ambientales que actúan en la zona costera determinan en gran medida los factores de riesgo a los que están expuestos. Por una parte, la cuenca costera representa una influencia directa a través de los flujos hidrológicos superficiales y subsuperficiales, mientras que la parte marina interactúa con los flujos energéticos representados por las corrientes oceánicas, de tal modo que ambas regiones representan un aporte de factores de riesgo que alteran directa o indirectamente las condiciones ambientales óptimas en las que se desarrollan estos ambientes (figura 1).

Esta interacción de ambientes y flujos energéticos que determinan la función y estructura de los arrecifes coralinos se ha visto seriamente alterada por los efectos del cambio climático global. Ante esta situación, resulta importante connotar la actuación espacial de los factores y elementos de riesgo a los cuales están expuestos estos ambientes, por lo que para el presente estudio se consideraron dos estrategias para su análisis, enfocadas a facilitar la clasificación de los factores de riesgo con fundamento en sus ámbitos de acción geográfica y en el nivel de detalle que caracteriza el alcance de cada visión.

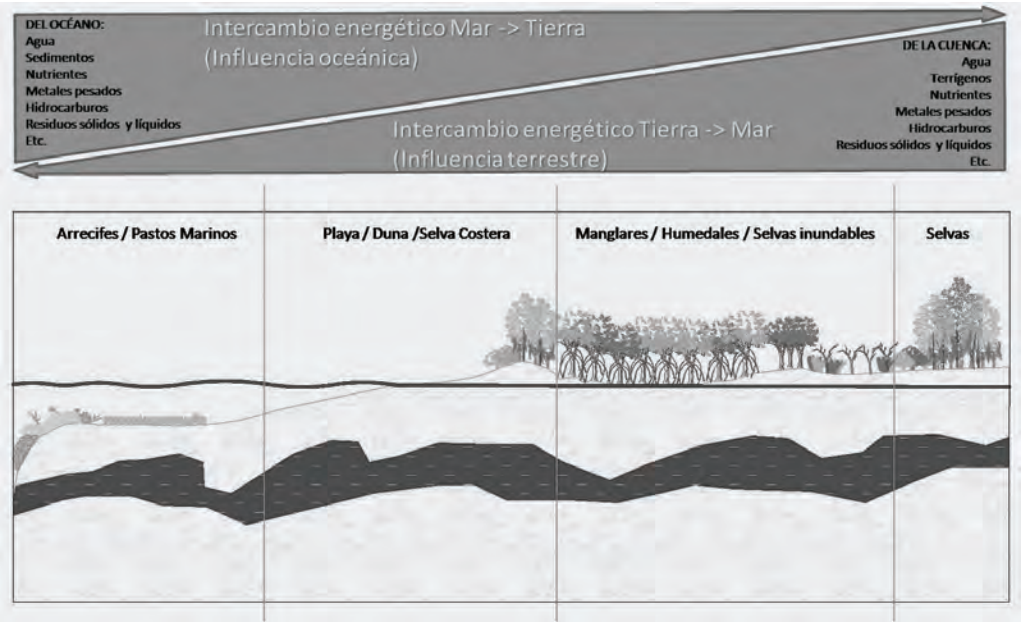


Figura 1. Ejemplificación de las fuerzas y elementos ambientales que interactúan con los arrecifes coralinos en la zona del Caribe Mexicano.

Análisis regional / global

Indiscutiblemente, el factor de riesgo más importante desde el punto de vista global para los arrecifes es el cambio climático, el cual ejerce una fuerte presión ocasionando diversas alteraciones (Buddemeier *et al.*, 2004; Hughes *et al.*, 2003). El aumento de la temperatura del océano (Berkelmans y Oliver, 1990), y el incremento en la frecuencia e intensidad de eventos climatológicos extremos como el fenómeno de "El Niño" (Glynn, 1988), son las principales causas de una mayor superficie de comunidades coralinas afectadas por eventos masivos de blanqueamiento. El aumento en las tasas de precipitación produce una fuerte degradación por una mayor descarga de sedimentos en el océano, que origina también cambios en la salinidad del agua marina (Lirman, 2003). La elevación en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera modifica la composición química marina acidificándola, lo cual afecta el crecimiento de organismos constructores de arrecife al debilitar su estructura (Gattuso *et al.*, 1998; Kleypas *et al.,* 1999. El aumento del nivel medio del mar disminuye la disponibilidad de luz para las comunidades arrecifales altamente dependientes de procesos fotosintéticos.

Este tipo de alteraciones son ampliamente documentadas para los arrecifes de todo el mundo; sin embargo, es importante reconocer que el conocimiento técnico–científico de los mecanismos bajo los cuales operan estos factores es aún incipiente. Esta realidad, aunada a la complicación de implementar estrategias de alcance global, hace que la atención de esta problemática ambiental resulte francamente difícil, con lo que se incrementa la incertidumbre y una falta de objetividad en la toma de decisiones orientadas a la conservación de los arrecifes coralinos.

Visión local / regional

Otro tipo de factor de riesgo para los arrecifes coralinos tiene un alcance más bien regional o local y en su mayoría son ocasionados por acciones antrópicas (Mora, 2008). Las perturbaciones que ocurren a este nivel son ampliamente reconocidas en el ámbito de la conservación de los recursos naturales y durante la evaluación del impacto ambiental, tales como la expansión de las fronteras urbanas, agrícolas e industriales (Jones, 2005; Lipp *et al.*, 2002), el desarrollo no planificado de las zonas costeras (Yañez-Arancibia *et al.,* 1996), las actividades turísticas y de navegación (Esslemont, 1999; Rouphael y Inglis, 2000; Zakai y Chadwick-Furman, 2002), y las actividades extractivas y pesqueras (Padilla, 2000; Pikitch *et al*., 2004).

Estos factores, en términos generales no están directamente relacionados con el CCG, pero pueden interactuar de manera sinérgica al incrementar el grado de vulnerabilidad de las poblaciones coralinas (Gardner *et al.,* 2003; Hughes *et al.*, 2003; Bellwood *et al.*, 2004). Esta situación genera un cambio en el patrón de estrés crónico y constante al cual están sometidos estos ambientes (Buddemeier *et al*., 2004), lo que dificulta el desarrollo de los mecanismos de regulación que normalmente operan en los organismos y en las comunidades para adaptarse y recuperarse.

A pesar de esto, las comunidades coralinas han demostrado ser capaces de recuperarse tras algún efecto que cause daño y mortalidad esporádica como son los huracanes (Manzello *et al.*,

2007), así como tolerar factores de estrés constantes como puede ser la descalcificación (Fine y Tchernov, 2007). Sin embargo, a pesar de los diversos mecanismos de recuperación de estos ecosistemas, su condición actual es francamente preocupante. Un estudio reciente calificó el estado de salud de las comunidades coralinas del Sistema Arrecifal Mesoamericano. Reporta que en el Caribe Mexicano 50% de los sitios evaluados se encuentran en mal estado, mientras que 37% fue calificado como regular; solo 6% fue considerado en buen estado de salud, mientras que 7% se determinó en estado crítico, sin tener un solo sitio en excelente estado de salud (McField & Kramer-Richards, 2007; Healthy Reefs Initiative, 2008).

Mecanismos de respuesta de los arrecifes coralinos ante el cambio

La compleja interacción de factores de riesgo que actualmente tienen que soportar los arrecifes coralinos ha generado modificaciones importantes en su estructura y en sus funciones, de tal modo que se pueden causar cambios de fase relativamente rápidos entre estados ecológicos de equilibrio, cuando ciertos umbrales de tolerancia son rebasados (Nyström *et al.*, 2000). Por ejemplo, en el Caribe los arrecifes coralinos están experimentando un cambio importante en la dominancia de corales a macroalgas desde la década de los 80, debido a una combinación de factores que incluyen la sobrepesca de peces herbívoros claves y la adición antropogénica de nutrientes al mar (Knowlton, 1992).

Sin embargo, los arrecifes coralinos son ecosistemas complejos, tanto en su estructura, como en su función, en donde se establecen flujos de energía intrincados entre los diferentes componentes bióticos a través de los variados procesos fisiológicos que ocurren en este ambiente. Estas características confieren cierta estabilidad y equilibrio al ecosistema, lo cual permite la existencia de mecanismos de respuesta y estrategias adaptativas para enfrentar situaciones de riesgo (Begon *et al.,* 1990).

Bajo estas consideraciones se esperaría que, de manera ideal, los arrecifes coralinos pudieran ser capaces de resistir la acción de ciertos factores de riesgo, o de recuperarse de los daños que se hayan originado. Como se comentó con anterioridad, estas respuestas para afrontar los cambios ocurren a través de dos mecanismos: la resistencia, entendida como la capacidad de un ecosistema para aguantar o soportar cambios; y la resiliencia, que es la habilidad que posee para recuperarse del cambio (Grimsditch y Salm, 2006). En términos de la estructura y estabilidad de una comunidad, la resiliencia describe la velocidad con la que una comunidad regresa a su estructura original después de que ha sido perturbada y desplazada de ese estado, mientras que la resistencia se refiere a la capacidad que tiene para evitar el desplazamiento de ese estado (Begon *et al.,* 1990). Ante esta perspectiva, la medida en que un ecosistema arrecifal posea características para que estos mecanismos de defensa y respuesta puedan actuar, determinará su destino ante la compleja interacción de cambios a la que actualmente se encuentran expuestos (Hansen & Biringer, 2003).

Resistencia

Considerando el blanqueamiento, que es uno de los efectos más severos y extendidos que provoca el cambio climático global en los arrecifes coralinos de todo el mundo, la resistencia se hace evidente cuando la mortalidad ocurrida no representa un cambio significativo en la dinámica poblacional de las especies que la hayan presentado, lo cual evita un posible cambio de fases en el ecosistema. Esta resistencia puede lograrse mediante 2 mecanismos: la tolerancia y la evasión (Grimsditch y Salm, 2006).

La tolerancia se refiere a las propiedades fisiológicas actuales de los corales que les permiten evitar la expulsión de las algas simbiontes (zooxantelas), aún bajo condiciones de estrés. Uno de los mecanismos es a través de la aclimatación, en donde se presentan cambios fenotípicos para ajustar sus niveles de tolerancia (Brown *et al.*, 2000). Incluso, el blanqueamiento ha sido planteado como un mecanismo evolutivo de adaptación a altas temperaturas (Buddemeier y Fautin, 1993), al considerar que los corales expelen las zooxantelas con la finalidad de reemplazarlas con otras más resistentes. Esta hipótesis ha sido apoyada con experimentos de transplantes (Baker, 2001), aunque otros expertos consideran que no necesariamente es una respuesta evolutiva, sino una aclimatación fenotípica (Hughes *et al.,* 2003). Sin embargo, lo que probadamente existe es una diferencia en la respuesta de las zooxantelas a la radiación UV y al calor, siendo que algunos clados son más resistentes que otros (Baker, 2001; Fabricius *et al.*, 2004). Del mismo modo, diferentes especies y morfologías de las colonias varían en su tolerancia al blanqueamiento (Obura, 2005), siendo que especies ramificadas de crecimiento rápido (*e.g. Acropora*, *Pocillopora*) sufren mortalidades por blanqueamiento más altas que especies masivas de crecimiento lento (*e.g. Montastrea*) (Marshall y Baird, 2000).

Por otro lado, la evasión se refiere a factores oceanográficos o ambientales que crean espacios en donde las condiciones de perturbación son reducidas o nulas (Salm *et al.,* 2001; West y Salm, 2003; Obura, 2005) y tienen que ver más con su ubicación geográfica. Estos pueden ser movimientos de las masas de agua, ya sean originados por eventos de surgencia (Merino, 1997), o fuertes corrientes (West *et al.*, 2003), o presentar algún tipo de protección como la sombra de rocas emergentes o islas, así como el reflejo de la radiación UV por partículas suspendidas como en sitios turbios (Goreau *et al.,* 2000).

En un sentido más amplio, la resistencia de un ecosistema marino es menor cuando la redundancia ecológica es baja, es decir cuando especies claves que juegan un cierto papel ecológico no pueden ser reemplazadas por otras especies dentro del ecosistema (Palumbi *et al.*, 2008). De esta manera, un arrecife coralino que ha estado expuesto a impactos antropogenicos, como pudiera ser la remoción de depredadores mayores por efecto de la pesca, pueden reducir dramáticamente su redundancia ecológica y por tanto alterar su capacidad como ecosistema para resistir un cambio ecológico provocado por factores ambientales globales. Siendo así, la diversidad presente en un ecosistema se relaciona con esta redundancia ecológica, de modo que entre mayor sea la diversidad de especies, de ambientes, de grupos funcionales, de estrategias reproductivas, mayor es la probabilidad de que un ecosistema resista los efectos de una perturbación.

Resiliencia

En el caso de los arrecifes coralinos, la resiliencia se refiere a la capacidad de absorber los cambios o de recuperase de perturbaciones, manteniendo sus funciones y servicios primordiales (Grimsditch y Salm, 2006). Así, un arrecife que tiende a regresar al mismo estado, incluso después de perturbaciones fuertes tiene alta resiliencia, mientras que uno que cambia a otro estado posee baja resiliencia.

Ciertos factores pueden incrementar la resiliencia de un arrecife coralino, tanto a escala ecológica como espacial (Obura, 2005). Los factores de resiliencia ecológica son propiedades presentes dentro de los límites espaciales de un ecosistema; mientras que los factores de resiliencia espacial se extienden más allá de los límites del ecosistema, y comprenden funciones y procesos de mayor escala.

El principal factor ecológico que afecta la resiliencia de los arrecifes coralinos es la existencia de una diversidad funcional balanceada dentro del arrecife (Gray, 1997), para lo cual es necesario tener una comunidad con una interacción de especies suficiente para recuperase de perturbaciones (Nyström y Folke, 2001). Un grupo funcional importante para la resiliencia de los arrecifes coralinos son animales forrajeadores, incluyendo peces herbívoros y erizos entre otros. Ellos incrementan la resiliencia de un arrecife al prevenir el cambio de fases de arrecifes dominados por coral a arrecifes dominados por algas al mantener un control sobre el crecimiento algal, lo cual permite el asentamiento de reclutas de corales de lento crecimiento en vez de algas de rápido crecimiento (Nyström *et al.,* 2000). Otros grupos funcionales importantes que contribuyen a la resiliencia en los arrecifes son los corales duros y las algas coralinas responsables de la construcción de la estructura arrecifal, especies que se mueven entre hábitats incrementando la conectividad y sus áreas de soporte como los pastos marinos y los manglares, así como depredadores que previenen la dominancia de especies, y organismos que facilitan el asentamiento de larvas como bacterias, diatomeas y algas coralinas (Grimsditch y Salm, 2006). Esta diversidad funcional y las interacciones ecológicas que se establecen entre ellos confieren equilibrio y estabilidad al arrecife y por ende mayor resiliencia. Sin embargo este equilibrio es frágil y altamente vulnerable a perturbaciones, ya sean de efecto local o global, lo que ocasiona una pérdida o reducción de esta resiliencia.

Un factor espacial importante para la resiliencia de los arrecifes coralinos es la conectividad dentro y entre arrecifes. Poblaciones grandes de coral y descargas de larvas crean alta diversidad genética que es crucial para resiliencia en contra de la perturbación (Nyström y Folke, 2001). Las larvas poseen un movimiento limitado, pero son acarreadas por las corrientes, de manera que pueden viajar grandes distancias, manteniendo interconectados arrecifes distantes (Chia *et al.,* 1984). En este sentido, arrecifes con alta diversidad de corales sanos que funcionan como donadores resultan fundamentales para mantener la diversidad genética y resiliencia de los arrecifes receptores. Por ello, entender los patrones de corrientes, así como los de dispersión larval y conectividad son esenciales para la creación de redes de Áreas Marinas Protegidas (AMP) coherentes. Un aspecto importante que determina el rango en el cual se establece esta conectividad es el mecanismo de reproducción, ya que la reproducción asexual que presentan

algunas especies a través de la formación de fragmentos tiene un aporte local (Highsmith, 1980; Bak y Criens, 1981; Bothwell, 1981), mientras que la reproducción sexual implica una dispersión de larvas hacia otros arrecifes (Babcock y Heyward, 1986; Carlon y Olson, 1993; Fadlallah, 1983). En este último caso, la disponibilidad de sustratos apropiados para el asentamiento de larvas también es esencial para mantener la conectividad (Richmond, 1993).

Otro factor espacial de resiliencia es el que se refiere a un posible cambio de rangos geográficos, que se sustenta en las variaciones de la extensión y distribución que han presentado los arrecifes en el pasado geológico (Buddemeier *et al.,* 2004). Por tanto, existe la posibilidad de que los cambios globales en el clima puedan promover el crecimiento de arrecifes coralinos en áreas marginales, a través de una migración de constructores arrecifales hacia latitudes mayores. Sin embargo, habría que considerar que los corales actuales tendrían que asentarse y sobrevivir en áreas impactadas por actividades antrópicas, por lo que no siempre serían adecuadas para la colonización (Hughes *et al.*, 2003).

Estrategias de conservación de los arrecifes coralinos ante el cambio climático

La amenaza que implica el cambio climático global nos sitúa en una realidad que deberá tener fuertes implicaciones en la manera en la que los manejadores de recursos y los tomadores de decisiones gestionen, diseñen e implementen estrategias de conservación. Es un hecho la carencia de información técnica y científica para implementar acciones directas que prevengan y corrijan los daños que estos cambios ocasionan a los arrecifes coralinos; pero dado su inminente deterioro, es necesario y urgente, realizar ajustes a las estrategias y objetivos de conservación, siendo importante implementar medidas de manejo regionales con una visión holística e integradora, en plazos que permitan alcanzar objetivos tangibles y con resultados inmediatos.

Hasta el momento, la mayoría de los organismos internacionales han reconocido la falta de efectividad de los instrumentos de manejo para reducir el impacto del cambio climático global sobre los arrecifes de coral, al no ser suficientes ni adecuados para entender sus procesos, y mucho menos para controlar sus efectos (Samaniego, 2009). Las estrategias que se han implementado para este fin a nivel global han resultado ser poco exitosas, debido a diversos factores que van desde la falta de sincronía geopolítica, necesidades socioculturales específicas, o simplemente diferencias tecnológicas o en la capacidad de respuesta de cada región. Por otro lado, la atención de la problemática ambiental a nivel local y/o regional presenta fuertes deficiencias, en donde las autoridades locales no han sido capaces de consolidar su estrategia de acción, en ocasiones por desconocimiento, pero también por graves procesos de corrupción o grandes presiones políticas.

Ejemplo de esto ocurre en Quintana Roo, en donde existen iniciativas para desarrollar zonas urbanas bajo Planes o Programas de Desarrollo Urbano (PDU) que proyectan un intenso crecimiento poblacional, sin considerar siquiera la capacidad para la prestación de servicios básicos, y mucho menos garantizar la no afectación de los recursos naturales como los arrecifes

a causa de un mal manejo de residuos y agua. De este modo, los PDU estimularán un desarrollo que requiera el uso de 173 mil millones de metros cúbicos de agua al año en esta entidad (Alafita-Vásquez *et al.,* 2008). En otro contexto, existen iniciativas de desarrollo costero enfocado únicamente a ciertos sectores, como el turismo o la explotación petrolera, que carecen de iniciativas de conservación y manejo integrado de los recursos naturales; tal es el caso de Tabasco, Campeche y Veracruz, en donde los proyectos de exploración, extracción y producción de petróleo cuentan con autorizaciones para el manejo de infraestructura en más de 44 000 km^2 (Zárate-Lomelí *et al.*, 2004), con el inminente riesgo de afectación a los arrecifes de coral ubicados en la cuenca marina de esta región.

Con base en lo anterior, se establece que la generación de problemas y soluciones ambientales referentes a los arrecifes coralinos representan una responsabilidad común, pero diferenciada por los actores que intervienen en ella, de tal manera que su atención deberá obedecer a su grado de intervención y ámbito geográfico de aplicación. Siendo así, es posible lograr un marco de participación local con alcances globales, lo que representa una integración realista y objetiva de aportes particulares a la solución de una problemática de alcances mundiales (figura 2).

De esta manera, considerando las características de los instrumentos actuales para contener los efectos del CCG y los factores de riesgo local/regional, se ha establecido un nuevo paradigma en la conservación en arrecifes coralinos, el cual consiste en diseñar e implementar estrategias de adaptación ante el cambio climático, bajo el concepto básico de fortalecer los procesos de resiliencia en estos ambientes, permitiendo que sus mecanismos de respuesta naturales actúen para adecuarse al cambio. Consecuentemente, la recomendación hacia los encargados del manejo radica en la construcción y generación de estrategias de adaptación de los arrecifes al

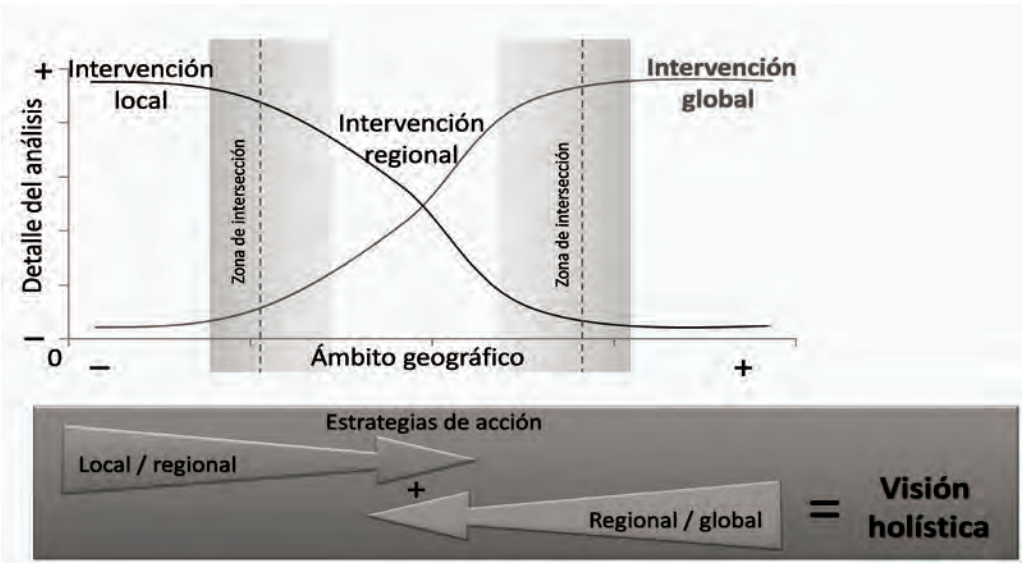


Figura 2. Conceptualización de la estrategia de acción para la atención de la problemática ambiental que a nivel local, regional y global está afectando a los arrecifes de coral.

cambio climático, a través de mantener, reforzar e incrementar la resistencia y la resiliencia de nuestros arrecifes coralinos (NyströM y Folke, 2001; Salm y Coles, 2001; Salm *et al*., 2001; Hanse, 2003; Hansen y Biringer, 2003; Hughes *et al.*, 2003; West *et al*., 2003; Baker *et al*., 2004; Buddemeier *et al.*, 2004; Obura, 2005; Bellwood *et al*., 2006; Grimsditch y Salm, 2006, Palumbi *et al.*, 2008).

De este modo, el compromiso de quienes dictan los lineamientos del manejo de los arrecifes y la zona costera deberá enfocarse a encontrar condiciones adecuadas para permitir que los mecanismos de respuesta naturales que poseen estos ecosistemas actúen para adecuarse a los cambios, mientras que el mundo trabaja para reducir nuestra influencia sobre el cambio climático global (Hansen y Biringer, 2003).

Fortalecimiento de la resiliencia como estrategia para la conservación de los arrecifes coralinos

Derivado del análisis previo se observa que existe una real y urgente necesidad de estimular los procesos de resiliencia y resistencia de los arrecifes coralinos, como una medida paralela y complementaria a las acciones de atención del CCG. En este capítulo se han analizado desde las causas que originan el CCG, hasta estrategias generales que permitan la reducción o mitigación de los daños ocasionados por algunos de los factores de riesgo a estos ecosistemas. Sin embargo, en sentido estricto, se hace necesaria la implementación de herramientas e iniciativas con visión integral e integradora de los diferentes sectores involucrados, para definir diversas estrategias que estimulen la resiliencia de acuerdo a sus características de aplicación. Esto hace posible proponer medidas de prevención, acción, coordinación y seguimiento, de modo que la intervención en este proceso pueda ser dirigido objetivamente. Con fundamento en este razonamiento se propone un esquema conceptual de la estrategia de conservación a través de medidas específicas de atención a estos criterios de aplicación para fortalecer la resiliencia de los arrecifes coralinos (figura 3).

Evaluación Ambiental Estratégica (EAE)

Evidentemente, el proteger, conservar y mejorar la resiliencia de los arrecifes de coral es un proceso complejo y de alcances variados. En México, a pesar de existir una franca evolución en cuanto a estrategias ambientales se refiere, todavía requiere impulsar las estrategias de conservación de una manera intersectorial, máxime en la protección de ecosistemas que, por sus características, representan valores ambientales únicos como son los arrecifes de coral. Considerando lo anterior, se debe resaltar la importancia de los instrumentos de manejo que permiten la conservación y estimulación de la capacidad resiliente de de estos ecosistemas, como es la conformación de redes de Áreas Marinas Protegidas (AMP) y la definición de Sitios de Conservación Estricta (SCE), aunados a las estrategias de protección, los cuales podrán garantizar en gran medida la permanencia de los arrecifes coralinos aún ante los efectos del CCG.

Figura 3. Esquema conceptual de la estrategia de conservación para fortalecer la resiliencia de los arrecifes coralinos. EAE = Evaluación Ambiental Estratégica; MIZC = Manejo Integrado de la Zona Costera; AMP = Áreas Marinas Protegidas y SCE=Sitios de Conservación Estricta. PPP=Políticas, Planes y Programas.

Aunado a lo anterior, la implementación de acciones de integración para el Manejo de la Zona Costera (MIZC), incrementan la certidumbre de éxito en la permanencia de los arrecifes coralinos, sin embargo, bajo una óptica realista de las condiciones socio-políticas del país, se requieren instrumentos de mayor profundidad e integración, que abarquen no solo los aspectos técnicos del manejo y conservación y los aspectos de la problemática urbana, turística, agropecuaria, industrial, etc., sino que incluya la integración de la matriz ambiental a los procesos objetivos de la toma de decisiones, a través de la inclusión de ésta, en el desarrollo de las Políticas, Planes y Programas (PPP), considerando estrategias de la política pública ambiental como es la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y el Ordenamiento Ecológico (OE). De esta manera, el círculo virtuoso de la integración intersectorial en los ámbitos locales y regionales, podría cerrarse en el instrumento correspondiente a la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) (figura 4).

De manera puntual, la Evaluación Ambiental Estratégica es un instrumento diseñado para identificar y evaluar las consecuencias ambientales de la formulación e implementación de Políticas, Planes y Programas (PPP), siendo un proceso sistemático para la toma de decisiones, a la par de las consideraciones económicas y sociales (Sadler y Verhemm, 1996). Es importante mencionar que la EAE reconoce que, por sí mismos, la evaluación de impacto ambiental y el ordenamiento ecológico (y otros instrumentos de política ambiental), no desempeñan un papel relevante en la reducción de problemas ambientales regionales y globales causados por

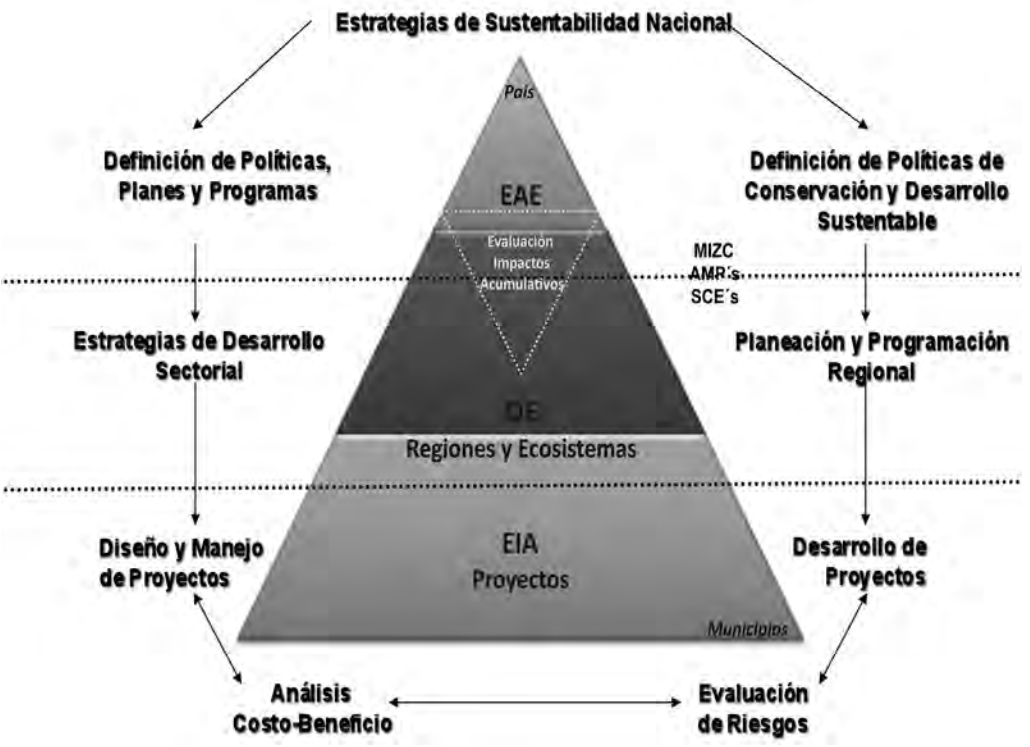


Figura 4. Modelo conceptual de integración de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), la cual incluye dentro de las estrategias de sustentabilidad nacional las AMP, SCE y MIZC. (Modificada de Zárate-Lomelí *et al.*, 2004).

el crecimiento económico, por lo que la evaluación de efectos acumulativos actuales y futuros de PPP no es considerada. De esta manera, la implementación de la EAE a las políticas, planes nacionales y sectoriales de desarrollo, programas sectoriales, acuerdos comerciales, leyes y regulaciones, a un nivel federal, estatal y municipal, permitiría que fueran concebidas con una visión verdaderamente holística, ya que la EAE aplica en todos los niveles geográficos (Zárate-Lomelí *et al.,* 2004).

Bajo esta perspectiva, la EAE permitirá introducir la variable ambiental en el mismo momento en que se elaboran los planes y programas que concretan las políticas de desarrollo, con lo que se podrá –desde un inicio– integrar las acciones necesarias para evitar las alteraciones ambientales que afectan a los arrecifes coralinos. Asimismo, la EAE permitirá evaluar los efectos ambientales de los PPP y proponer medidas y recomendaciones de manejo para integrar de forma efectiva las dimensiones ambientales en el diseño de los mismos y así diseñar sistemas de seguimiento a las medidas de manejo planteadas, permitiendo adoptar medidas complementarias, asegurando la sostenibilidad de los PPP y con ellas, asegurar la permanencia paralela de los arrecifes coralinos.

La importancia de la EAE como instrumento integrador y como herramienta para la toma de decisiones tiene los siguientes atributos (Zárate-Lomelí *et al*., 2004):

- Permite integrar el concepto de sostenibilidad en la definición de los modelos de desarrollo.
- Permite integrar las variables ambientales en las primeras fases de los procesos de toma de decisión de manera que: a) se prevengan complicaciones innecesarias y retrasos en los proyectos, b) se consideren alternativas ambientales y técnicas viables que eviten medidas correctivas costosas y c) se reduzca la oposición pública en las fases de proyecto.
- Permite evaluar los impactos indirectos, acumulativos, sinérgicos y de gran escala (regional o transfronterizos) derivados de la multiplicidad de decisiones (proyectos).
- Permite valorar espacial (unidades ambientales naturales) y temporalmente los impactos indirectos, acumulativos y sinérgicos.
- Permite la consideración de alternativas.
- Permite considerar los impactos globales (cambio climático, efecto invernadero, biodiversidad, contaminación, etc.).
- Permite la integración ambiental con otros instrumentos (EIA, OE, ANP).
- Permite definir los diseños y localizaciones más adecuadas para determinados tipos de actuaciones y evaluar los efectos agregados de múltiples actividades y actuaciones al nivel más adecuado.
- Permite coordinar esfuerzos entre planificadores de distintos sectores y con diferentes perspectivas en torno a un mismo proceso de toma de decisión.
- Permite tomar decisiones informadas y con responsabilidad.
- La EAE añade transparencia, participación y control de calidad a los PPP.

Considerando lo anterior, la EAE a nivel internacional puede vislumbrarse como un instrumento de integración global que incluye las visiones locales y regionales, de manera que permita, no sólo la comprensión de los procesos en su conjunto, sino la integración de las acciones para lograr una efectiva reestructuración de los PPP en miras de estimular y conservar la resiliencia en los arrecifes coralinos.

Manejo Integrado de la Zona Costera (MIZC)

Desde hace algunos años, existen iniciativas regionales que han generado estrategias de Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) (Zárate-Lomelí *et al*., 2001 y 2004), el cual es un instrumento que puede ser considerado como una de las estrategias actuales para mantener y estimular la resiliencia natural de los arrecifes. El MIZC, ha evolucionado de tal manera que a la fecha, se han propuesto ya, la generación de agendas puntuales de diagnóstico, atención y seguimiento de la zona costera con miras en la protección y manejo sustentable de los recursos naturales que ahí se desarrollan (Zárate-Lomelí *et al*., 2001), esta iniciativa ha mostrado su valor al haber logrado conjuntar a los principales actores relacionados con el manejo, protección y conservación de la zona costera, así como a los tomadores de decisiones de regiones mexicanas muy importantes y representativas para la conservación de los arrecifes de coral tal como es

el Golfo de México y Mar Caribe; sin embargo, los resultados tangibles en las zonas costeras no se han consolidado por una falta de seguimiento de las autoridades correspondientes.

El MIZC tiene como objetivo fundamental preservar y proteger la productividad, biodiversidad y el funcionamiento básico de los ecosistemas costeros, a través de la estimulación de actividades económicas y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales; asimismo, pretende prevenir y revertir la contaminación y el deterioro de la zona costera desde las actividades desarrolladas en tierra a través de la restauración y rehabilitación de áreas, ecosistemas y procesos ecológicos críticos dañados; actividades fundamentales para mantener la resiliencia en los arrecifes coralinos.

Por otra parte, el manejo adecuado de las zonas costeras a través del MIZC, permitirá reducir la vulnerabilidad de los asentamientos humanos, infraestructura y actividades productivas ante los riesgos naturales, lo cual reduce los impactos ambientales que se generan con las contingencias humanas; así mismo promueve la integración y elaboración de políticas con consenso social para el desarrollo regional sustentable, De este modo, la implementación de acciones encaminadas al MIZC, permitirá la reducción de la fragmentación y pérdida de ecosistemas, cobertura vegetal, biodiversidad y suelos que el aumento de la frontera agropecuaria, urbana e industrial representa, con lo cual se revierten los procesos de contaminación de agua suelo y aire tanto en la zona costera como en la cuenca media y alta a ella asociada. El control del vertido de aguas residuales urbanas, agrícolas e industriales y residuos sólidos urbanos e industriales entre otros ayuda a mantener la resiliencia en los arrecifes coralinos al permitirles invertir su energía en sus procesos de atención a los efectos del CCG en lugar de invertirlos en la atención a los daños locales ocasionados por estos elementos como son las enfermedades en los organismos constructores.

Por otro lado el MIZC prevé la sobreexplotación y agotamiento de recursos, las afectaciones a población, infraestructura y actividades económicas por fenómenos y riesgos naturales y los efectos de la erosión y acreción litoral por infraestructura portuaria/industrial y aumento en la frontera agropecuaria en las cuencas medias y altas, con lo que indudablemente, su instrumentación será un importante estímulo para la resiliencia de los arrecifes (Zárate-Lomelí *et al*., 2001; Alafita-Vásquez *et al.*, 2008).

Redes de Áreas Marinas Protegidas (AMP)

Considerando la importancia del acervo genético y evolutivo con el que actualmente cuentan los ecosistemas arrecifales, es extremadamente importante el desarrollo y fortalecimiento de Áreas Marinas Protegidas (AMP), que estén directamente vinculadas a la construcción de resiliencia de estos ecosistemas. Estas AMP, desde el punto de vista de su aplicación, pueden ser consideradas como estrategias de prevención que pertenecen a un nivel intermedio entre las visiones globales y locales. Las AMP, de manera ideal deberán trabajar localmente para conservar la resiliencia de sitios con características especiales a través de la integración de redes de AMP que desemboquen en efectos a nivel nacional e internacional (regional/global).

Para la consolidación de las AMP es necesario considerar que no es suficiente contar con zonas bajo algún régimen de protección, sino que los sitios a proteger deben ser ecológicamente significativos, por lo que maximizar la heterogeneidad física y biológica de dicha zona es crucial. Done (2001) describe "la configuración regional perfecta" de un AMP como aquella que contiene una biodiversidad regional apropiada. Asimismo se debe considerar que un área de cada tipo también podría ser insuficiente, ya que se requieren réplicas de hábitats en varias áreas protegidas, para que la pérdida de una sola reserva no implique la pérdida de uno de los hábitats protegidos (Hansen, 2003). Por ello, las redes de reservas están siendo reconocidas como una herramienta poderosa para la protección de ecosistemas marinos, cuyos principales atributos radican en que permiten una mayor cobertura a través de un gradiente de condiciones biogeográficas y oceanográficas, sin la complejidad social, política y económica de establecer una sola reserva de gran tamaño. Las redes también son más efectivas que reservas aisladas para mantener organismos que tienen mecanismos de dispersión a diferentes distancias, como ocurre con la flora y fauna marina puede tener intervalos que van de centímetros a miles de kilómetros (Shanks *et al.*, 2003). Las redes son más capaces de proveer poblaciones fuente para recolonizar áreas dañadas en otras reservas de la red, así como áreas fuera de las redes (Westmacott *et al.*, 2000). Finalmente, tienen la ventaja de crear reservas replicadas, dispersando el riesgo al incrementar la probabilidad de tener biodiversidad representativa, lo cual evitará la pérdida completa con un solo evento de daño.

Bajo este esquema, una red de AMP bien diseñada deberá conservar ambientes representativos que contengan suficiente heterogeneidad física y biológica para mantener una diversidad genética, en donde se pueda establecer medidas para reducir el efecto de ciertos factores de perturbación local, con la intención de conservar la resiliencia de los ecosistemas marinos. Desde un punto de vista evolutivo, mantener la diversidad genética es una medida de prevención para conservar la resiliencia natural de un ecosistema, ya que es incierto qué genes, características o especies podrían conferir una futura ventaja adaptativa ante los cambios globales (Hansen, 2003). Considerando lo anterior, el establecimiento de AMP permite mantener la diversidad natural de los ecosistemas y por tanto los "pools" de diversidad genética, lo cual es una medida precautoria para conservar la resiliencia de estos ambientes, ya que actualmente no es posible predecir con exactitud la forma en la que una localidad cambiará.

Por último, es importante resaltar que estas reservas requieren de un manejo efectivo e integrado, siendo indispensable evitar "áreas protegidas de papel" sin un funcionamiento real, como es posible encontrar en las zonas costeras de México.

Sitios de Conservación Estricta (SCE)

Una estrategia actual que está siendo ampliamente recomendada, es la protección de poblaciones o comunidades con alta resistencia y/o resiliencia, a través de la creación de sitios de conservación estricta (SCE). Esta estrategia es considerada como una medida de acción para el manejo de refugios climáticos que poseen alta estabilidad (Westmacott *et al.*, 2000; Done,

2001; Hansen, 2003), por tanto, es importante destinar esfuerzos a identificar sitios con características especiales, ya sea de ubicación geográfica o por factores endógenos, que las hacen menos susceptibles a los efectos del cambio climático.

Un ejemplo de lo anterior ocurre durante algunos eventos de blanqueamiento de coral que se originan por la exposición a la radiación ultravioleta causada por las altas temperaturas (Dunne y Brown, 2001), encontrando que las zooxantelas producen componentes llamados aminoácidos micosporinos (MAA por sus siglas en inglés) que tienen una acción similar a los bloqueadores solares, y que varían en concentración entre especies y poblaciones (Gleason, 1993). Siendo así, podría ser que algunas poblaciones tuvieran, de manera natural, una mayor concentración de MAA, o una mayor habilidad para inducir estos componentes en situaciones de estrés, lo cual las haría menos vulnerables al blanqueamiento. Incluso se ha planteado que tales factores endógenos pueden estar presentes en una población como resultado de eventos de sobrevivencia a eventos previos de blanqueamiento, siendo una preadaptación a este tipo de perturbación (West y Salm, 2003).

Bajo este esquema de protección, se busca tener un mayor control de las perturbaciones que pudieran afectar a escala local, tales como la sobrepesca, uso turístico, o encallamientos (Bryant *et al.,* 1998), para reducir el número de perturbaciones simultáneas que puedan generar impactos sinérgicos de mayor magnitud (McLusky *et al.*, 1986), y así proteger y fortalecer la resiliencia natural del sitio. De esta manera, se espera que los mecanismos naturales de respuesta que poseen las poblaciones y las comunidades sean capaces de operar procesos de adaptación al cambio climático.

Asimismo y en consideración de la importancia de la estrategia de conservación, es importante dedicar esfuerzos para la pronta identificación de sitios con alta resiliencia, en donde se deberán emplear acciones locales para manejar Sitios de Conservación Estricta (SCE), con la intención de proteger e incrementar su resiliencia, para fortalecer las características y mecanismos que puedan reforzarla e incluso incrementarla. Bajo este esquema de conservación, la premisa principal consiste en establecer mecanismos de control de aquellas perturbaciones que no son debidas al cambio climático global, para contribuir a mantener y mejorar la resiliencia de los arrecifes coralinos. De este modo, las medidas que se emplean a nivel local pueden lograr un mayor control de aquellos factores de riesgo que se consideran perjudiciales para proteger la resiliencia de lugares prioritarios.

Herramientas de manejo

La estrategia de conservación de los arrecifes coralinos que se plantea ante el cambio climático global requiere de ciertas herramientas básicas para su implementación. En primer lugar es importante valorar en la justa medida el alcance de ciertos instrumentos de regulación y manejo, como la EIA y el OE, para lograr introducir la variable ambiental que oriente las políticas, programas y planes de desarrollo en las zonas y en las actividades que puedan afectar a los arrecifes. De manera simultánea, se requiere avanzar decididamente en la elaboración de

diagnósticos para conocer la situación actual de los ambientes naturales, para lo cual resulta crucial la intervención del sector académico a través del juicio de los expertos, quienes cuentan con información sobre su estructura y función, o pueden dictar líneas de investigación para la generación de dicho conocimiento. A la par de estos diagnósticos se deben elaborar protocolos de monitoreo para conocer mejor el sistema, permitiendo la detección de cambios para evaluar su significancia, de modo que contribuya a la toma de decisiones, tanto de desarrollo como de conservación, lo cual dará como resultado una evaluación constante de la eficiencia de las medidas aplicadas. Este conocimiento, también permitirá reconocer sitios que hayan sido dramáticamente degradados, pero que mantienen importancia ecológica, para enfocar esfuerzos en su restauración para recuperar su estructura y función básicas. En este sentido, se considera que sitios que son impactados por encallamiento de embarcaciones o por la acción de tormentas y huracanes son buenos candidatos a ser restaurados, ya que el factor de perturbación que ocasionó el daño fue puntual y no persiste en el tiempo, por lo que existe mayor probabilidad de restablecimiento. En este proceso también es fundamental identificar sitios que probadamente poseen alta resiliencia, en donde se deberán implementar esquemas de protección y conservación estricta.

Finalmente, dada la incertidumbre sobre el origen exacto de los impactos y de las respuestas de los arrecifes al cambio climático, se requiere aplicar un Manejo Adaptativo (Walters, 1986) que permita responder de manera pronta y eficiente ante los cambios que se presentan actualmente y los que potencialmente existirán en el futuro, empleando así una estrategia experimental para valorar su efectividad. Esto obliga a mantener una evaluación constante del éxito de diferentes alternativas de manejo, lo que permite ajustes de acuerdo a la disponibilidad de nueva información (Tompkins, 2002). No obstante, independientemente de la estrategia de manejo que sea implementada, el monitoreo es un elemento esencial para garantizar que las acciones son correctas y efectivas. De esta manera, el monitoreo vinculado al manejo adaptativo establece un experimento "*in situ*" que provee datos para modificar las acciones implementadas y desarrollar una mejor estrategia de manejo.

Principios para implementar la estrategia

Ante la situación global del cambio climático es importante tener presente que el éxito de una estrategia para conservar los arrecifes de nuestro país está en función de la medida en que los manejadores de recursos y los tomadores de decisiones impulsen de manera formal el tipo de iniciativas que en este capítulo se han discutido, en plazos que permitan alcanzar objetivos tangibles y con resultados inmediatos. En primera instancia, es importante contar con la participación decidida de los manejadores de recursos y comunidades locales, quienes deben estar bien informados y con suficiente nivel de conocimiento sobre sus sistemas en relación al cambio climático. Posteriormente es necesario involucrar a los diferentes actores en el proceso de construir resiliencia para los arrecifes, ya que mucha de la perturbación es originada por el uso de los recursos dentro y fuera de las áreas protegidas. Una vez logrado este nivel de conciencia

y participación se requiere implementar distintos niveles de protección y establecer sitios de conservación estricta para delimitar el desarrollo y el uso de los arrecifes como recurso, para lo cual es necesario que los actores sean parte del proceso para definir este nuevo nivel de protección y entender el beneficio que para ellos representa. Finalmente, el cambio climático es una amenaza que no se puede resolver en el corto plazo, por lo que los sistemas necesitan ser resilientes por décadas, ya que el efecto será más severo sí el cambio climático sigue en aumento (Hansen, 2003).

En resumen, la estrategia de manejo de los arrecifes de coral ante el cambio climático global consiste en ganar tiempo para los ecosistemas, permitiendo que sus mecanismos de respuesta, adaptación, aclimatación y eventualmente de selección natural y evolución operen. En este sentido, la estrategia de preservar la resiliencia de los arrecifes coralinos está mostrando ya resultados positivos, encontrando ejemplos concluyentes como los publicados este año por Díaz-Pulido *et al.* (2009), en los que un arrecife resiliente logró revertir procesos de blanqueamiento y sobrecrecimiento algal en un período de tiempo menor a un año, a través de implementar ciertos mecanismos ecológicos de recuperación, regeneración y competencia. Sin embargo, no hay que perder de vista que es necesario hacer esfuerzos por estabilizar los efectos del cambio climático, ya que incluso, la estrategia mejor diseñada para incrementar la resistencia y resiliencia de los arrecifes coralinos ante el cambio climático funcionará por un momento si este no se logra detener (Hansen y Biringer, 2003).

De igual modo, es importante resaltar que todas las herramientas de manejo podrían ser de gran utilidad siempre que obedecieran a un proceso de integración de las mismas, es decir, el manejo integrado de los recursos es una de las principales herramientas de conservación y estimulación de la resiliencia, toda vez que no solo permite la protección y conservación del recurso en sí, sino que regula los factores de riesgo locales y regionales y prevé las estrategias necesarias para el aprovechamiento sustentable. De esta manera, las estrategias de manejo para la protección y conservación de los arrecifes coralinos, su resistencia y su resiliencia, deberán integrarse a estructuras operativas más grandes y complejas que permitan obtener resultados tangibles en múltiples sectores y diferentes escalas geográficas.

Literatura citada

Alafita-Vásquez H., D. Zárate-Lomelí, y J. L. Rojas-Galaviz, 2008. Diagnóstico Ambiental de la Zona Costera de Quintana Roo: Problemas y Necesidades para su Manejo Integrado. Quintana Roo, México. Memorias del Panel de Expertos en Manejo Integrado de Zona Costera.

Bak R. P. M., y S.R. Criens, 1981. Survival after fragmentation of colonies of *Madracis miriabilis*, *Acropora palmata* and *A. cervicornis* (Scleractinia) and the subsequent impact of a coral disease. Manila. *Proc. 4th. Int. Coral Reef Symp* 1981; 2:221-227.

Babcock R. C., y A.J. Heyward, 1986. Larval development of certain gamete-spawning scleractinian corals. *Coral Reefs*, 5:111-116.

Baker A. C., 2001. Reef corals bleach to survive change. *Nature,* 411:765-766.

Baker A. C., C. J. Starger, T. R. McClanahan, y P. W. Glynn, 2004. Corals' adaptive response to climate change. *Nature,* 430:742.

Begon M., J. L. Harpery, y C. R. Townsend, 1990. Ecology: Individuals, Populations and Communities. Boston: Blackwell Scientific Publications 2nd Ed. 945 p.

Bellwood D. R., T.P. Hughes, C. Folke, y M. Nystrom, 2004. Confronting the coral reef crisis. *Nature,* 429(6994):827-833.

Bellwood D. R., A. S. Hoey, J. L. Ackerman, y M. Depczynski, 2006. Coral bleaching, reef fish community phase shifts and the resilience of coral reefs. *Global Change Biology*, 12(9):1587-1594.

Berkelmans R., y J.K. Oliver, 1990. Large scale bleaching of corals on the Great Barrier Reef. *Coral Reefs,* 18:55–60

Bothwell A. M., 1981. Fragmentation, a means of asexual reproduction and dispersal in the coral genus *Acropora* (Scleractinia: Astrocoeniida: Acroporidae) a preliminary report. Manila. *Proc. 4th Int. Coral Reef Symp,* 2:137-144.

Brown B. E., R. P. Dunne, M.S. Goodson, y A.E. Douglas, 2000. Bleaching patterns in reef corals. *Nature*, 404, 142-143

Bryant D., L., Burke, J. W. McManus, y M. Spalding , 1998. Reefs at Risk. WRI. p. 60.

Buddemeier R. W., y D.G. Fautin, 1993. Coral bleaching as an adaptive mechanism – A testable hypothesis. *BioScience,* 43:320-326.

Buddemeier R. W., J.A. Kleypas, y R.B. Aronson, 2004. Coral reefs and global climate change: Potential contributions of climate change to stresses on coral reef ecosystems. Pew Centre for Global Climate Change. 33 p.

Calderón-Aguilera L. E., H. Reyes-Bonilla, y J.D. Carriquiry, 2007. El papel de los arrecifes coralinos en el flujo de carbono en el océano: estudios en el Pacífico mexicano. En: B. Hernández-de la Torre & G.Gaxiola-Castro(eds.). Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México. México. Semarnat, INE, CICESE..

Carlon D. B., y R.R. Olson, 1993. Larval dispersal distance as an explanation for adult spatial pattern in two Caribbean reef corals. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.,* 173:247-263.

Chia F. S., J. Buckland-Nicks, y C.M. Young, 1984. Locomotion of marine invertebrate larvae: A review. *Canadian Journal of Zoology,* 62:1205-1222.

Connell, J. H., 1978. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science,* 199:1302-1310.

Diaz-Pulido G., L.J. McCook, S. Dove, R. Berkelmans, G. Roff, *et al.,* 2009. Doom and boom on a resilient reef: climate change, algal overgrowth and coral recovery. *PLoS ONE*; 4(4):e5239.

Done, T. J., 2001. Scientific principles for establishing MPAs to alleviate coral bleaching and promote recovery. En: R.V. Salm and S. L. Coles (eds). Coral Bleaching and Marine Protected Areas. Proceedings of the Workshop on Mitigating Coral Bleaching Impact Through MPA Design. Honolulu, Hawaii U.S.A: Bishop Museum. Asia Pacific Coastal Marine Program Report # 0102, The Nature Conservancy. p.118. Disponible en: http://data.aims.gov.au/extpubs/attachmentDownload?docID=969

Dunne, R. P., y B. E. Brown, 2001. The influence of solar radiation on bleaching of shallow water reef corals in the Andaman Sea, 1993-1998. *Coral Reefs*, 20:201-210.

Esslemont G., 1999. Heavy metals in corals from Heron Island and Darwin Harbour, Australia. *Marine Pollution Bulletin,* 38:1051–1054.

Fabricius K., J.C. Mieog, P.L. Colin, D. Idip, y M.J.H. van Oppen, 2004. Identity and diversity of coral endosymbionts (zooxanthellae) from three Palauan reefs with contrasting bleaching, temperature and shading histories. *Mol Ecol.*,13: 2445–2458.

Fadlallah, Y. H., 1983. Sexual reproduction, development and larval biology in scleractinian corals. *Coral Reefs,* 2:129-150.

Fine M., y D. Tchernov, 2007. Scleractinian coral species survive and recover from decalcification. *Science,* 315:1811.

Gardner T. A., I. M. Côté, J. A. Gill, A. Grant, y A.R. Watkinson, 2003. Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science,* 301:958–960.

Gattuso J.P., M. Frankignoulle, I. Bourge, S. Romaine, y R. W. Buddemeier, 1998. Effect of calcium carbonate saturation of seawater on coral calcification. *Global Planet Change,* 18:37–46.

Gleason D. F., 1993. Differential effects of ultraviolet radiation on green and brown morphs of the Caribbean coral *Porites astreoides. Limnology and Oceanography,* 38:1452-1463.

Glynn P. W., 1988. Predation on coral reefs: some key process, concepts and research directions. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp.,*1:51-62

Goreau T. F., N. I. Goreau, y T.J. Goreau, 1979. Corals and coral reefs. *Sci. Am.,* 241:124-135.

Goreau T., T. McClanahan, R. Hayes, y A. Strong, 2000. Conservation of coral reefs after the 1998 global bleaching event. *Conservation Biology,* 14:5-15.

Gray J. S., 1997. Report of the 28th Session of GESAMP. London: Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP).

Grimsditch G. D., y R.V. Salm, 2006. Coral reef resilience and resistance to bleaching. Resilience Science Group Working Paper Series –No. 1. IUCN. 53 p.

Guilcher A., 1988. Coral Reef Geomorphology. Chichester John Wiley and Sons Ltd. 228 p.

Hansen L. J., 2003. Increasing the resistance and resilience of tropical marine ecosystems to climate change. p. 157-176. *In*: L.J. Hansen, J. L. Biringer, and J. R. Hoffman (eds.). A user´s manual for building resistance and resilience to climate change in Natural Systems. WWF. 244 p.

Hansen, L. J., y J.L. Biringer, 2003. Building resistance and resiliencie to climate change. p. 9-14. *In:* L. J. Hansen, J. L. Biringer and J. R. Hoffman (eds.). A user´s manual for building resistance and resilience to climate change in Natural Systems. WWF. 244 p.

Healthy Reefs Initiative, 2008. Libreta de calificaciones correspondiente al Sistema Arrecifal Mesoamericano: Una Evaluación de la salud del ecosistema. Disponible en: www.healthyreefs.org.

Highsmith R. C., 1980. Passive colonization and asexual colony multiplication in the massive coral *Porites lutea***.** *J. Exp. Mar. Biol. Ecol,* 47:55-67.

Hughes T. P., A. H. Baird, D. R. Bellwood, M. Card, S. R. Connolly, C. Folke, R. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J. B. C. Jackson, J. Kleypas, J. M. Lough, P. Marshall, M. Nyström, S. R. Palumbi, J. M. Pandolfi, B. Rosen, y J. Roughgarden, 2003. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science,* 301:929- 933.

Jones R., 2005. The ecotoxicological effects of Photosystem II herbicides on corals. *Marine Pollution Bulletin*, 51: 495–506

Kleypas J. A., R. W. Buddemeier, D. Archer, J.P. Gattuso, C. Langdon, y B.N. Opdyke, 1999. Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on coral reefs. *Science,* 284:118-120.

Knowlton N., 1992. Thresholds and multiple stable states in coral reef community dynamics. *American Zoologist,* 32:674-682.

Lirman D. A., 2003. Simulation model of the population dynamics of the branching coral *Acropora palmata*. Effects of storm intensity and frequency. *Ecological Modelling,* 2(161)(3):167-180.

Lipp K. E., L. J Jarrell., D. W. Griffin, J. Lukask, J. Jacukiewicz, y B.R. Joan, 2002. Preliminary evidence for human fecal contamination in corals of the Florida Keys, USA. *Marine Pollution Bulletin,* 7(44):666-670.

Manzello D. P., M. Brandt, T. B. Smith, D. Lirman, J. C. Hendee, y R.S. Nemeth, 2007. Hurricanes benefit bleached corals. *Environmental Sciences*, 104(29):12035–12039

Marshall P. A., y A.H. Baird, 2000. Bleaching of corals on the Great Barrier Reef: differential susceptibilities among taxa. *Coral Reefs*, 19:155-163.

McField M., y P. Kramer-Richards, 2007. Healthy reefs for healthy people: a guide to indicators of reef health and social well-being in the Mesoamerican Reef Region. With contributions by M. Gorrez and M. McPherson. p. 208. Disponible en http://www.healthyreefs.org/

McLusky D.S., V. Bryant, y R. Campbell, 1986. The effects of temperature and salinity on the toxicity of heavy metals to marine and estuarine invertebrates. *Oceanography & Marine Biology: An Annual Review,* 24:481-520.

Merino M., 1997. Upwelling on the Yucatan Shelf: hydrographic evidence. *Journal of Marine Systems,* 13, 101-121.

Mora C., 2008. A clear human footprint in the coral reefs of the Caribbean. *Proc Biol Sci.,* 275(1636):767–773.

Mumby P.J., J. A. Edwards, J. E. Arias-Gonzalez, K. C. Lindeman, P.G. Blackwell, A Gall, M.I. Gorczynska, A.R. Harborne, C.L. Pescod, H Renken, C.C.C. Wabnitz, y G. Llewellyn, 2004. Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature,* 427: 533-536.

Nyström, M, C. Folke, y F. Moberg, 2000. Coral reef disturbance and resilience in a human-dominated environment. *Trends in Ecology and Evolution,* 15:413-417.

Nyström M., & C. Folke, 2001. Spatial resilience of coral reefs. *Ecosystems,* 4:406-417.

Obura, D. O., 2005. Resilience and climate change: lessons from coral reefs and bleaching in the Western Indian Ocean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science: Science for management in the Western Indian Ocean,* 63: 353-372.

Padilla C., 2000. Evaluación del potencial de uso sustentable del coral negro en Isla Cozumel y parte sur de Quintana Roo. México: Reporte técnico. CRIP Puerto Morelos. INP/FMCN. p.70.

Palumbi S. R., K. L. McLeod, y D. Grünbaum, 2008. Ecosystem in action: lessons from marine ecology about recovery, resistance, and reversibility. *BioScience,* 58(1):33-42.

Pikitch E., C. Santora, E. Babcock, A. Bakun, R. Bonfil, D. Conover, P. Dayton, P. Doukakis, D. Fluharty, B. Heneman, *et al.,* 2004. Ecosystem-based fishery management. *Science,* 305:346–347.

Richmond R. H., 1993. Coral reefs: present problems and future concerns resulting from anthropogenic disturbance. *American Zoologist,* 33:524-536.

Rouphael, A. B., y G.J. Inglis, 2000. Take only photographs and leave only footprints?: An experimental study of the impacts of underwater photographers on coral reef dive sites. *Biological Conservation,* 100:281-287.

Sadler B., y R. Verheem, 1996. Strategic environmental assessment: status, challenges and future directions. Report no. 53. The Hague. The Netherlands: Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment.

Salm R. V., y S. L. Coles (eds.), 2001. Coral Bleaching and Marine Protected Areas. Proceedings of the Workshop on Mitigating Coral Bleaching Impact Through MPA Design, Bishop Museum. Asia Pacific Coastal Marine Program Report no. 0102. Honolulu, Hawaii, USA. The Nature Conservancy. p. 29-31.

Salm R. V., S. E. Smith, y G. Llewellyn, 2001. Mitigating the impact of coral bleaching through Marine Protected Area design. p. 81-88. *In*: H.Z. Schuttenberg (ed). Coral bleaching: Causes, consequences and response. University of Rhode Island. Disponible en: http://data.aims.gov.au/extpubs/attachmentDownload?docID=969

Samaniego J. (coord.), 2009. Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña. Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas. p.148.

Schuhmacher H., y H. Zibrowius, 1985. What is hermatypic? A redefinition of ecological groups in corals and other organisms. *Coral Reefs,* 4:1–9.

Shanks A. L., B. A. Grantham, y M. H. Carr, 2003. Propagule dispersal distance and the size and spacing of marine reserves. *Ecological Applications,* 13(1):S159-S169

Tompkins E., 2002. Desarrollo de resiliencia al cambio climático por medio del manejo adaptativo de los recursos naturales. Trabajo de seminario 10. En: PNUD. Un enfoque de manejo de riesgo climático para la reducción de desastres y adaptación al cambio climático. La Habana, Cuba: Caribbean Risk Reunión del Grupo de Expertos del PNUD: Integración de la reducción de desastres con la adaptación al cambio climático.Management Initiative (CRMI). Disponible en: www.undp.org.cu/crmi/es/files/docs/10.pdf.

Villaescusa J. A., y J.D. Carriquiry, 2004. Calibración de los paleotermómetros de Sr/Ca y Mg/Ca en el coral *Porites* sp. de Islas San Benedicto, Archipiélago Revillagigedo, México. *Ciencias Marinas,* 30(4):603-618.

Walters C., 1986. Adaptive Management of Renewable Resources. New York: The Blackburn Press. Macmillan. 374 p.

Wells J. W., 1954. Recent corals of the Marshall Islands. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap*., 260: 385-486.

West J. M., y R. V. Salm, 2003. Resistance and resilience to coral bleaching: Implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology,* 17(4):956-967

Westmacott, S., K. Telekia, S. Wells, y J. West, 2000. Management of bleached and severely damaged coral reefs. Cambridge. IUCN. 36 p.

Yáñez-Arancibia A., D. Zárate, y V.S. Fandiño, 1996. La evaluación del impacto ambiental en la región del Gran Caribe. p. 587-604. En: A.V. Botello *et. al*. (eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. México. EPOMEX Serie Científica 6. Universidad Autónoma de Campeche. 666 p.

Zakai D., y N.E. Chadwick-Furman, 2002. Impacts of intensive recreational diving on reef corals at Eilat, northern Red Sea. *Biol Conserv.,* 105:179-187.

Zárate-Lomelí D., A. Yáñez-Arancibia, R. T. Lacy, A.A. Martínez, H. Alafita-Vásquez, E. Rivera-Arriaga, y J. W. Day, 2001. Términos de Referencia para el Programa de Manejo Integral de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe. Xalapa, Veracruz: Segundo Panel: Necesidades para la Gestión Integrada de la Zona Costera.

Zárate-Lomelí D., J.L. Rojas-Galaviz, y H. Alafita-Vásquez, 2004. Importancia de la Evaluación Ambiental Estratégica para México. Taller: "Situación Actual y perspectivas de la Evaluación de Impacto Ambiental". México D. F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

De la Lanza Espino, G., J.C. Gómez Rojas, M. Blanco y Correa, F. Flores Verdugo y S. Hernández Pulido, 2010. Vulnerabilidad costera: caso de estudio del sistema de humedales Marismas Nacionales, p. 205-230. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Vulnerabilidad costera: caso de estudio del sistema de humedales Marismas Nacionales

Guadalupe de la Lanza Espino, Juan Carlos Gómez Rojas, Manuel Blanco y Correa, Francisco Flores Verdugo y Salvador Hernández Pulido

Resumen

Dada la complejidad de la zona costera, no solo por ser una zona de transición entre la terrestre y la marina en la que se dejan sentir efectos naturales de ambos ambientes; a lo anterior, hay que sumarle las diversas actividades antrópicas y el actual incremento del nivel del mar consecuencia del cambio climático, cuyo resultado es el alto grado de vulnerabilidad a la que se ve sometida actualmente. Bajo este panorama es necesario realizar estudios holísticos para su conservación y posible manejo, requiriendo información de diferentes fuentes ya sean científicas u oficiales que incluyan geología, física costera, hidrología y clima, fisicoquímica o calidad del agua, biología que permitan la comprensión del comportamiento natural del ecosistema costero, más aquellas actividades socioeconómicas que permitirían a su vez definir los cambios e impactos a que es sujeto tanto reversible como irreversiblemente. El estudio de caso que aquí se presenta es el Sistema Lagunar Marismas Nacionales cuya evolución geohidrológica, uso del suelo agrícola y pecuario, manejo costero como apertura de canales con la consecuente salinización por la intromisión del mar y muerte de manglares, deforestación, sobrepesca y acuicultura, incremento de las poblaciones en vías fluviales y lagunares, deterioro en la calidad del agua, que conjuntamente han llevado a Marismas Nacionales a ser considerada como un área en un grado de deterioro de medio a alto.

Introducción

Los sistemas de humedales costeros de Marismas Nacionales son los más importantes del Pacífico por su extensión. Están formados por una red de lagunas costeras salobres, manglares, pantanos, marismas, más de 150 000 ha de canales de mareas y llanuras de inundación. Desembocan en este sistema los ríos Baluarte, Las Cañas, Acaponeta, San Francisco, Rosamorada, Bejuco, San Pedro y Santiago con una superficie total de las cuencas de 161 515 km^2 sin considerar al Baluarte y San Francisco. Comprende una superficie aproximada de 248 mil ha, abarca desde Escuinapa (sur de Sinaloa) hasta el sur de San Blas, Nayarit. Declarado como sitio Ramsar número 732, en junio de 1995, reconocido como sitio de las Reservas de la Red Hemisférica de Aves Playeras, además de incluirse en el Programa de Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA por su nombre en español), y en 1998 se identificó y decretó como sitio AICA.

Con base en un estudio realizado por la el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) (2009), en la zona de Marismas Nacionales se encuentra principalmente manglar, vegetación halófila y tular . Las distribuciones de manglar y la vegetación halófila responden claramente a un régimen hidráulico de inundación, siendo por tanto las formaciones vegetales más importantes.

Actualmente existe en proyecto el decreto para establecer como Área Natural Protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera a Marismas Nacionales Nayarit, en los municipios de Acaponeta, Rosamorada, Santiago Ixcuintla, Tecuala y Tuxpan. El proyecto establece a la letra:

> Se declara área natural protegida, con la categoría el carácter de Reserva de la Biosfera la región conocida como Marismas Nacionales Nayarit, con una superficie total de 133 854 mil hectáreas, dentro de la cual se ubican dos zonas núcleo con una superficie total de 1 208 hectáreas y 132 645 hectáreas correspondientes a la zona de amortiguamiento. Los objetivos que persigue el anteproyecto son: • Preservar los ambientes naturales representativos de las regiones biogeográficas y ecológicas de los ecosistemas más frágiles, para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos ecológicos, en la ANP • Asegurar la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad del área • Preservar las especies bajo algún estatus de riesgo. • Proporcionar un campo propicio para la investigación científica. • Proteger el ciclo hidrológico de cuencas. • Establecer la zonación y subzonación, para ordenar el territorio en función del grado de conservación y representatividad de sus ecosistemas, la vocación natural del terreno, de uso actual y potencial. • Preservar el ecosistema y salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres, en particular de las que se encuentran en peligro de extinción, amenazadas, o sujetas a protección especial, así como las endémicas, por medio de la implementación de programas de protección y manejo ambiental, el aprovechamiento de los recursos para las generaciones futuras, y lograr un desarrollo económico y social para los habitantes de la región, a través de acciones que promuevan y orienten el desarrollo sustentable de las actividades económicas, basadas en el aprovechamiento de los recursos naturales del área, para mejorar la calidad de vida de sus pobladores.(Conanp, 2009).

Para la protección del manglar, se establece en el Artículo 60 de la Ley General de la Vida Silvestre lo siguiente "Queda prohibida la remoción, relleno, trasplante, poda o cualquier otra actividad que afecte la integralidad del flujo hidrológico del manglar, del ecosistema y su zona de influencia; de su productividad natural; de la capacidad de carga natural del ecosistema para los proyectos turísticos; de las zonas de nidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje; o bien de las interacciones entre el manglar, los ríos, la duna, la zona marítima adyacente y los corales, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos" (DOF, 2007).

Además Marismas Nacionales es importante por tener una fauna diversa con un número considerable de especies endémicas, migratorias, en peligro de extinción y de importancia económica.

El sistema de humedales de Marismas Nacionales se encuentra entre las coordenadas extremas aproximadas 21°53'99" al norte, 20°36' al sur, 103°43' al este, y 105°46' al oeste. Cubre el sistema lagunar Las Cabras-Tecapán-Agua Brava-Mexcaltitán-San Blas, pertenece a la provincia fisiográfica denominada Planicie Costera Nayarita con una superficie de total de 25 600 m. La amplitud de la planicie es en promedio 59.5 km (a partir de la línea de costa y hasta los 200 msnm) configurando una morfología compleja.

Geología

Marismas Nacionales está conformado por canales de marea, llanuras de inundación, lagunas y manglar que han sido resultado de un amplio sistema de deltas entre las cuencas con una historia y evolución geológicas muy activas así como una particular dinámica marina, además de un patrón climático interanual cambiante. Las características geomorfológicas de la planicie costera han sido consecuencia de dicha dinámica hidrológica; las variaciones en los gastos de los seis ríos que han determinado la magnitud del aporte del material suspendido, que ha incidido en el desarrollo de los deltas y otras formas topográficas. Los ríos que desembocaban a la llanura formaron múltiples cordones de playa que aislaron un alto número de cuerpos de agua. Durante el descenso del nivel del mar se favoreció la existencia de condiciones palustres donde ha crecido un denso manglar. Cabe señalar que durante las trasgresiones y regresiones del mar en un periodo de 7 000 años los deltas han experimentado cambios, que actualmente se han acelerado por el represamiento de los ríos con una visible erosión, como es el caso de la presa Aguamilpa en el río Santiago, donde se aceleraría la erosión en caso de represar el río San Pedro.

Hidrología

Cuencas y subcuencas

El sistema lagunar de Agua Brava-Mexcaltitán está constituido por tres cuencas: la del río Acaponeta con las subcuencas: Cañas, San Francisco, Rosamorada y Bejuco; la del río San Pedro

Mezquital con ocho subcuencas de las cuales, la del río San Pedro se localiza en la parte baja del sistema lagunar y la del río Santiago que comprende tres subcuencas: la del río Lerma, la del lago Chapala y la del río Santiago, esta última en el estado de Nayarit.

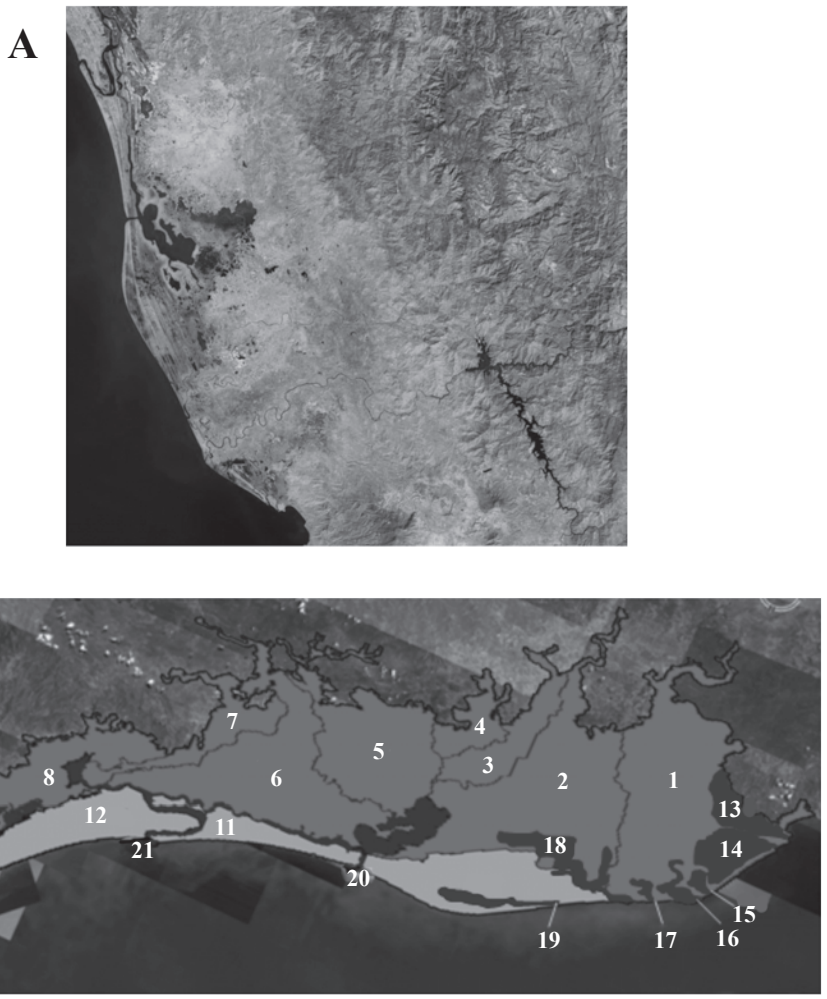
Con base en un criterio hidrológico mixto, es decir considerando las cuencas hidrológicas superficiales, Blanco y Correa (inédito), reconoce nueve cuencas hidrológicas bajas continentales (ríos Santiago, San Pedro, Bejuco, Rosamorada, San Francisco, Acaponeta, Las Cañas, Escuinapa y Baluarte) y tres cuencas hidrológicas locales (considerando solo precipitación: Las Haciendas, Novillero y Teacapán). Además, subdivide las cuencas anteriores de acuerdo a las 10 cuencas mareales que reciben y descargan flujos de marea procedentes del mar a través de bocas marinas (Bocas de El Borrego, San Blas, Cegada, El Asadero, Los Corchos, Camichín-Talegas, El Colorado, Cuautla, Teacapán y Chametla) (figura 1). La regionalización resultante pretende ser una base para avanzar en la comprensión de una dinámica hidrológica conjunta integrada del complejo sistema de humedales en forma integrada y sistémica.

El volumen de escurrimiento medio anual del río Santiago era de 7 000 millones m^3 antes de la construcción de la Presa Aguamilpa, el del río San Pedro de 2 800 millones m^3 y el del río Acaponeta de 1 340 millones de m^3; considerados como permanentes que son los principales afluentes al sistema lagunar; además vierten sus aguas los ríos Cañas, San Francisco, Bejuco y Rosamorada que sólo son significativos en periodo de lluvias. Los tres primeros ríos en ocasiones pueden alcanzar máximos escurrimientos debido a la presencia de huracanes y a eventos como los fenómenos de La Niña o El Niño en sus grados más altos; éstos pueden influir directa o indirecta sobre la frecuencia e intensidad de tormentas tropicales y huracanes, que se presentan principalmente entre los meses de mayo a octubre, con una mayor incidencia en septiembre. En un periodo de registro de varias décadas, los principales ríos muestran escurrimientos ampliamente variables debidos a lo ya señalado, como se muestra en las figuras 2, 3 y 4.

Cabe señalar que con base en el hidrograma de 1962 al 2001 del río San Pedro, se observa una tendencia a la disminución del escurrimiento que es más notoria en el hidrograma de 1962 al 2006, por lo que ésto debe ser considerado, para futuros manejos hidráulicos (figura 3).

Con base en la información de Conagua (2006) se destaca la tendencia al decremento del escurrimiento en un lapso de siete décadas en los ríos Acaponeta (con una disminución de ocho millones de m^3 en siete décadas) y San Pedro (con una diferencia de 3.4 millones de m^3 en dicho lapso) (figura 2), si se considera que estos ríos aún no han sido represados dentro del estado de Nayarit, y que representan 63% del escurrimiento superficial que recibe la zona actualmente.

Se observa una variación anual aproximadamente similar entre los tres ríos consecuencia de máximas avenidas por eventos meteorológicos diversos. Los registros de la estación hidrométrica Capomal ubicada aguas abajo de la Presa Aguamilpa señalan una marcada tendencia a la disminución del escurrimiento del río Santiago de 102 Mm^3 durante 50 años (figura 4).



Cuencas bajas: 1. R. Santiago; 2. San Pedro; 3. R. Bejuco; 4. R. Rosamorada; 5. R. San Francisco; 6. Acaponeta; 7. R. Las Cañas; 8. R. Escuinapa y 9. R. Baluarte.
Cuencas locales: 10. Las Haciendas; 11. Novillero; 12. Teacapán.
Cuencas mareales: 13. San Cristóbal; 14. EL Pozo-El Rey; 15. Boca Cegada; 16. Boca del Asadero; 17. Boca de los Corchos; 18. Boca de Camichín-Boca de Talegas; 19. Boca de El Colorado; 20. Boca de Cuautla; 21. Boca de Teacapín; 22. Boca de Chametla.
(Según M. Blanco y Correa, inédito)

Figura 1. (A) Zona de humedales de Marismas Nacionales.
(tomado de https:// zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl)
(B) y su regionalización morfológica-hidrográfica(Tomado de Blanco y Correa inédito).

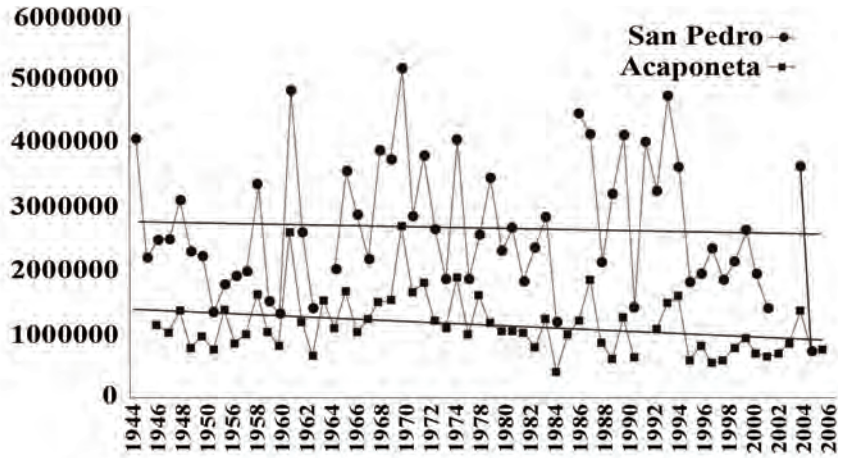


Figura 2. Escurrimientos de los ríos Acaponeta y San Pedro y su tendencia.
Base de datos de Conagua (2006).

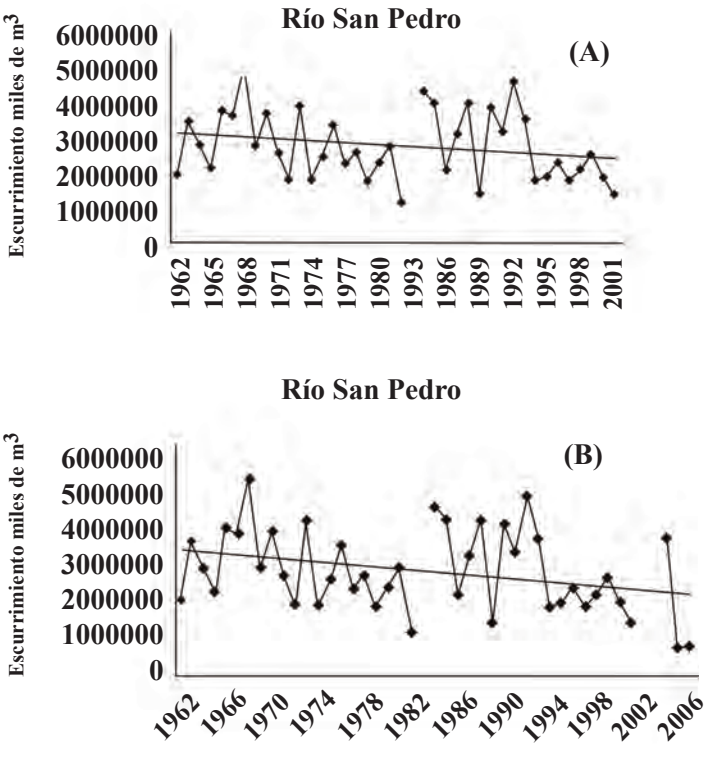


Figura 3. (A) Hidrograma del río San Pedro en su parte baja en 1962-2001 y (B) de 1962 a 2006 en la estación San Pedro.
Base de datos de Conagua (2006).

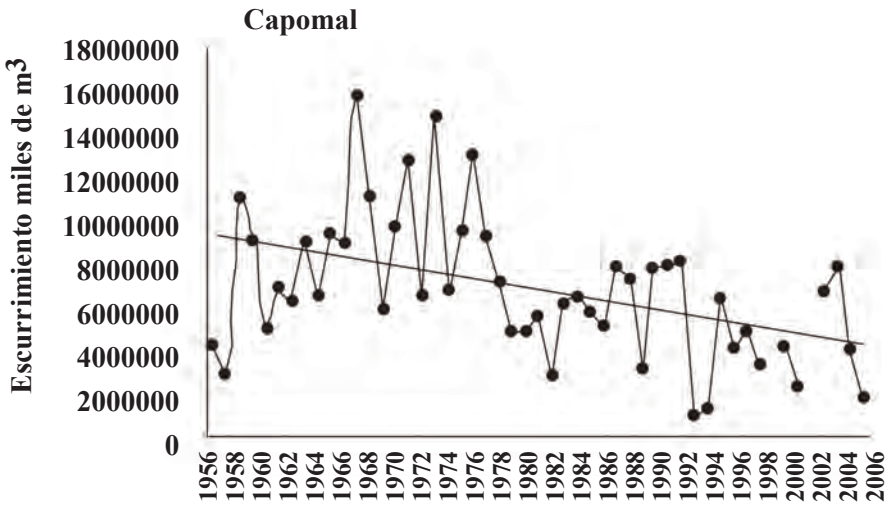


Figura 4. Escurrimiento del río Santiago, estación Capomal.
Base de datos de Conagua (2006).

Meteorología

Este ambiente lagunar se encuentra influenciado por eventos como tormentas, huracanes y lluvias monzónicas de verano. La mayoría de las perturbaciones pasan paralelas a las costas del Pacifico Tropical Mexicano y otras más entran tierra adentro (Nayarit y Sinaloa). Según la Conagua en un periodo de 36 años (1976 al 2006) aproximadamente, 12 huracanes afectaron al estado de Nayarit, (Gómez-Rojas, 2009; Gómez-Rojas, 2010). Entre las tormentas tropicales que han influenciado a Nayarit y que se pueden señalar están: Olaf en el 2003, Diana en 1990, Adolph en 1983, Otis en 1981 y Priscila en 1971; dentro de los principales huracanes: Rosa en 1994, Kenna en 2002, Juliette en 2001, Hernán en 1996, Boris en 1996, Roslyn en 1986 y Tico en 1983; sin contar los que han incidido en 2007, 2008 y 2009; sin embargo estos meteoros pueden sinergizar la erosión de la costa en conjunto con las actividades antropogénicas. Tanto estos eventos como las lluvias de verano condicionan amplias áreas de inundación que son necesarias para el establecimiento del manglar. Fenómenos eventuales como El Niño y La Niña, también inciden en la costa de Nayarit; por ejemplo, El Niño 1982-83, produjo en el primer año escasas lluvias y en el segundo se alcanzaron máximas precipitaciones; aunque, con base en los registros de la NOAA y la base de datos de Conagua se observa una mayor asociación entre la mayor frecuencia de tormentas tropicales y huracanes con El Niño, y en el caso de La Niña los mayores escurrimientos. Otro aspecto meteorológico es la variación interanual en los gastos y en las precipitaciones; en los cuatro ríos que descargan en Teacapán-Agua Brava se presentan dos años de lluvias y gastos por debajo del promedio seguidos por un año arriba del promedio.

Temperatura

Considerando que la temperatura es un factor determinante en la precipitación y evaporación, los registros históricos térmicos (CNA, 2006) señalan una tendencia al incremento en un periodo de 20 a 30 años, aproximadamente, que manifiesta el cambio climático, como se observa en cuatro estaciones climatológicas localizadas en la cuenca del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava-La Hacienda. En la estación El Naranjo (cuenca San Pedro) el incremento de temperatura ha sido de 0.1°C (figura 5), en Tuxpan (cuenca del San Pedro) 0.5° (figura 6), Rosamorada (cuenca Acaponeta) 0.9° (figura 7) y en la del Palmar de Cuautla de 0.7°C (figura 8).

Precipitación

Cabe señalar que los registros de temperatura y precipitación en las estaciones climatológicas no son coincidentes por problemas técnicos; razón por la cual se representan para la precipitación localidades distintas a las de los registros de temperatura. Existe una amplia variación

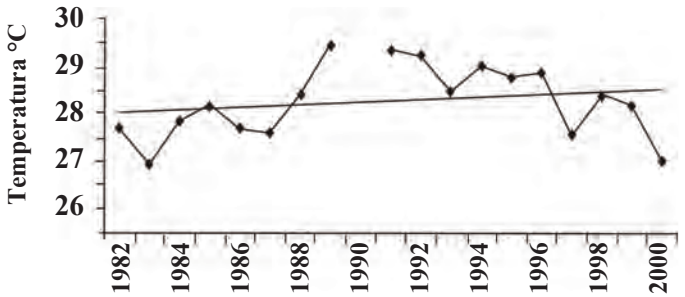


Figura 5. Promedio anual de la temperatura en la estación climatología El Naranjo. Base de datos de Conagua (2006).

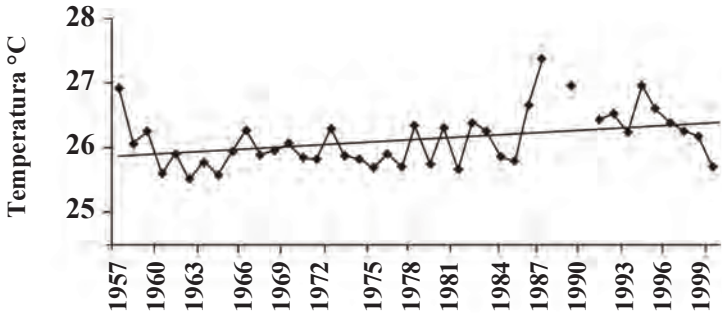


Figura 6. Promedio anual de la temperatura en la estación climatología Rosamorada. Base de datos de Conagua (2006).

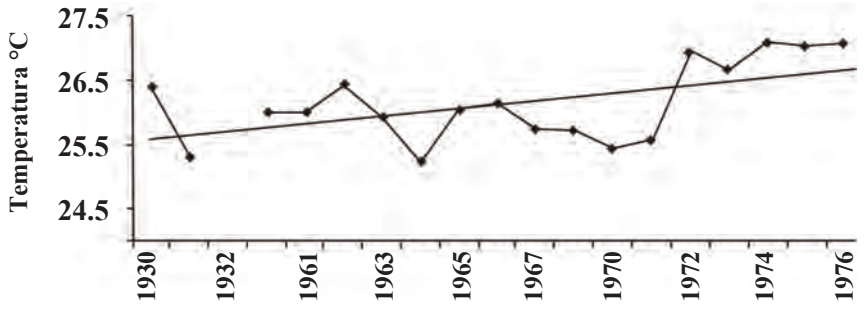


Figura 7. Promedio anual de la temperatura en la estación climatología de Tuxpan.

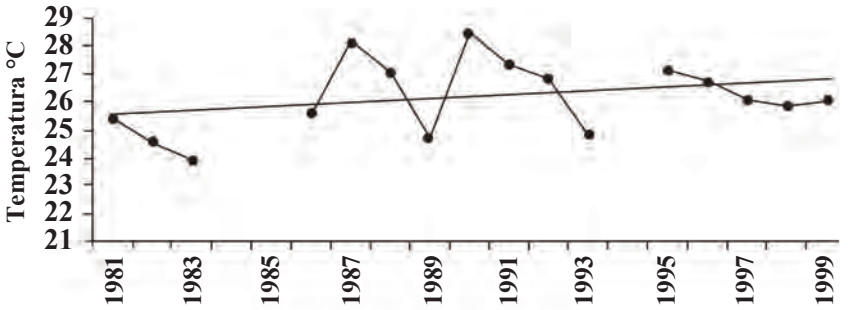


Figura 8. Promedio anual de la temperatura en la estación climatología El Palmar de Cuautla (Las Haciendas). Base de datos de Conagua (2006).

interanual en la precipitación en el Pacífico y al respecto Xu *et al*. (2005) señalan que en el Pacífico Asiático se han encontrado que las variaciones en precipitación responden a los periodos de los eventos La Niña y El Niño, lo que puede ser aplicado al Pacífico Tropical Mexicano (Gallegos *et al*., 1984).

Tanto la localidad de Acaponeta como de Rosamorada, muestran una tendencia a la disminución de la precipitación en aproximadamente 40 años (figuras 9 y 10). Al respecto Méndez-González *et al*. (2008) señalan una tendencia generalizada de la disminución de lluvias en el país; el mayor porcentaje al incremento de la precipitación ahora se está observando en regiones áridas y semiáridas, con disminución en las regiones lluviosas, como correspondería al estado de Nayarit, cuyo clima es cálido subhúmedo.

En cuanto a la tendencia a la precipitación en la estación climatológica de Mexcaltitán, se observa la misma variabilidad, pero sin ninguna tendencia (figura 11); esto puede ser resultado

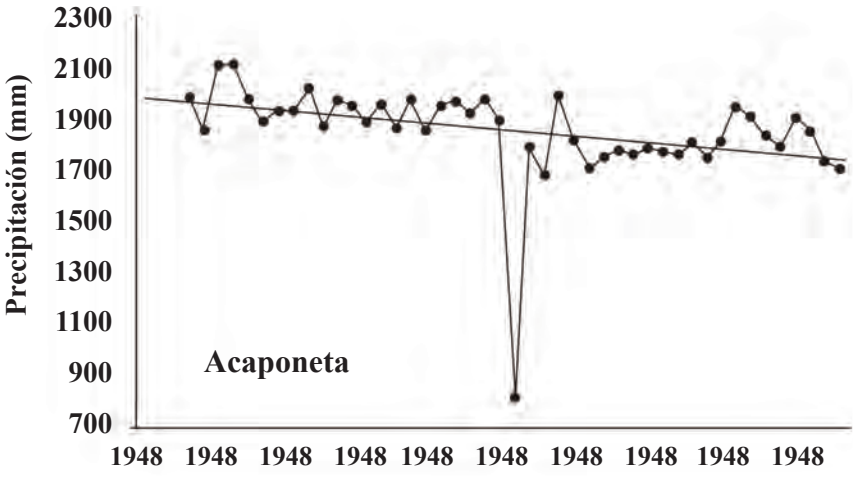


Figura 9. Precipitación promedio anual en la estación climatológica de Acaponeta. Base de datos de Conagua (2006).

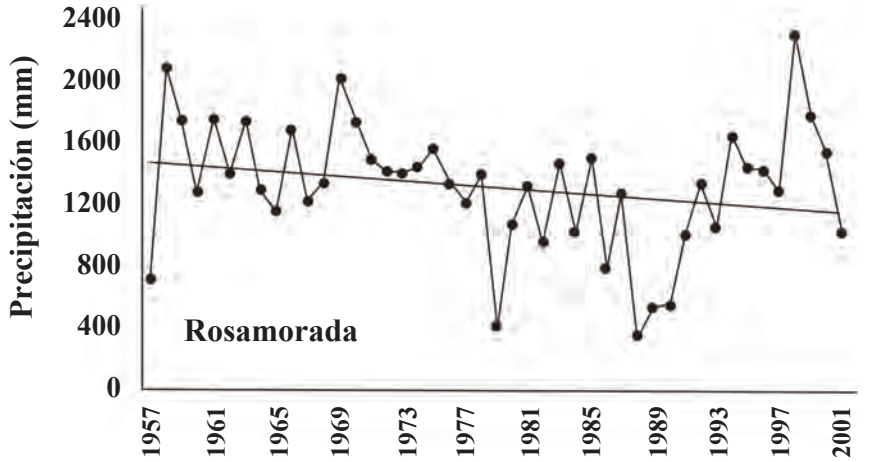


Figura 10. Precipitación promedio anual en la estación climatológica Rosamorada. Base de datos de Conagua (2006).

de las lluvias monzónicas formadas por los vientos cargados de humedad provenientes del mar; de las influencia de los huracanes tanto los que inciden en el Estado como aquellos que pasan paralelos al mismo. Pavia (2004) menciona que las lluvias pueden no estar asociadas directamente a la intensidad del ciclón, ni a la localización de su ojo, ni a su duración, sino más bien al campo de nubosidad que el ciclón genera pues puede llover antes o después del ciclón; además de los propios eventos El Niño y la Niña de diferentes intensidades. El que no se registre nin-

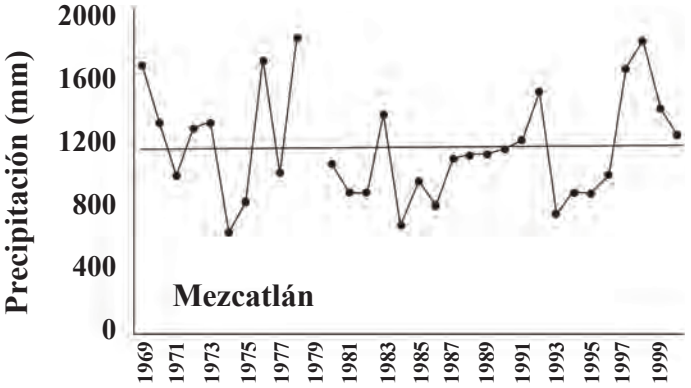


Figura 11. Precipitación promedio anual en la estación de Mexcaltitán. Base de datos de Conagua (2006).

guna tendencia, no significa que el río San Pedro que drena a Mexcaltitán, no vaya afectar las áreas de inundación si se represara, con los consecuentes cambios en la comunidad de manglar que se presentan en el sur de Marismas Nacionales.

Hidroperíodo

El patrón hidráulico de Marismas Nacionales y sus condiciones de salinidad están fundamentalmente regidos por los aportes fluviales estacionales de los ríos y el por tipo de mareas, que aunado a la topografía del terreno determinan los niveles de inundación, que definen el hidroperíodo natural en este sistema costero, lo cual es importante en la conservación salina óptima para el crecimiento de manglar.

Oceanografía

Corrientes costeras y mareas

Se ha observado la intensificación de una corriente marina costanera hacia el norte, favoreciendo procesos de erosión costera. A la altura de San Blas se registran mareas vivas de 97.5 cm y medias de 70 cm y con la apertura del canal de Cuautla se ha presentado una intromisión marina que ha incrementado no solamente penetrando la marea al interior de la laguna de Agua Brava, sino también salinizando áreas que eran oligomesohalinas hasta llegar a hiperhalinas inapropiadas para el manglar y su distribución específica (en particular de *Laguncularia racemosa)*. Si a esta situación se le añade el represamiento de los ríos no solo modificaría el hidroperiodo óptimo para el manglar sino condicionaría la formación de salitrales.

El incremento de energía de la corriente litoral por la disminución en los escurrimientos y su carga sedimentaria, ha generalizado un régimen erosivo que está sustituyendo el régimen progradante que existía anteriormente, mostrándose en forma actual un canal erosivo a lo largo del litoral (Gómez Gurrola, comentario personal).

Los principales aspectos causantes de la erosión playera son: las corrientes de pleamar y bajamar en cada ciclo de 6 horas. Según Fuentes-Mariles y Jiménez-Espinosa, (2002) en la zona se tiene una rango de marea (diferencia entre su nivel más alto y más bajo), de 0.9 m los que multiplicados por el área de superficie libre del sistema lagunar, que es de 108 km^2, y divididos entre el tiempo de entrada de 6 horas, da un gasto medio de ingreso de agua del mar al sistema lagunar de 4 500 m^3/s, mismo volumen de agua lagunar que sale durante las siguientes 6 horas; ello se repite en las siguientes 12 horas del día. Por lo que cada día se presenta un gasto de entrada seguido de uno de salida, y así sucesivamente.

La apertura artificial de canales en los cordones de playa, y en particular el de Cuautla el cual hasta el año 2005 tenia 3.5 km aproximadamente de ancho (figura 12), continúan tanto su construcción como su crecimiento, favoreciendo la entrada de las mareas y corrientes, así como generando procesos graves de erosión, azolvamiento y salinización.

Las corrientes marinas inducidas por oleaje han provocado, a su vez, que las corrientes de entrada al sistema lagunar sean más grandes en las márgenes de la boca del canal de Cuautla, por lo que las velocidades de los flujos de agua han tenido la capacidad de arrastrar el material de la playa en la margen norte (figuras 12 y 13) (Fuentes-Mariles y Jiménez-Espinosa, 2002).

El material que ha sido removido se ha depositado en el fondo marino cerca de la margen sur de la boca del canal de Cuautla (figura 13), pero también la línea de costa tiene una forma curva que propicia que las velocidades mayores estén próximas a la playa favoreciendo su erosión (Fuentes-Mariles y Sánchez-Espinosa, 2002).

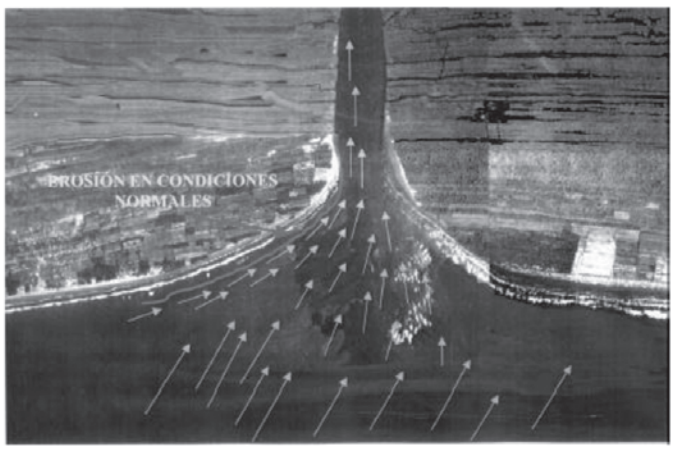


Figura 12. Canal de Cuautla y la intromisión de la marea laguna de Agua Brava (Tomado de Fuentes-Mariles y Jiménez-Espinosa, 2002).

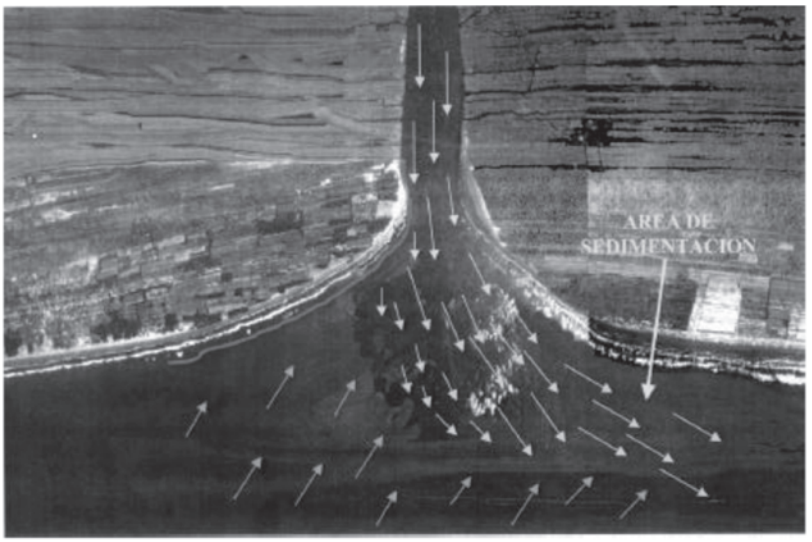


Figura. 13. Canal de Cuautla y la bajamar en la Laguna de Agua Brava (Tomado de Fuentes-Mariles y Jiménez-Espinosa, 2002).

Fisicoquímica del agua

Antes de la apertura del canal de Cuautla (construido en 1976, según Álvarez-Rubio *et al*, 1986) existían condiciones desde oligohalinas hasta mesohalinas (0.5 ups a 10 ups en otoño) y marina-polihalinas (23-38 ups en el resto del año) entre Teacapán y Agua Brava. Después de la apertura Islas-García (2008) refiere niveles de 38 ups en lluvias en la laguna del Valle que se comunica con la de Agua Brava y en fechas recientes se han registrado en el interior de Agua Brava hasta 120 ups a finales de la época de sequía (junio) (Flores-Verdugo, com. personal). Se han registrado niveles amplios en el contenido de oxígeno disuelto (2 a 7 ml/L, aproximadamente) resultado de la dinámica de circulación, morfología, de características biológicas (fotosíntesis y respiración) e influencia antropogénica. La concentración de fosfatos también puede variar (< 1.0 a >10 μM) según la localidad (áreas de escasa circulación, descargas urbana e influencia de actividades agropecuarias). Los niveles de los compuestos nitrogenados inorgánicos también varían por los factores ya señalados del nutriente anterior (NO_3 + NO_2 de <1.0 a > 30.0 μM).

Manglar

Existen cuatro tipos de manglar inventariados desde los años 70; *Rhizophora mangle* (rojo), *Avicennia germinans* (negro), *Laguncularia racemosa* (blanco) y *Conocarpus erectus* (chino). El estado de Nayarit tenía un área de manglar mayor a 153 409 ha, del cual el sistema lagunar

Teacapán Agua Brava ocupaba el 74% (113 52266), Flores-Verdugo *et al*., (1990), mencionan que el mangle tenía una cobertura entre 111 387 y 113 238 ha, cuya extensión es la mayor área continua de manglar en la costa del Pacífico. Conabio actualmente realiza un proyecto denominado "Programa de Monitoreo de los Manglares de México a Largo Plazo", en el cual se pretende estimar la distribución actual de los manglares de México, mediante el análisis digital de imágenes satelitales SPOT del año 2005, que al respecto para el sistema lagunar de Teacapán-Agua Brava-Las Haciendas, estimó un área de manglar de 77 448.71 ha.

Actualmente no existe un dato exacto sobre la cobertura de manglar en el área. Berlanga (2006) evaluó una cobertura de alrededor de 65 000 hectáreas, con una tasa deforestación del 0.8% anual, lo que significa que en 33 años se han perdido alrededor de 24 000 hectáreas o alrededor del 30% de la cobertura existente en 1973. De igual manera este autor estimó que la tasa de deforestación más importante ocurrió en el periodo 2000-2006, con una pérdida del 2.3% anual (tabla 1). Acosta (2003), calculó una pérdida de 9 500 ha por deforestación que permitió caracterizarlo como un humedal con alto impacto antropogénico.

Dada la importancia de la gran área que cubre el manglar en Marismas Nacionales, cabe destacar que de reuniones realizadas por Conabio con especialistas se propuso que un área de manglar se encontrara como Área Natural Protegida (equivalente a 280 573 ha) reguladas bajo el régimen de protección especial de la LEGEEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente); asimismo que 30 sitios estuvieran inscritos en la Convención Internacional Ramsar con 420 244 ha que corresponde al 64% de la superficie total, lo cual implicaba el desarrollo de programas de conservación. Por la importancia que representa esta comunidad de manglar desde los puntos de vista de servicio ambientales, desde finales de la década de los años 80 se dieron los primeros pasos por la Dirección de Recursos Forestales para elaborar una norma que regulara el manejo y por lo tanto su conservación; no fue sino hasta 1999 que la Semarnap publicó en el Diario Oficial la NOM EM 001-RECNAT que establecía las especificaciones para la preservación, conservación y restauración del manglar. El 7 de mayo de 2004 apareció en el Diario Oficial de la Federación la NOM 022 obviamente hubo propuestas de modificación haciéndola más flexible; como por ejemplo permitir la realización de obras y actividades antes prohibías e incluyendo la mal interpretada compensación. En la Ley de Aguas Nacionales se incluyen algunos incisos de ciertos artículos relacionados con aspectos de concesión y administración del agua que pudieran aplicarse a los humedales como las Marismas Nacionales.

Tabla 1. Estimación de la cobertura de manglar en Marismas Nacionales, Nayarit: 1973-2006.

Año	1973	1986	1990	1995	2000	2006
Hectáreas	89 100	87 000	82 300	80 000	75 000	65 000
Porcentual	100	98	92	90	84	73

Fuente: Berlanga-Robles y Ruiz-Luna (2006).

El manglar es respuesta de la hidrología de Marismas Nacionales, pero por modificaciones en el hidroperíodo, por cambio en la magnitud de los escurrimientos y por lo tanto en las áreas de inundación, por cargas de sedimentos, por canalizaciones entre los cordones de playa y por la apertura del Canal de Cuautla, ha incrementado la salinidad inadecuada para esa vegetación y su zonación original. Los lugares que dejan de inundarse con agua dulce y dejan de recibir aportes de nuevo sedimento, cesan de compensar la compactación, ocasionando que el manglar sufra una sofocación al dejar al descubierto sus raíces por mucho tiempo. Se ha sugerido crear embalses para la adecuación halina requerida por el manglar en aquellas áreas con alta salinidad. Por los cambios en las avenidas, en la dinámica de circulación y en la salinidad, en las orillas del río Santiago se han desarrollado más los sauces.

Sin que aún se disponga de un estudio exhaustivo de deterioro de manglar, se han podido identificar zonas de deterioro asociadas aparentemente a causas diversas, con alguna estimación muy subjetiva de su causa. Por ejemplo bloqueo hidrológico de flujo mareal al oriente de la carretera a El Roblito (300 ha de mangle negro muerto); colonización por mangle rojo de azolvamientos en el estero del Rey, el estero de Cuautla y las lagunas del Valle y la Palicienta; desaparición por erosión litoral de miles de hectáreas en playa del Rey, Las Haciendas y Novillero; muerte de alrededor de 10 000 ha de mangle por cambio de régimen hidrológico en las lagunas de El Chumbeño y Pescadero; cientos de hectáreas de manglar muerto por inundación dulceacuícola persistente alrededor de Mexcaltitán; unas 300 ha de manglar removido por desarrollo urbano y acuícola en San Blas, Aquanova, y granjas de Rosamorada; alrededor de 200 ha de manglar removido por erosión mareal en cañadas de Las Haciendas y Novillero.

Marco económico-social

Con base en la información de la Enciclopedia de los Municipios de México, Nayarit Santiago Ixcuintla (http://ww.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/nayarit/mpios/18015a.html) se muestran en la figura 14 los municipios que rodean al sistema de humedales de Marismas Nacionales; correspondiéndole a la mayor superficie de contacto al municipio Santiago Ixcuintla y en segundo lugar al de Tecuala.

Según el Censo General de Población y Vivienda del 2000, la región norte de Nayarit tiene una población de 304 097 habitantes, que constituyen 33.05% de la población estatal. Con base en la figura 15, el municipio con mayor densidad poblacional es Santiago Ixcuintla, la cual por los asentamientos y las actividades antropogénicas que ahí se desarrollan, podrían estar impactando directamente al sistema lagunar.

Se estima 27 000 personas asociadas a las actividades pesqueras (Conanp, 2009); además existe una gran heterogeneidad en la capacidad de organizarse, así como la falta de proyectos productivos alternativos en la pesca; cabe destacar que de las 136 granjas camaronícolas el 40% tienen serios problemas de operación. Además, desde el punto de vista social, existe un deterioro de la calidad de vida, disminución de fuentes de trabajo y desarrollo, con falta de participación social, asentamientos desorganizados en las márgenes de los ríos con riesgos de los

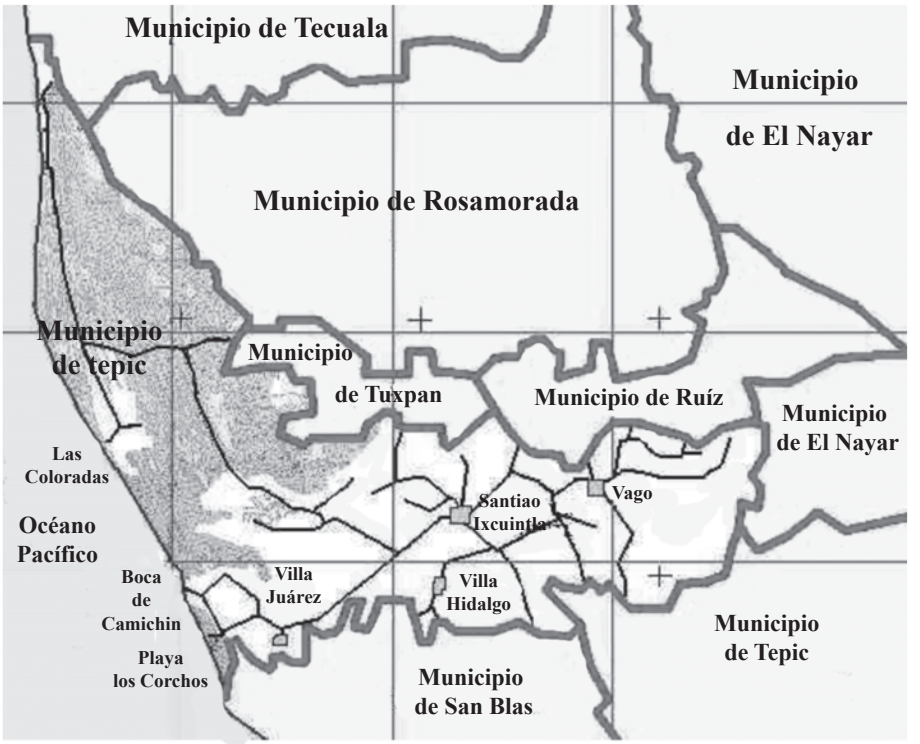


Figura 14. Principales municipios que rodean al Marismas Nacionales (tomado http://ww.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/nayarit/mpios/18015a.html.

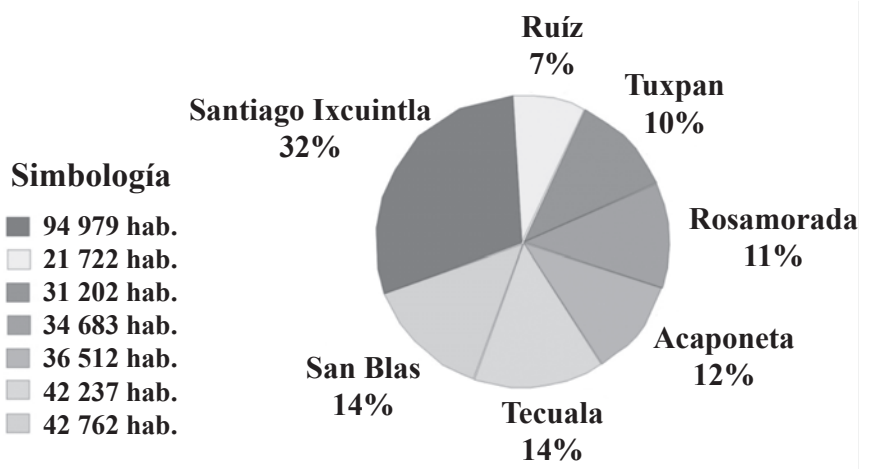


Figura 15. Distribución poblacional por municipios en Marismas Nacionales. Fuente: INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda, Nayarit 2000.

pobladores por inundaciones normales y falta de educación ambiental. En la tabla 2 se observa que los municipios de Tuxpan, Santiago Ixcuintla y Rosamorada tienen las mayores actividades pesqueras y acuiculturales que requieren de un ambiente acuático con un flujo de agua dulce y marina adecuado.

Ocupan el segundo lugar las actividades comerciales y de servicios. La mayor superficie agrícola es de aproximadamente 3 000 km^2, la mayor cobertura se presenta en el municipio de Santiago Ixcuintla con 54 037.27 ha, Tecuala con 574.5 ha, Rosamorada con 24 622 ha, Acaponeta con 18 888 ha y San Blas con 37 058 ha, que rodean al sistema lagunar. De estos Santiago Ixcuintla posee la mayor área de riego, mientras que en Acaponeta predomina la agricultura de humedad y en Tuxpan la de temporal.

El desarrollo de la agricultura ha sido amplio a tal grado que ha reducido áreas lagunares y de vegetación, especialmente en los municipios de Tecuala y Tuxpan.

Se desarrolla una actividad forestal que según la Conanp tiene una producción estatal de mangle blanco de 15 millones de pesos al año, la cual la realizan 1 500 personas en toda el área de Marismas Nacionales. Sin embargo, dado que no se trata de un aprovechamiento maderable (que extrae ramas y no el tronco principal) esta actividad no afecta la pesca (se estima que por cada hectárea de manglar se produce anualmente 800 kg entre pescado y camarón. Turner, 1991), como otras modificaciones naturales y antropogénicas en esta zona.

Pesca y acuicultura

El gran potencial de Nayarit para el desarrollo de la acuacultura y la pesca se basa en los siguientes recursos naturales:

- 163 kilómetros de litoral
- Además de sus nueve ríos importantes: Santiago, San Pedro, Bejuco, Rosamorada, San Francisco, Acaponeta, Cañas, Escuinapa y Baluarte

Tabla 2. Superficies acuáticas y actividades que se desarrollan en los municipios adyacentes al humedal de Marismas Nacionales.

	Litorales Km	Cuerpos de agua ejidales (km^2)	Personal ocupado acuacultura	Personal ocupado pesca
Rosamorada	0.0	128.2	586	1 920
Ruíz	0.0	0.0	0.0	21
San Blas	52.1	9.2	525	724
Santiago Ixcuintla	81.6	88.3	449	1 641
Tecuala	29.4	93.2	423	1 365
Tuxpan	0.0	2.0	0.0	2 581

Fuente: INEGI. Merco Geoestadístico Municipal 2000. INEGI, Resultados del VIII Censo Ejidal, 2001, Soltapruna, Programa Estatal de Ordenamiento Territorial de Nayarit, 2003. INEGI, Censos Económicos, 2004.

- 55,000 hectáreas con posibilidades para el desarrollo de la acuacultura
- Actualmente se aprovecha alrededor del 13.5% de las 55 mil has con vocación acuícola.

La pesca y la acuacultura son las grandes aportaciones de la región norte a la economía del estado. En este sector, el mayor potencial se ubica en la costa norte de Nayarit, tanto en lo que se refiere a la plataforma continental, representada por sus litorales, así como por los cuerpos de agua, que en el primer caso representa el 56% del total estatal y en cuerpos de agua el 72%.

La pesca de camarón es una actividad importante en el Estado, la cual se desarrolla desde el norte hasta el sur del litoral del Estado, coexistiendo la pesca litoral marina, la estuarina, principalmente en Marismas Nacionales y la acuacultura.

En cuanto a importancia de actividades, la acuacultura supera actualmente a la pesca en producción bruta, si bien la ocupación es tres veces mayor en la pesca.

Por otra parte, la acuacultura se realiza fundamentalmente en la región norte, representando el 95% del total de la producción bruta estatal. (Plan Estatal de Desarrollo 2005-2011 Gobierno del Estado de Nayarit, (www.nayarit.gob.mx/ped/6norte.pdf).

El camarón blanco es la especie más importante para las pesquería estuarina, la cual representa más del 80% de las capturas totales en el Estado, seguido por el camarón azul con 13%; el porcentaje restante lo aportan el camarón café, cristal, botalón y rosado, estas especies son particularmente importantes al final de la temporada, ya que en los meses de enero a marzo, se agrupan en las bocas de ríos, arroyos y esteros de mucha afluencia al litoral; estos crustáceos se verían afectados, al modificar la hidrología fluvial del sistema lagunar, con consecuencias socioeconómicas negativas para los pescadores ribereños del área.

En el complejo lagunar Teacapán-Agua Brava-Las Haciendas incluyendo Mexcaltitán, la captura de camarón y ostión, según algunas fuentes de información tenían una gran importancia, pero han disminuido considerablemente debido a la influencia de diversos factores, como azolvamiento de las bocas marinas, aumento en el uso del arte de pesca llamado "tapo" (Conanp, 2009), con un esfuerzo pesquero alto, incumplimiento de vedas, asentamientos humanos, contaminación por agricultura y mal manejo de agroquímicos, así como por aguas residuales domesticas arrojadas a la laguna generando diversos problemas como contaminación microbacteriológica y eutrofización, afectando, además la salud pública y el uso urbano del agua.

Con información de Sagarpa (2007) el recurso camarón denominado de estero alcanzó en 1988, 1 800 toneladas anuales; en 1992 se obtuvieron 3 710 ton, y en el año 2007 de 3 530 ton que experimentaron cierta disminución; sin embargo no se informa de disminuciones significativas. Por otra parte, la camaronicultura tuvo un rendimiento de 2 955 ton en el mismo año según la Secretaría; por su parte la FAO (1995) informó un cultivo del crustáceo en 1988 de 11.8 ton alcanzado 224 ton en 1993. Tales discrepancias se pueden deber a los cambios ambientales ya señalados y por técnicas inadecuadas tanto de captura como del dominio técnico del cultivo. Tales diferencias se observan también en los registros del rendimiento del cultivo, ya que en el año 2007 se informan de 2 955 ton y en 2005 fueron 721 ton en 35 de las 136

granjas referidas por el Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Nayarit (CESANAY. http://www.cesanay.com/censogranjas.htm).

Las mismas discordancias se registran en la ostricultura, ya que en algunas fuentes de información no aclaran si son kilogramos o toneladas. En cuanto al ostión, la Sagarpa en 2007 describe una captura 383 kg y en cuanto al cultivo 736 kg anuales; FAO (1995) refiere 500 kg en 1992. Por su parte CESANAY señala un rendimiento por cultivo de 942 ton para cinco cooperativas en el 2007. En el caso del recurso ostrícola, se ha registrado una disminución al sur de Marismas Nacionales (Mexcaltitán), el cual puede ser resultado del mayor esfuerzo pesquero, intromisión salina a través de la apertura de la boca de Talegas, por la construcción de la Presa Aguamilpa o por contaminación.

Estas discordancias conllevarán a una imprecisión sobre la influencia del incremento del nivel del mar por el cambio climático en las actividades económicas costeras.

La adición de fertilizantes según el tipo de cultivo en la camaronicultura, llevará a incrementos de nutrientes en el agua de recambio aportados a las lagunas, considerando que el camarón asimila entre el 25 al 30 % de nitrógeno y fósforo, así como entre el 10 y 15% de carbono (De la Lanza-Espino y Martinez-Cordova, 1998; Saldias *et al*., (2002); por su parte, Páez-Osuna (2001) menciona un egreso en la fertilización de nitrógeno y fósforo entre el 30 y 35% que llegan al sistema lagunar. Esto llevará a una eutrofización con el incremento del nivel del mar y el retroceso de agua dulce por posibles represamientos de los ríos como el San Pedro y Acaponeta.

Según CESANAY el ostión se cultiva fundamentalmente en el estero boca de Camichín y estero Pozo Chino (Municipio de San Blas), y en el caso del camarón el mayor número de granjas se ubican en la periferia de la laguna Agua Brava (Municipio de Rosamorada); y en el municipio de San Blas; En este último cerca de la costa y en la parte más interna de la planicie costera.

Agricultura

El municipio con mayor superficie agrícola de humedad es Tecuala 75%, seguido por Tuxpan y Santiago Ixcuintla con 75 y 80% con agricultura de riego; Rosamorada presenta 50% de humedad y 50% de riego. FAO (1995), refiere una aplicación de fertilizantes a cultivos cíclicos en el municipio de Tecuala en el año de 1991 para diferentes tipos de cultivo de 3 374.38 ton; a su vez señalan que 1 705 ton son aplicadas a los cultivos adyacentes al río Acaponeta, que finalmente es un afluente de la laguna de Agua Brava. Tomando en cuenta que los cultivos asimilen entre el 30-50 % de los fertilizantes aplicados, el resto es transportado al ambiente lagunar.

Los municipios de Santiago Ixcuintla, Rosamorada, Tuxpan y San Blas cuentan con un importante inventario de ganado bovino, particularmente para producción de carne, existiendo zonas que tradicionalmente han sido productoras pecuarias y que cuentan con importantes extensiones de agostaderos así como con vocación para impulsar esta actividad no sólo en producción de carne, sino de leche.

El municipio de Santiago Ixcuintla contaba con el mayor número de personas dedicadas a la agricultura, siguiéndole en importancia San Blas y Rosamorada. Santiago Ixcuintla posee la mayor superficie irrigable de todo el estado, con casi 600 km^2.

Turismo

En el Plan Estatal de Desarrollo 2005-2011 el gobierno del estado de Nayarit considera que tiene un alto potencial en la región norte en materia turística, que se manifiesta principalmente en su franja de playas que inicia desde la costa de San Blas y continúa hacia el municipio de Santiago Ixcuintla, ahí es donde principia la playa de Novillero, hasta el municipio de Tecuala, considerándose una de las playas más extensas del país, incluyendo el área de Las Haciendas en donde se encuentran las playas de El Colorado, Santa Cruz, Puerta de Palapares y Palmar de Cuautla con grandes posibilidades de desarrollo para turismo el ecológico y social por estar al igual que la isla de Mexcaltitán, en la zona estuarina, situación que favorece el desarrollo. Sin embargo, hay que considerar que para el desarrollo y crecimiento de esta actividad se requerirían mayores estudios, no sólo por el incremento del nivel del mar, sino también por ser un humedal de gran densidad de manglar y en consecuencia sitio Ramsar, sitio AICA y Área Natural Protegida.

Problemas socioambientales

La Región Norte, eminentemente agropecuaria, acuícola y pesquera presenta altos riesgos de sobrecarga en los ecosistemas, que repercutirá negativamente en deterioro de los recursos naturales y en la caída de los rendimientos. Lo anterior se presenta en los municipios de mayor densidad poblacional como Tuxpan, Santiago Ixcuintla y una parte de San Blas.

El conjunto hidráulico de la región ofrece situaciones adversas y de perjuicio, ya que la región es susceptible a siniestros que ocasionan los grandes torrentes que inundan tanto los centros de población, como cultivos y campos ganaderos. Por otro lado, mantiene grandes áreas de inundación interanual que favorece el crecimiento del manglar que a su vez permite sostener recursos pesqueros y desde el punto de vista ecológico una gran biodiversidad

Se observa un avance importante de la superficie de selva y bosque perturbados, por el orden de casi 1 500 km^2 – alrededor de 5.4% del territorio- en tanto que la superficie de palmar ha venido desapareciendo y los pastizales aumentando.

Existe un proceso de ensalitramiento de las tierras, sobre todo en el municipio de Santiago Ixcuintla, así como un agotamiento de suelos y contaminación de éstos y del agua.

En algunas áreas de la zona estuarina se observa sobreexplotación del camarón, originado por la utilización de artes de pesca inadecuadas, sobreesfuerzo y pesca furtiva, así como azolvamiento del sistema estuarino; teniendo como común denominador la falta de regulación de la pesquería, problemas financieros y de organización de las cooperativas pesqueras, así como la falta de integración formal a la actividad de pescadores libres y comercializadores marginales.

La falta de participación corresponsable de los lugareños dentro de los diferentes planes existentes genera resistencia, conflictos o, al mínimo, desinterés, en cualquier acción que se quiere emprender, incluyendo la conservación y rescate del ambiente.

El canal de Cuautla está generando la introducción del mar en terrenos agrícolas y urbanos, situación que puede ser el origen de conflictos, y que hace necesaria la intervención de las autoridades y la participación de los afectados para arribar a soluciones duraderas.

Vulnerabilidad

El incremento del nivel del mar por el cambio climático, traerá en el área de Marismas Nacionales modificaciones substanciales de las superficies cubiertas por los humedales con manglares y vegetación asociada, que dependen del hidroperiodo y que se encuentran en zonas bajas, con avance de la intrusión salina, consecuencia del incremento de las mareas por la apertura del canal de Cuautla, así como el menor aporte de aguas dulces por la tendencia a la disminución pluvial y fluvial de los ríos San Pedro y Acaponeta, así como el represado Santiago (aún no está cuantificado el impacto ambiental), bajando los niveles de inundación interanuales necesarios para la sobrevivencia de los manglares. Flores Verdugo (com. personal) estima una pérdida del 52% de los humedales a finales del siglo XXI por un incremento del nivel del mar de un metro. Es difícil que un humedal se recupere cuando se modifica el hidroperíodo (Carpenter *et al.,* 1992). Los sedimentos aportados por los ríos son capturados por la vegetación y si no mantienen la tasa de acumulación, la vegetación se verá sumergida por el incremento del nivel del mar; este aporte ha sido reducido significativamente por la construcción de presas, como por ejemplo Aguamilpa; al respecto se calcula que cerca del 70% de las playas del mundo se están erosionando (Bird, 1996). Debido a la erosión, la definición de Zona Federal Marítimo Terrestre es obsoleta y perjudicial bajo el cambio climático (Flores Verdugo, com. personal) e incremento del nivel del mar. Sumado a lo anterior, a consecuencia de la apertura del canal de Cuautla y de otros de menor tamaño y del incremento de la corriente costera se ha acelerado la erosión y por lo tanto la intromisión de agua marina al interior de la laguna de Agua Brava, donde se ha visto la mayor afectación al manglar con la salinización correspondiente

Una función de esta comunidad vegetal es que reduce el riesgo de exposición a fenómenos meteorológicos en las comunidades humanas y bióticas. Aunado a esto, la perdida de manglar ya sea por deforestación, cambio del uso del suelo, canalizaciones, desbalance entre la erosión y sedimentación, han conducido a la disminución de los recursos pesqueros.

Kovacs *et al*. (2004), señala que en Teacapán-Agua Brava mediante un Proceso de Jerarquía Analítica (AHP en inglés) basado en entrevistas con los pescadores muestran un alto grado de consistencia y sugieren que por efecto de los huracanes en los últimos 15 años, los manglares de mayor altura han desaparecido siendo sustituidos, según las circunstancias, por comunidades sucesionales de la misma especie y estructura (si el régimen hidrológico se mantiene) o por comunidades sucesionales de diferente especie y/o estructura (en los casos en que el régimen hidrológico ha sido alterado).

Según Millenium Ecosystems Assessment (2005), a nivel mundial se calcula que tres a seis veces más agua se encuentra en las presas que en los ríos y arroyos, y el confinamiento de agua en reservorios se ha cuadruplicado de 1960 a la fecha. Cabe señalar que debido a la tendencia a la disminución de los escurrimientos de los ríos Acaponeta y San Pedro, afluentes del humedal Marismas Nacionales, no sería recomendable su represamiento ya que la intromisión marina sería mayor.

En lo que se refiere al papel que juegan los humedales (como el de Marismas Nacionales por su extensión), como asimiladores del aumento de CO_2 asociado al calentamiento global, solo puede estimular e incrementar hasta cierto nivel la fotosíntesis y crecimiento de los manglares; ya que en largos periodos dicho incremento no se mantiene por largo tiempo, regresando la tasa fotosintética original. Hoghart (2007), señala que el efecto del incremento de CO_2 tiene un menor impacto en los manglares. El aumento de este gas puede favorecer a las especies invasoras y pueden alterar el funcionamiento de los ecosistemas (Dukes y Mooney, 1999).

Las grandes avenidas actúan como un factor esencial para el desarrollo de los procesos ecológicos (*e.g.* ciclos de nutrientes, sucesión ecológica), que en última instancia mantienen las características de biodiversidad y productividad de estos ecosistemas. La magnitud, duración, frecuencia, tasa de cambio y momento de ocurrencia de cada una de las grandes avenidas se traduce en una respuesta ecológica y geomorfológica diferente. Como resultado del cálculo efectuado y una supuesta obra de regulación del río San Pedro, la WWF (2009), propone igualar los caudales de entrada, con caudales de salida de una presa. En el caso de Marismas Nacionales los periodos interanuales de inundación por grandes avenidas han sido las que han adecuado el establecimiento de una flora y fauna diversas, que difícilmente pude asegurar el flujo de salida.

Con base en WWF (2009) "los primeros estudios de caudales ecológicos se abordaban desde planteamientos deterministas, donde se definía una frontera que separaba ecológico y no ecológico, conservación y no conservación (normalmente el límite era un número resultado de un método de cálculo también determinista). Actualmente los caudales ecológicos se abordan desde un planteamiento más abierto y complejo, que encuentra un apoyo fundamental en el principio del Gradiente de la Condición Biológica. Según este principio, la condición biológica de un ecosistema se va deteriorando al incrementar un factor de estrés (*e.g.* la alteración hidrológica), cumpliéndose de forma general que a mayor alteración hidrológica menor condición biológica. Los caudales ecológicos entendidos en sentido amplio encajan bien en este esquema de razonamiento. De hecho, la lógica de los caudales ambientales se articula a través de los objetivos de conservación (dime el río que quieres y te diré el agua que necesita), cumpliéndose también de forma general la norma de que a mayor interés de conservación mayores caudales ecológicos. Bajo este planteamiento, los objetivos ambientales traducidos en nivel de conservación para una especie, hábitat o ecosistema, se convierten entonces en un elemento clave en la aplicación de los caudales ecológicos".

Para la determinación del caudal ecológico se debe partir de un punto de vista ecológico holístico, en el que se incluyen diversas disciplinas para ofrecer elementos de conservación, manejo ambiental y económico.

En el estudio realizado por WWF en el 2009 se formularon dos propuestas para el caudal ecológico, es decir para condiciones hidrológicas en años medios y años secos, para respetar el patrón natural y el régimen de crecidas. De lo anterior se propuso para años de menor precipitación (año seco) un caudal ecológico en epoca de lluvias de 3.9 a 145 m^3/s y en la epoca seca de 5.3 a 1.0 m^3/s. Para años de precipitación media (año húmedo) en la epoca de lluvias de 29.5 a 247.8 m^3/s y en la epoca de secas de 7.9 a 1.8 m^3/s

Cabe destacar que los fenómenos meteorológicos (tormentas tropicales, ciclones o huracanes) han sido los que han coadyuvado a las grandes avenidas, gracias a la tendencia creciente de estos fenómenos de alcanzar los niveles cuatro en los últimos 25 años quizá asociados al cambio climático; al respecto Méndez-González *et al*. (2008), señalan la tendencia actual a la disminución de la lluvia en regiones donde normalmente llovía y viceversa.

La alteración del régimen hidrológico por el posible represamiento de alguno de los dos ríos que fundamentalmente drenan a las lagunas de Marismas Nacionales pudiera ocasionar el colapso del sistema, esto ya se ha observado en forma incipiente pero no cuantificada en el río Santiago con la construcción de la presa de Aguamilpa.

Qué pasaría si el agua de la posible presa incrementara las áreas agrícolas sin determinar el caudal ecológico necesario para la biodiversidad, recursos pesqueros y acuícolas, así como su repercusión social y económica en la población de Marismas Nacionales ya impactada por fenómenos naturales y acelerada por las actividades antropogénicas. Bajo este panorama cabría preguntarse ¿para que se quiere la presa?.

El humedal Marismas Nacionales sufre de un deterioro muy evidente desencadenado físicamente por la interrupción de los flujos de agua, sedimentos y nutrientes del río Santiago (80% de la aportación de agua-sedimentos), y la apertura artificial del canal de Cuautla (inició con 200 m y actualmente mide >3 km de ancho, aproximadamente). Este deterioro se refleja en la hipersalinización del sistema que ha ocasionado grandes pérdidas de manglar (>20 000 ha), la baja de la productividad pesquera y del ecosistema en general. Se registran áreas y canales (entre los cordones de playa) con fuerte erosión y otras con un significativo azolvamiento. Algunos autores estiman que por la influencia del cambio climático en la zona costera la comunidad de manglar migrará tierra adentro, siempre y cuando haya suficiente ambiente sedimentario y sin obstáculos topográficos además de no competir con las áreas agrícolas colindantes, sin embargo el represamiento de los ríos disminuiría el aporte fluvial y de sedimentos. También señalan que el incremento del nivel medio del mar determinará el grado del restablecimiento de los manglares, dunas y humedales costeros; sin embargo dado el incremento de aperturas de canales y la erosión, la penetración marina será mayor.

Bajo el incremento del nivel del mar e invasión del mismo hacia humedales interiores, desaparecerían zonas de refugio, alimentación y crianza de organismos que encuentran en esta región de condiciones aptas para la reproducción y el crecimiento hasta la edad preadulta.

Desde el punto de vista económico social, se presentan procesos de deterioro asociados a la desregulación total de las actividades productivas: pesca, agricultura, ganadería. Destaca la sobreexplotación de los recursos pesqueros, asociados principalmente al crecimiento de las

granjas camaronícolas y ostrícolas, que incluso requieren aportes de agua dulce para el recambio, pero que bajo un manejo de aguas arribas de las lagunas disminuiría sus rendimientos.

En el caso de otros crustáceos como el langostino y el camarón de río (cauque y moya, respectivamente) si se represaran los ríos afluentes al humedal Marismas Nacionales particularmente San Pedro, no habría migración aguas arriba para completar su ciclo de vida; asimismo se desconocen otras especies por lo que se requieren más estudios.

Con base en la información del ordenamiento ecológico realizado por la Universidad Autónoma de Nayarit (Gobierno del Estado de Nayarit, www.semanay.nayarit.gob.mx./Bitacora_Ambiental/Llanura_costera/informe/caracterizacion/4%20Ambiental.pdf) con imágenes del 2007, el área agrícola que rodea a Marismas Nacionales alcanza 1 930 km^2 la cual utiliza fertilizantes y biocidas que por escurrimientos directos o periféricos que llegan a los cuerpos de agua cambian su calidad (eutrofización) e incluso alcanzan al sedimento donde pueden ser almacenados por mayor tiempo y redifundidos por resuspensión de los sedimentos por corrientes de vientos o por la misma marea.

Según el Plan de Desarrollo del Estado, Nayarit 2005-2011, el agotamiento de los suelos la contaminación de éstos y del agua, se acentúa la crisis agrícola en la región norte que es la zona agrícola más importante de Nayarit.

Dado que no existe una regulación bien definida en acuacultura, pesca, ganadería, recursos forestales y agricultura que preceda a la construcción de las presas, se generarían serios problemas económicos-sociales sin control. La zona necesita ordenarse, la única forma es estableciendo estrategias estatales, municipales y comunitarias.

Literatura citada

Acosta V. J., 2003. Análisis de la estructura de la condición del bosque de manglar en el sistema lagunar Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales y sus relaciones al nivel de paisaje. Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., México. 89 p.

Álvarez-Rubio M,. F. Amezcua-Linares, y A. Yáñez-Arancibia, 1986. Ecología y estructura de las comunidades de peces en el sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, Nayarit, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,* 13(1):185-242.

Berlanga Robles C. A., 2006. Caracterización de los paisajes costeros de Sinaloa y norte de Nayarit, México a través del análisis de los patrones de cobertura del terreno. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

Berlanga-Robles C. A., y A. R. Luna, 2006. Análisis de las tendencias de cambio del bosque de manglar del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, México. Una aproximación con el uso de imágenes de satélite LANDSAT. *Universidad y Ciencia*, 23 (1):29-46.

Bird E.C., 1996. Beach Management. John Wiley y Sons. Nueva York, 281 p.

Carpenter S.R., S.G. Fisher, N.B. Grimm, y J.F. Kitchell, 1992. Global change and freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics,* 23: 119-139.

CNA, 2006. Estaciones climatológicas del Estado de Nayarit.

Conagua, 2006 Ciclones tropicales que impactaron directamente a México durante el periodo de 1970 a 2006.

Conanp, 2009. Manifestación de Impacto Regulatorio Proyecto de Decreto de la Reserva de la Biosfera Marismas.

De la Lanza Espino G., y L. Martínez Córdova, 1998. Fertilización de los sistemas acuícolas, p. 67-76. En: L. Martínez Córdova(ed.) Ecología de los Sistemas Acuícolas, AGT Editor, México.

Diario Oficial de la Federación, 2007. Tomo DCXLI No. 1 México, D.F., jueves 1 de febrero de 2007.

Dukes J. S., y H. A. Mooney, 1999. Does global change increase the success of biological invaders?. *TREE*, 14(4): 135-139.

FAO, 1995. Estudio para un plan de desarrollo acuícola en el sistema lagunar Teacapán-Agua Brava.

Flores-Verdugo F., F. González-Farias, O. Ramírez-Flores, F. Amezcua-Linares, A. Yáñez-Arancibia, M. Álvarez-Rubio, y J. W. Day, 1990. Mangrove ecology, aquatic primary productivity and fish community dynamic in the Teacapán-Agua Brava lagoon-estuarine system (Mexico Pacific). *Estuaries,* 13(2):219-230.

Fuentes-Mariles O. A., y M. Sánchez-Espinosa, 2002. Observaciones sobre la erosión playera cerca del poblado Palmar de Cuautla, Nayarit. Informe preparado para la Dirección General de Protección Civil y la Unidad Estatal de Protección Civil de Nayarit.

Gallegos García A., G. de la Lanza Espino, F. Ramos Durán, y M. Guzmán Arroyo. 1984. The 1982-83 warm episode in the off shore waters of Guerrero, Mexico (Northeastern Tropical Pacific Ocean) *Revista Geofísica,* 21: 43-55.

Gómez-Rojas, J.C., 2010. Valoración de los cambios espacio temporales de las variables ambientales: precipitación, hidrología, manglar y producción de camarón, del Sistema Lagunar Teacapán-Agua Brava, Nayarit, México. Tesis de Maestría Instituto de Geografía, UNAM.

Hoghart P. J., 2007. The biology of mangroves and seagrasses. Oxford University Press. 273 p.

Islas García A., 2008. Distribución de plaguicidas organoclorados en agua y sedimento durante la época de secas y lluvias en la Laguna de Agua Brava, Nayarit. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 90 p.

Kovacs J., J. Malczewski, y F. Flores-Verdugo, 2004. Examining local ecological knowledge of hurricane impacts in a mangrove forest using an analytical hierarchy process (AHP) approach. *Journal of Coastal Research*, 20,(3): 792-800.

Méndez González. J, C. J.J Navar, y O.V. Gonzales, 2008. Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. Investigaciones Geográficas. *Boletín del Instituto de Geografía*, 65: 38-35.

Millenium Ecosystems Assessment, 2005. Island Press, Washington.

Páez-Osuna F., 2001. Flujo y balance de masas de nutrientes en estanques camaronícolas. En: F. Páez Osuna (ed.) Camaronicultura y Medio Ambiente. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Programa de Alimentos, El Colegia de Sinaloa.

Pavia E. G., 2004. La influencia se los ciclones tropicales en la lluvia del noroeste de Baja California y Suroeste de California. GEOS, 20(1): 69-72.

Plan Estatal de Desarrollo 2005-2011 · Gobierno del Estado de Nayarit

Sagarpa, 2007. Anaurio estadístico. http://www.sagarpa.gob.mx.

Saldias C., S. Sonnenholzner, y L. Massaut, 2002. Balance de nitrógeno y fósforo en estanques de producción de camarón en ecuador. Contribuciones CENAIM 6 Congreso Ecuatoriano de Acuicultura. (http://www.cenaim.espol.edu.ec/publicaciones/boletin81/5.pdf

Turner. E., 1991. Factors affecting the relative abundance of shrimp in Ecuador. *In:* S. Olsen and L. Arriaga (eds.) A sustainable shrimp mariculture industry for Ecuador.

WWF, 2009. Propuesta de régimen de caudales ecológicos para el río San Pedro en Marismas Nacionales.

Xu, Z. X., K. Takeuchi, H. Ishidaira, y J. Y. Li, 2005. Long-term trend analysis for precipitation in Asian Pacific Friend river basins. *Hydrological Processes*, 18: 3517-3532.

Yáñez-Arancibia A., R. Twilley, y A. L. Lara-Domínguez, 1998. Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques,* 4(2): 3-19 3.

Yáñez-Arancibia, A., John W. Day, Robert R. Twilley y Richard H Day, 2010. Manglares frente al cambio climático: ¿tropicalización global del Golfo de México?, p. 231-262. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Manglares frente al cambio climático: ¿tropicalización global del Golfo de México?

Alejandro Yáñez-Arancibia, John W. Day, Robert R. Twilley y Richard H Day

Resumen

Los manglares constituyen un importante recurso forestal en la zona costera de toda la banda intertropical del planeta. El cambio climático acrecienta el impacto provocado por el hombre en las costas, e induce nuevas incertidumbres en la estabilidad ambiental aumentando la vulnerabilidad de los hábitats críticos. Frente al desafío que enfrentan los sistemas económicos, sociales y ecológicos se presentan evidencias de estructura funcional del sistema ecológico de manglar, revisitando la hipótesis planteada por Yáñez-Arancibia *et al.* (1998): *los manglares como hábitat forestado crítico de la zona costera presentan respuestas de acomodación frente a la variabilidad ambiental que induce el cambio global, desarrollando un papel estructural y funcional clave en la estabilidad de la línea de costa, la persistencia de hábitats y biodiversidad, el metabolismo del ecosistema, reduciendo riesgos e incertidumbre para el desarrollo sustentable del uso de sus recursos*. Evidencias recientes indican que los manglares en el Golfo de México responden a esta hipótesis y -como respuesta al cambio climático y sus efectos en la zona costera- muestran un patrón ampliado y consistente de distribución colonizando todo el Golfo hacia el norte, incluyendo la costa

(*) Versión reimpresa del capítulo con el mismo nombre en el libro *Impactos del Cambio Climático sobre la Zona Costera*, A. Yáñez-Arancibia (ed.) 2009. inecol. a.c., Texas Sea Grant Program, ine-Semarnat, Xalapa, Ver., México, 180 p. Con autorización.

atlántica de la península de Florida, ante la oportunidad de la "*tropicalización global del Golfo de México*". Más aún, en estos momentos las cuatro especies de manglar del Golfo de México ya se encuentran distribuidas en el estado de Texas.

Introducción

Los bosques de manglar –de manera natural- están entre los ecosistemas más estresados y vulnerables del planeta (Duke *et al.*, 2007; Valiela *et al.*, 2001), lo cual plantea gran preocupación a futuro. Por ello la zona costera del Golfo de México está siendo el foco de atención como laboratorio natural que está resintiendo significativamente el severo impacto que induce el cambio climático, y eso se refleja en contribuciones recientes, como por ejemplo sobre las respuestas de los manglares a la variabilidad climática (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1998; Jiménez, 1999; Milbrandt *et al.*, 2006; Proffitt *et al.*, 2006), la ecogeomorfología de los humedales (Day *et al.*, 2008), las respuestas de los peces y las pesquerías (Pauly y Yáñez-Arancibia, 1994; Greenwood *et al.*, 2006; Steven *et al.*, 2006; Paperno *et al.*, 2006; Switzer *et al.*, 2006; Heileman y Rabalais, 2008; Heileman y Mahon, 2008), la respuesta en abundancia y distribución de poblaciones de aves y mamíferos (Post *et al.*, 2009), la vulnerabilidad del endemismo de los vertebrados terrestres (Luther y Greenberg, 2009), la erosión *versus* la acreción de humedales (Cahoon, 2006), o la dinámica ecosistémica y vulnerabilidad geomorfológica costera (Woodroffe, 1990; Yáñez-Arancibia, 2005; Ortiz Pérez *et al.*, 2009). El marco de referencia para todo el Golfo está bien documentado y eso facilita integrar información y analizar la posibilidad de plantear algunas hipótesis para investigaciones futuras, las cuales ya se tornan urgentes (Twilley *et al.*, 2001; Poff *et al.*, 2002; Scavia *et al.*, 2002; Ning *et al.*, 2003; Greening *et al.*, 2006; Hoyos *et al.*, 2006; Day *et al.,* 2005, 2007, 2008, 2009a; Yáñez-Arancibia y Day, 2005; Yáñez-Arancibia *et al.*, 2007a, 2008).

El objetivo de este trabajo es describir el funcionamiento general de ecosistemas costeros en el Golfo de México y su vínculo con las predicciones del cambio climático, analizando cómo el cambio climático impactará a los humedales costeros, y las implicaciones que esto conlleva hacia el manejo-ecosistémico de la zona costera. El referente es el trabajo de Yáñez-Arancibia *et al.* (1998) sobre los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global, actualizando las respuestas que los manglares empiezan a manifestar para reacomodar su distribución ante la oportunidad de nuevas magnitudes de parámetros ambientales que condicionan su actividad biológica.

¿Tropicalización global del Golfo de México?

El cambio climático global está provocando diferentes impactos en el Golfo de México, incluyendo incremento de la temperatura superficial del océano, ascenso acelerado del nivel del mar, cambios en el régimen de lluvias y el patrón de descarga de agua dulce, cambios en la frecuencia e intensidad de las tormentas tropicales, e incremento de la temperatura ambiente

tierra adentro (Day *et al.,* 2009a). El ascenso acelerado del nivel del mar está haciendo presión significativa sobre los humedales costeros y otros ambientes de las tierras bajas. Dos importantes razones fisiológicas que inducen pérdida de humedales impactando manglares son: las inundaciones y los cambios de salinidad (Medina, 1999); el cambio climático magnificará ambos. La precipitación alrededor del Golfo varía desde árido hasta hiperhúmeda. La descarga de agua dulce está incrementándose en algunos estuarios del Golfo y disminuyendo en otros, con el impacto potencial de inundaciones severas, erosión de cuencas y los efectos hacia los humedales, la productividad costera, y el potencial para florecimiento de algas nocivas.

En general, el ascenso acelerado del nivel del mar, combinado con un patrón atípico de lluvias, e incremento de la temperatura, está provocando múltiples presiones ambientales sobre los humedales, debido al incremento de la salinidad en contraste con inundaciones excesivas (Day *et al.*, 2008). En términos generales, los cambios de largo-plazo en la frecuencia, intensidad, ritmo, y distribución de fuertes tormentas, está alterando la composición de especies y la biodiversidad de los humedales costeros en el Golfo de México, así como importantes niveles físico químicos, por ejemplo ciclos de nutrientes y productividad primaria y secundaria (Twilley, 1988; Greening *et al.*, 2006), aun cuando también se aprecia la subsiguiente recuperación del ecosistema (Paperno *et al*., 2006). En el corto-plazo, las aguas cálidas y mayores tasas de crecimiento propiciarán expansión de los humedales salobres, favoreciendo la productividad de especies marinas estuarino-dependientes. Sin embargo, este incremento de productividad puede ser temporal debido al efecto negativo de largo-plazo del ascenso del nivel del mar y pérdida de humedales impactando los hábitats preferentes de peces y macro invertebrados (Heileman y Rabalais, 2008, Heileman y Mahon, 2008; Day *et al.*, 2009b).

Dentro de este gradiente térmico general, las lluvias juegan un papel importante y manifiestan un claro gradiente de descarga (Day *et al.*, 1989; figura 1), desde árido a muy húmedo. En regiones del sur del Golfo, especialmente en la cuenca de drenaje de los ríos Grijalva y Usumacinta hacia la Sonda de Campeche, las lluvias pueden ser mayores a 3 000 mm/año. El promedio de las lluvias varía entre 1 500 y 2 000 mm/año en la porción centro-norte del Golfo desde Pensacola (Florida, EUA), hasta la llanura deltaica de Louisiana, además del sur del estado de Veracruz. En la mayor parte de las penínsulas de Florida y Yucatán y noroeste del Golfo, las lluvias varían entre 1 000 y 1 500 mm/año. Zonas áridas con menos de 1 000 mm/año se presentan en el noroeste de la península de Yucatán cerca de Progreso, y en el occidente de la costa del Golfo entre Tampico, Tamaulipas, y Corpus Christi (Texas, EUA). En esta amplia escala geográfica, las temperaturas y las lluvias son dos de los parámetros determinantes en la distribución de los humedales costeros (Day *et al.*, 1989, 2008; Yáñez-Arancibia y Day, 2004).

El cambio climático global está condicionando una nueva visión, no sólo ecológica en la apreciación del funcionamiento de los ecosistemas costeros, sino también socio económica replanteando consideraciones para el manejo costero integrado en el Golfo de México. Esto es así por diferentes razones. El clima en el Golfo está expandiendo su geografía tropical, comprimiendo la zona templada hacia el norte y noreste (figura 2). Actualmente, esta interfase se localiza principalmente en el sur de la Florida y en la frontera México-EUA en la región

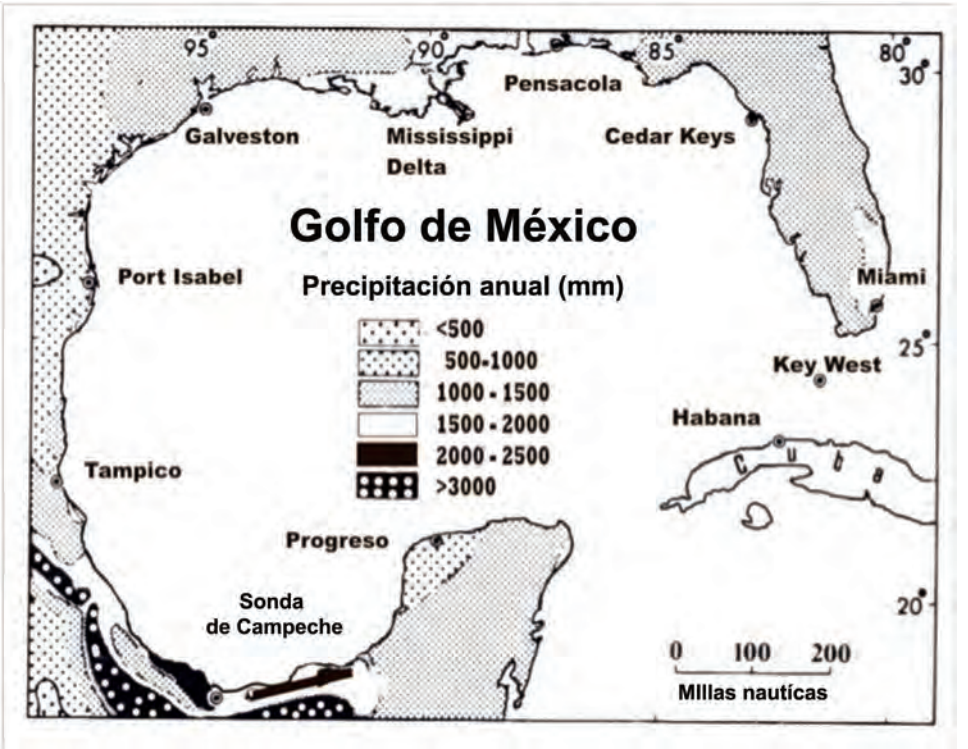


Figura 1. La región del Golfo de México se extiende desde el trópico en la costa de la península de Yucatán (Estados de Yucatán y Campeche) *ca.* 18 grados Latitud Sur, hasta la zona templada en el norte (Estados de Alabama, Mississippi, Louisiana) ca. 30 grados Latitud Norte, incluyendo gran variación en temperatura media anual y lluvias, las cuales son la principal determinante de la distribución de humedales costeros. Modificado de Day *et al.* (1989).

Tamaulipas-Texas basado en los datos de la Comisión de Cooperación Ambiental para América del Norte CCA-TLCAN (Yáñez-Arancibia y Day, 2004); pero Day *et al.* (2009a) plantea una modificación basado en los datos de United States Geological Survey. El norte del Golfo es actualmente templado pero, como el clima se calienta, la interfase templado-tropical se está moviendo hacia el norte y planteamos que toda la zona costera del Golfo será tropical en el siglo XXI. Conjuntamente con esto, se aprecia una mayor descarga de aguas fluviales en la vertiente global del Golfo (*e.g.* En el norte del Golfo por efecto de lluvias torrenciales y deshielos en las cuencas altas de Missouri, Ohio, y Mississippi), y en el sur por efecto de mayor intensidad de lluvias en las altas montañas (*e.g.* Chiapas, Oaxaca, Hidalgo). El promedio de descarga de agua dulce de la vertiente del Golfo en las costas mexicanas, es regularmente de 10 000 m^3/seg (Yáñez-Arancibia *et al.,* 2007b); sin embargo, en octubre de 2007 la descarga fue cercana a los 30 000 m^3/seg con severas inundaciones en Campeche, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas, en gran medida condicionado por el impacto de los huracanes Dean y Felix. A su vez, la descarga del Mississippi es regularmente de 18 000 m^3/seg; sin embargo, en abril de 2008 la descarga rebasó los 25 000 m^3/seg (Day *et al.*, 2008).

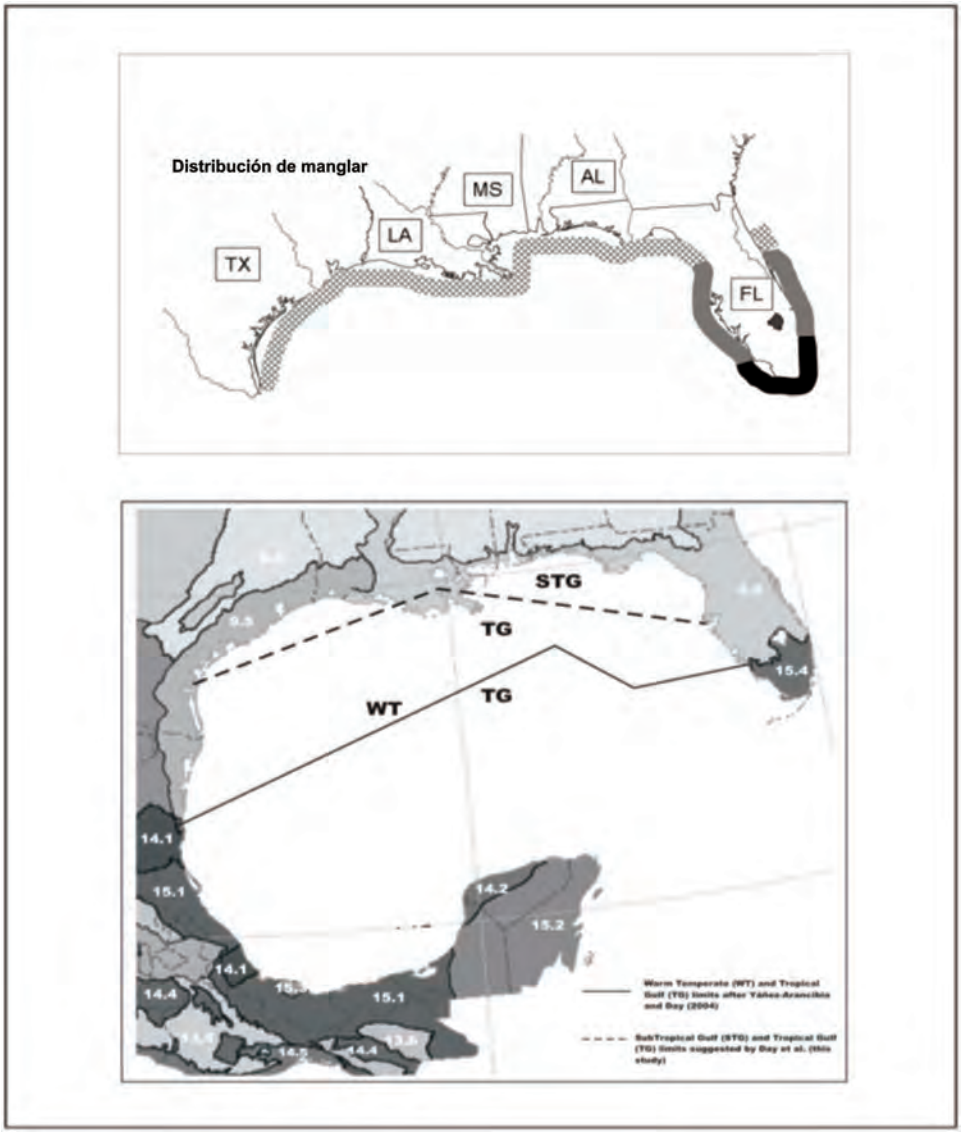


Figura 2. Cuadro Superior: *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* distribuidos en el norte del Golfo de México. Área Negra: *Avicennia* no dañada por escarcha invernal; *Rhizophora* escasamente dañado. Área Gris: *Avicennia* escasamente dañada; *Rhizophora* frecuentemente dañado por escarcha. Área Punteada: *Avicennia* con distribución espaciada, poblaciones locales abundantes con daño frecuente por escarcha; *Rhizophora* con distribución espaciada de plantas individuales afectadas por escarcha. Basado en Steven *et al.* (2006), Zomlefer *et al.* (2006), R. H. Day (2007). Cuadro Inferior: Ubicación de las zonas y fronteras templado calida (WT) y tropical (TG) en el Golfo de México; los números blancos indican las regiones ecológicas costeras en el Golfo de México según la Comisión de Cooperación Ambiental del TLC de América del Norte (Yáñez-Arancibia y Day, 2004). La línea punteada indica la nueva posición de la interfase tropical-templado propuesta por Day *et al.* (2009a).

El resultado global hacia la costa se está manifestando con mayores temperaturas, mayor aporte de agua dulce, insumos adicionales de sedimentos terrígenos y nutrientes, impactando la fisiografía plana de las llanuras de inundación deltáica y ofreciendo un escenario diferente para los humedales costeros. ¿Benéfico para los manglares?

Respuestas de humedales costeros al ascenso del nivel del mar y otros tensores ambientales

Los humedales costeros en el Golfo de México se enfrentarán a un acelerado ascenso del nivel medio del mar durante el siglo-21 (Woodroffe, 1991; Yáñez-Arancibia y Day, 2005; Greening *et al.*, 2006; Day *et al.*, 2008). El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007) predice que el nivel del mar se incrementará entre 20 y 80 centímetros para fines del siglo XXI, con una mejor estimación entre 40 y 45 centímetros. Esto es mucho más elevado que el ascenso del siglo-XX que fue de 10 a 20 centímetros (Gornitz *et al.*, 1982). Este incremento en el nivel del mar afectará extensas áreas de tierras bajas, particularmente humedales alrededor del Golfo de México. En zonas donde la subsidencia es muy significativa (*e.g.* 3 a 10 mm/año), como en los deltas del Mississippi y del Grijalva-Usumacinta, el incremento acelerado del nivel del mar provocará evidentes impactos sobre los ecosistemas de humedales costeros. En estos casos, el ascenso eustático del nivel del mar debe ser sumado a la subsidencia sedimentaria, para obtener el ascenso relativo del nivel del mar (ARNM), a que se enfrentarán los humedales en el siglo XXI. En el delta del Mississippi, el ARNM se incrementará de 1 a 1.7 cm/año en el siglo XXI, lo cual significa de 30 a 70% de incremento desde el siglo XX. Evidencias recientes del deshielo Antártico y de Groenlandia y la disminución del albedo por pérdida de nieve y hielos, permite sugerir que el ARNM será significativamente superior para el año 2100, tal vez de un metro o más (Rahmstorf, 2007), contrastando con la magnitud conservadora de IPCC (2007).

El ARNM desde las últimas décadas, ha reportado intrusión salina y pérdida de humedales en diferentes costas del Golfo de México, tanto en EUA (Salinas *et al.*, 1986; Conner y Day, 1991; Day *et al.*, 2000), como en México (Ortiz-Pérez y Méndez 1999; Yánez-Arancibia *et al.*, 2007a, 2007b, 2008), pero también en muchos otros deltas alrededor del mundo (Day et al., 2008, 2009a). Debido a que el ARNM en el siglo XX es 2 a 9 veces más bajo que el proyectado para fines del siglo XXI (Neumann *et al.*, 2000), existe una gran preocupación mundial sobre las pérdidas de los humedales costeros que se vislumbra. El ascenso proyectado en el nivel del mar inducido por el cambio climático, colocará a los humedales bajo un estrés adicional, con la potencialidad para mortalidades masivas de plantas intermareales y declinación en áreas naturales de crianza para peces y macro invertebrados. Para el caso del Golfo de México, esto será crítico en el sur de los Everglades, en el delta del Mississippi (EUA), el sistema lagunar-estuarino de Alvarado (Veracruz), el gran sistema laguna de Términos delta Grijalva-Usumacinta en Campeche y Tabasco, el sistema Chetumal (Quintana Roo) y los Petenes en la península de Yucatán.

Durante los periodos de ARNM, los humedales costeros sólo podrán persistir cuando su acreción vertical sea a una tasa igual o mayor que el ARNM. Para ello el suministro de sedimentos es crucial (Day *et al.*, 2008, 2009a). Diversos estudios han mostrado que los humedales costeros pueden tener acreción a una tasa igual al valor histórico de 1 a 2 mm/año (Gornitz *et al.*, 1982; Cahoon, 2006) y persistir por cientos de años (Orson *et al.*, 1987). Sin embargo, dado las predicciones del ascenso acelerado del nivel del mar para las próximas décadas, la acreción del suelo en la mayoría de los humedales deberá ser de 2 a 9 veces más alta que en el siglo XX, para poder sobrevivir. Excepcionalmente, algunos humedales en el norte del Golfo de México, como en el delta del Mississippi, están mostrando una acreción mayor a 10 mm/año (Day *et al.*, 2000, 2008, 2009a). Aunque los humedales puedan mostrar importante acreción, el estrés persistente terminará por provocar la muerte del humedal. El ascenso del mar combinado con disminución del aporte de agua dulce, incrementará la intrusión salina en el subsuelo, estresando significativamente a los humedales dulceacuícolas asociados a la planicie costera. Este conjunto de anomalías conforman el principal impacto del cambio climático a los humedales de la zona costera en el Golfo de México (Thieler y Hammar-Klose, 2001; Greening *et al.*, 2006; Day *et al.*, 2008, 2009a).

La vegetación de los humedales costeros vive en la zona intermareal caracterizada por la alternancia entre inundaciones y drenaje, suelos saturados de agua, abatimiento del oxígeno, estrés de temperatura y salinidad, y la producción de toxinas naturales como "sulfitos" que inhiben el crecimiento de las plantas (Mendelssohn y Morris, 2000). Para resolver estas condiciones severas, la vegetación costera tiene diferentes adaptaciones incluyendo la producción de raíces "aéreas" y tejido arénquimatico para capturar y retener el oxígeno requerido. Pero estas adaptaciones permiten sobrevivir solamente si el promedio del nivel del agua permanece constante, puesto que las plantas permanecen estresadas progresivamente y finalmente mueren, si las inundaciones persisten por largo tiempo (McKee y Patrick, 1988). Adicionalmente el incremento del ARNM resulta ahora en un severo estrés para la integridad ecosistémica de los humedales costeros. Esto es particularmente cierto en el Golfo de México, donde el cambio climático puede resultar en una dramática alternancia de reducción del agua dulce o el exceso de ella, provocando una combinación de tensores entre salinización de suelos, sobresaturación hídrica, abatimiento del oxígeno y contrastes del potencial hidrógeno (Day *et al.*, 2009a; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1998, 2007a, 2008).

La tasa a la cual ocurre la acreción sedimentaria (Elevación Relativa del Suelo ERS) está en función de la combinación de aportes tanto orgánicos como inorgánicos y el éxito en la formación de suelo (Day *et al.*, 1997, 2009a, 2009b; figura 3). Pero ambos dependen fuertemente de la ERNM. La materia orgánica se deriva principalmente por el crecimiento de las raíces de las plantas, mientras que el material inorgánico es principalmente aportado en la forma de sedimentos provenientes tanto del continente como del océano en intensas interacciones estuario-mar (Twilley, 1988; Yáñez-Arancibia *et al.*, 2007b). Los sedimentos fluviales son generalmente más importantes porque su aporte es más frecuente. El agua de los ríos amortigua la intrusión salina y el fierro que provoca precipitación tóxica de "sulfitos" (DeLaune y Pezes-

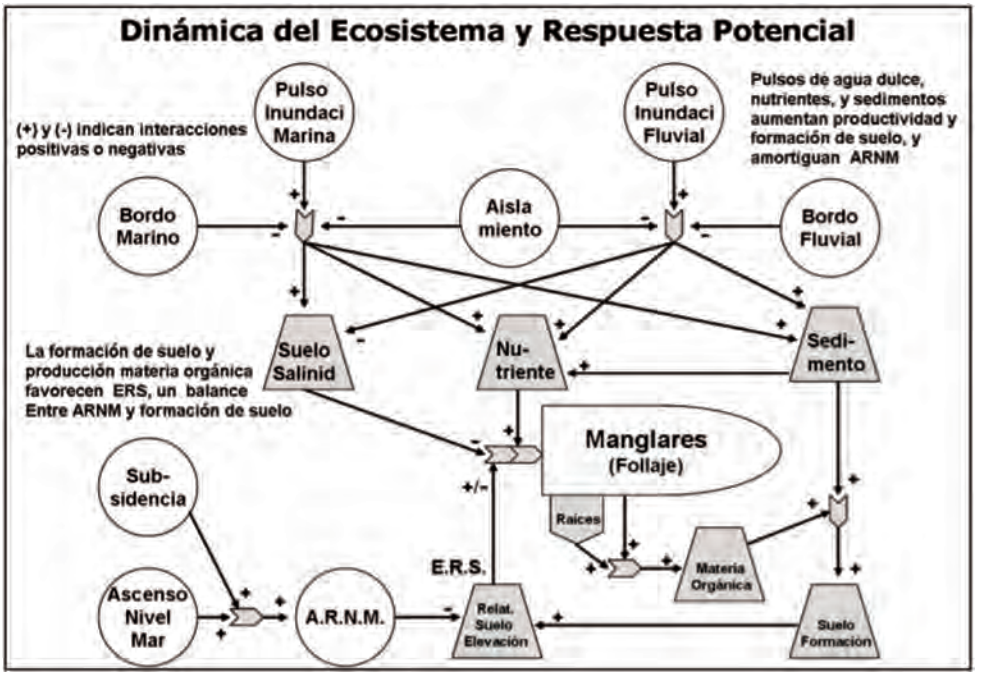


Figura 3. Modelo conceptual del funcionamiento deltáico como ocurre en el Golfo de México. El modelo muestra como los pulsos naturales de agua dulce, nutrientes y sedimentos, favorecen la productividad y la formación de suelo, y amortiguan el Ascenso Relativo del Nivel del Mar (ARNM). La formación de suelo alterna fracciones orgánicas e inorgánicas, y la producción de materia orgánica depende de la acreción y la Elevación Relativa del Suelo (ERS), un balance entre ARNM y la formación de suelo. Los símbolos (+) y (-) indican donde las interacciones ecológicas son positivas o negativas. Este funcionamiento es un proceso clave para comprender como el cambio climático impacta y donde vulnera los ecosistemas costeros en el Golfo de México. Modificado de Day *et al.* (1997) *in* Day *et al.* (2009a) y Yáñez-Arancibia *et al.* (2009a).

hki, 2003; DeLaune *et al.*, 2003). Muchos ríos en el Golfo de México aportan cada vez menos sedimentos inorgánicos en comparación con su aporte histórico. Por ejemplo, la contribución sedimentaria inorgánica hacia el delta del Mississippi ha decrecido al menos 50% desde 1860, debido a la contrucción de presas en el río Missouri, con lo cual se ha magnificado la pérdida de humedales (Kesel, 1989; Meade, 1995). Algunas proyecciones de la disminución casuística de la descarga de agua dulce en el norte del Golfo ha sido mencionadas por Day *et al*. (2005), pero otras proyecciones para el sur del Golfo indican mayores descargas por lluvias intensas en las altas montañas (Yáñez-Arancibia *et al*., 2007a, 2008).

El ecosistema de manglar en este planteamiento

Los manglares constituyen un importante recurso forestal en toda la banda intertropical del planeta (aproximadamente 240 x 10^3 km^2. Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez, 1999). Re-

cientemente FAO (2007) estima 3 242 754 ha para África, 6 047 798 ha para Asia, 2 018 537 ha para Oceanía, 2 358 105 ha para América del Norte/Central/y Caribe, y 2 037 764 ha para Sudamérica. Son los árboles que sostienen la biodiversidad de los ecosistemas costeros tropicales, en los humedales forestados intermareales y áreas de influencia tierra adentro. En México, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos indicó en el Inventario Forestal Nacional de los años 70s una superficie de 1.5×10^6 ha; pero el Inventario Forestal de Gran Visión de 1992 señaló que sólo quedan en existencia poco más de 500×10^3 ha, reflejando una tasa de deforestación de 60% en esos 20 años. En el año 2002 las cifras para México señalan la existencia de 882 032 hectáreas (FAO, 2007), lo cual implica dos cosas, o una estimación equivocada para 1992, o un incremento de áreas de manglar para el 2002. Las acciones antrópicas, por contaminación y cambio de uso del suelo, acrecientan las amenazas y riesgos naturales y esto ha sido más catastrófico que el propio cambio climático global.

La ubicación de estos humedales forestados en la interfase tierra-mar (formando conjuntos interdependientes) liga el ambiente marino-costero con el paisaje terrestre-costero (Twilley, 1988; Yáñez-Arancibia *et al.,* 1993, 2007b). Aún cuando los manglares predominan en zonas de mayor influencia de sedimentos terrígenos (*e.g.* deltas fluviales, lagunas costeras y estuarios), también pueden ser encontrados en la línea de costa de plataformas carbonatadas, con limitada o nula influencia de drenaje dulce-acuícola superficial (Lara-Domínguez *et al.*, 2005). Esta heterogeneidad de hábitats y contrastes hidrológicos, fisiográficos y geomorfológicos, da como resultado diversos ecosistemas de manglar, cada uno con características específicas de estructura y función (Twilley *et al.* 2006, *e.g.* ribereño, de borde, de cuenca, de hamacas, o enanos). Aunque existen relativamente pocas especies de árboles costeros en ecosistemas de manglar (*e.g.* 54 especies), los componentes de biodiversidad de estos ecosistemas son únicos debido a que incluyen nichos estructurales, son fronteras a nivel de eco-regiones, y actúan como refugio para numerosa fauna y especies microbianas (Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez, 1999). Estas especies halofíticas se reúnen en 8 familias que contienen mangles verdaderos y 12 géneros: Avicenniaceae (*Avicennia)*, Chenopodiaceae (*Suaeda)*, Combretaceae (*Laguncularia, Lumnitzera)*, Meliaceae (*Conocarpus, Xylocarpus)*, Myrsinaceae (*Aegiceras*), Plumbaginaceae (*Aegialitis*), Rhizophoraceae (*Rhizophora, Bruguiera)*, Sonneratiaceae (*Sonneratia)*; incluyendo un total de 11 especies en el nuevo mundo y 36 en el Indo Pacífico y África, estando representadas en México 4 especies: *Rhizophora mangle, Avicennia germinans, Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus* (FAO, 2007).

El paisaje costero donde se desarrollan los manglares, es vulnerable por fuerzas naturales episódicas de alto impacto (*e.g.* huracanes, deslizamientos de tierras, subsidencia, diapirismo de lodo, aumento acelerado del nivel medio del mar, y cambio climático global. Kjerfve *et al.,* 1991; Snedaker, 1993). En el siglo XXI, los sistemas económicos, sociales y ecológicos del Golfo de México y Caribe, tienen un gran desafío en intensificar esfuerzos dirigidos al conocimiento y a la mitigación del cambio climático global, donde una gran limitante es la poca comprensión de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas costeros de la región (Yáñez-Arancibia *et al.*, 2007b, 2009; Heileman y Rabalais, 2008; Heileman y Mahon, 2008).

El fenómeno de "El Niño" combinado con los efectos que induce la ruptura de la capa de ozono atmosférica, y el efecto invernadero sobre el planeta, están afectando los patrones de temperatura, precipitación pluvial, depresiones tropicales, huracanes, descarga de ríos, y variación del nivel medio del mar, induciendo nuevas incertidumbres en la estabilidad ambiental de los hábitats críticos (Tarazona *et al.*, 2001). Los manglares no son la excepción, pero muestran sutiles evidencias para contender, con mejor éxito que otros humedales costeros, frente a esta nueva variabilidad física ambiental de ritmo acelerado (Yáñez-Arancibia *et al.,* 1998; Twilley *et al.*, 1999). México es uno de los países comprometidos con este desafío, lo cual ha sido claramente expresado en el documento publicado por la Semarnap (1997), denominado "México Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático". Aquí se destaca de manera puntual a la zona costera como el escenario base para la comprensión de la problemática del cambio global y la vulnerabilidad de los ecosistemas. Humedales costeros, cuencas bajas de los ríos, sistemas deltaicos, lagunas costeras, y la línea de costa, muestran pérdida de hábitats críticos por subsidencia, variación del nivel medio del mar, y erosión litoral, como efecto al cambio climático global particularmente evidente en el Golfo de México. Esto induce inestabilidad ecológica y agrega un elemento de riesgo en los proyectos de desarrollo económico y social en las costas.

Estructura, biodiversidad funcional y valoración del ecosistema

Los efectos producidos por el cambio climático global, están siendo evidentes a mayor celeridad que lo estimado hace treinta años. Es decir, en periodos cortos o, más aún, en tiempo real, el hombre está observando colapsos ecológicos y su efecto en los sistemas sociales y económicos como consecuencia que se atribuye al cambio climático global. La intensidad específica del fenómeno "El Niño" en los periodos 1982-1983 y 1997-1998 son las principales alarmas con que finalizó el siglo XX (Tarazona *et al.*, 2001). Si se intenta analizar la capacidad de los ecosistemas de manglar para responder a los efectos del cambio global y visualizar medidas de mitigación, es preciso comprender la dinámica del ecosistema (es decir, su estructura funcional), su biodiversidad funcional (o sea, el papel ecológico de sus componentes estructurales conspicuos), así como también estimar económicamente los servicios del ecosistema (la valuación de las funciones ecológicas). Así fue planteado originalmente por Yáñez-Arancibia *et al.* (1998), enfatizando en una hipótesis principal indicando que estos ecosistemas de humedales forestados tienen, paradójicamente, una gran capacidad de acomodación al mismo tiempo de su alta fragilidad como hábitat crítico, lo cual les permite contender con mejor expectativa que otros humedales costeros, frente a la variabilidad ambiental que está induciendo el cambio climático global.

Estructura funcional

El mosaico de hábitats de manglares provee gran variedad de componentes de biodiversidad que son importantes para la función y calidad ambiental de los ecosistemas estuarinos tropica-

les. La función ecológica dominante de los manglares es el mantenimiento de hábitats costero-marinos y la provisión adicional de alimento y refugio para una gran variedad de organismos a diferentes niveles tróficos. Además los manglares juegan un papel principal en mantener la calidad del agua y la estabilidad de la línea de costa, controlando la concentración y distribución de nutrientes y sedimentos en aguas estuarinas. Estos pantanos forestados son únicos donde las mareas modulan el intercambio de agua, nutrientes, sedimentos y organismos entre ecosistemas costeros intermareales tropicales. También los ríos y sus cuencas bajas vinculan la descarga de sedimentos y nutrientes desde el continente, modulando la productividad y biogeoquímica de estuarios tropicales, acoplándose esta dinámica con ecosistemas vecinos. Las múltiples funciones de los manglares inducen una productividad primaria y producción secundaria muy alta en costas tropicales.

Los manglares se presentan dentro de cinco grupos básicos de ambientes costeros, dependiendo de una combinación de energías geológicas, incluyendo la influencia relativa de la precipitación pluvial, descarga de ríos, amplitud de mareas, turbidez y fuerza del oleaje (Twilley *et al.*, 1996. *e.g.* Manglar de cuenca, manglar ribereño, manglar de borde, manglar de islotes o hamacas, manglar enano), esencialmente en litorales con influencia de sedimentos terrígenos (deltas fluviales, lagunas deltaicas, lagunas costeras, estuarios). La distribución espacial de estos tipos ecológicos dentro de la zona costera puede ser ilustrada en el gradiente de la figura 4 de Twilley *et al.* (1996).

Los dos tipos de clasificación de los ecosistemas de manglar, el geológico y el ecológico, representan diferentes niveles de organización del paisaje costero y en conjunto pueden ser usados para integrar diferentes escalas de factores ambientales que controlan los atributos de la estructura forestal de los manglares (figura 5). Las hojas producidas en el follaje del manglar, influyen en el ciclo de nutrientes inorgánicos en el piso del bosque, y la exportación de materia orgánica hacia las aguas costeras oceánicas (figura 6).

Está bien documentado por Twilley (1988), Twilley *et al.* (2006), Twilley y Day (1999), Lugo (1999) y Medina (1999), que la dinámica de la foliación del manglar, incluyendo productividad, descomposición y exportación, ejerce influencia en los presupuestos de nutrientes y materia orgánica en el ecosistema. Los manglares son ecosistemas forestados y muchas de las funciones ecológicas de ciclos de nutrientes descritas para bosques terrestres, pueden ocurrir también en estos bosques de humedales intermareales. Así, el ciclo del nitrógeno en el follaje del bosque está acoplado con la dinámica de los nutrientes en los suelos del mismo, y estos están influidos por la ecología nutricional que es especie-específico en estos árboles. La acumulación de hojarasca sobre el piso del manglar puede ser un importante factor para la inmovilización de nutrientes durante la descomposición (figura 6). La concentración del nitrógeno en la hojarasca, generalmente se incrementa durante la descomposición sobre el piso del bosque, siendo una función de la demanda de este sustrato por la micro biota que coloniza el detritus. En bosques de *Rhizophora* la tasa de descomposición de hojarasca es más baja y la inmovilización de nitrógeno es más alta, que en bosques de *Avicennia*, como resultado de una alta tasa C: N. Sin embargo, hay evidencias que la retranslocación de nutrientes previo a que ocurra la

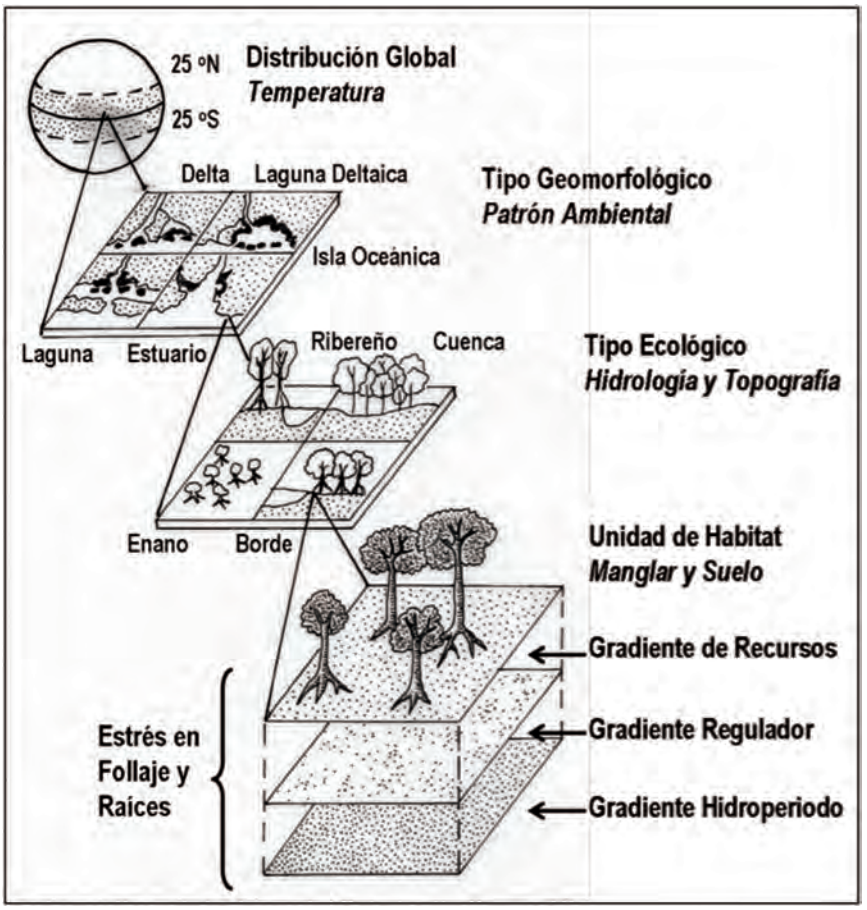


Figura 4. Sistema de clasificación jerárquica para describir diversos patrones de estructura y funcionamiento de los manglares, basado sobre factores que controlan la fisiografía, la concentración de recursos de nutrientes y tensores en el suelo. Por ejemplo, global (temperatura), regional (geomorfológico), local (ecológico) y los tensores en el follaje y raíces. Adaptado de Twilley, Snedaker, Yáñez-Arancibia y Medina (1996).

defoliación, es mayor en *Rhizophora* que en *Avicennia*, contribuyendo esto a la alta tasa C: N en hojarasca de *Rhizophora.* Esto sugiere que más nitrógeno puede ser reciclado en el follaje de los bosques dominados por *Rhizophora* que en *Avicennia.* Complementariamente, la mayor remineralización de nitrógeno en la hojarasca de *Avicennia* puede suplir la alta demanda de nitrógeno en el follaje.

La productividad de los manglares, tanto primaria como secundaria, generalmente se asocia con el concepto de "exportación" en el ecosistema lagunar-estuarino (Twilley, 1988; Twilley *et al.,* 1996; Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez, 1999; Yáñez-Arancibia *et al.*, 2007b) (figura 6). Esto se explica por la característica de los manglares de ubicarse en un ambiente modulado por la amplitud de las mareas y el flujo de los ríos. Por otra parte, la productividad de estos bos-

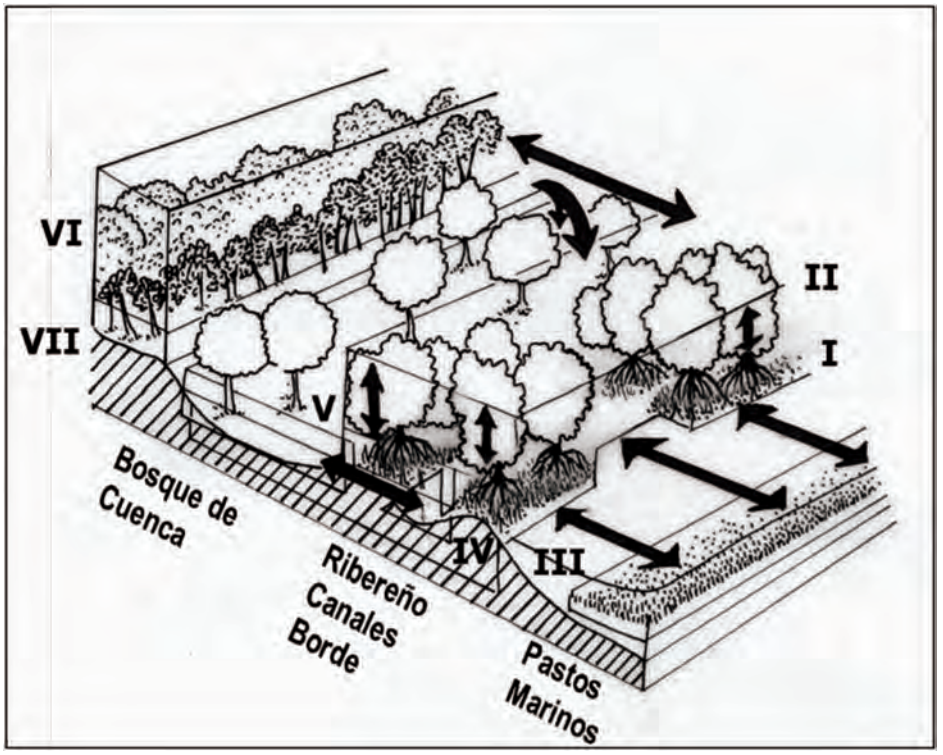


Figura 5. Tipos ecológicos de manglares y su distribución espacial dentro de la zona intermareal. Las flechas y los números romanos definen la ubicación y el movimiento de siete unidades especificas (ver Figura 4) por asociación de hábitats principales en los tipos de manglares.(I) Litoral/sub litoral, (II) Follaje arbóreo, (III) Comunidad bentónica e infauna, (IV) Comunidad de canales de mareas, (V) Comunidad de la cuenca, (VI) Comunidad arbórea tierra adentro, (VII) Comunidad terrestre tierra adentro. Adaptado de Twilley *et al.* (2006).

ques se relaciona con la fisiografía y el origen geológico del paisaje donde se sitúan, así como de sus respectivas características hidrológicas. Esta conclusión se basa principalmente sobre el intercambio de materia orgánica en los manglares, aunque hay evidencias que el reciclamiento de nutrientes puede también variar a lo largo de un continuo en hidrología. El tiempo de residencia de la hojarasca en el piso del bosque está fuertemente modulado por la frecuencia del flujo de la marea y el volumen de descarga de agua dulce. A nivel global, el promedio de exportación de carbón desde los manglares es aproximadamente 210 gCm^2 $año^{-1}$, con rango que varía entre 1.86 a 420 gCm^2 $año^{-1}$ y, aproximadamente, 75% de este material es carbón orgánico disuelto. Desde luego, la variación del nivel medio del mar, la amplitud de la marea, y los eventos de pluviosidad, pueden también incrementar la exportación de carbón orgánico desde los manglares. El patrón de exportación de hojarasca y detritus orgánico particulado desde los manglares no está exclusivamente restringido a fuerzas geofísicas. En algunos casos se presentan importantes factores biológicos que influyen en la dinámica del detritus foliar,

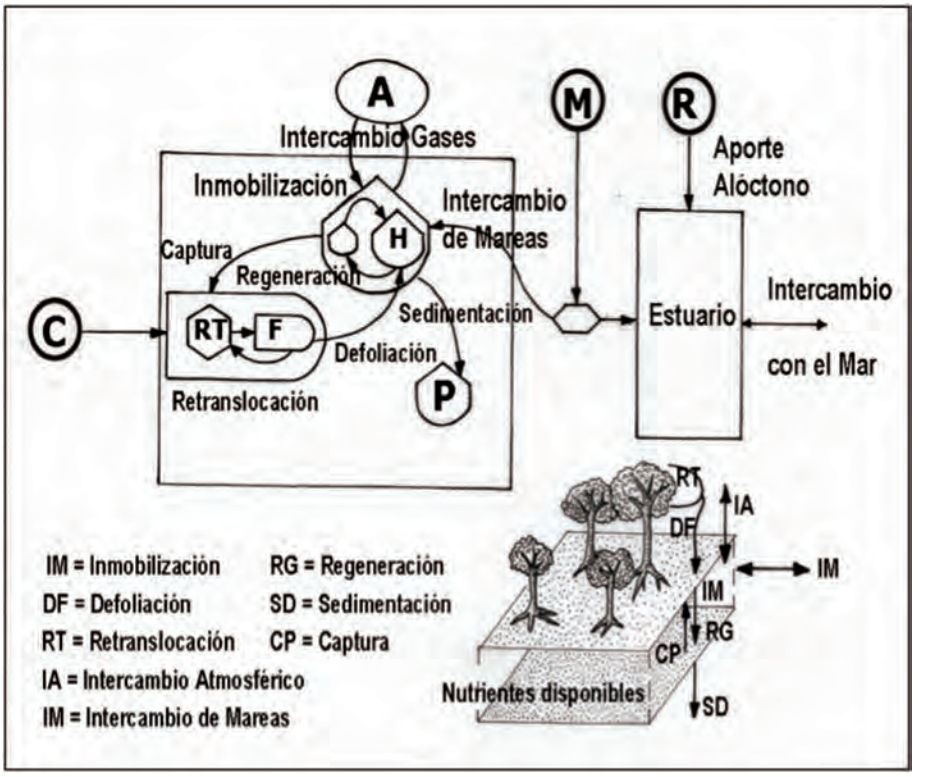


Figura 6. Flujos de materia orgánica y nutriente en el ecosistema de manglar, incluyendo intercambio con el estuario. Se presenta un diagrama del bosque de manglar con los recursos de nutrientes del suelo, describiéndose el acoplamiento espacial en estos procesos ecológicos. A) Atmósfera, N_2 y CH_4, M) Mareas, R) Ríos, C) Anhídrido carbónico CO_2, P) Peat, H) Hojarasca con regeneración e inmovilización de nutrientes inorgánicos, RT) Raíces y tallos, F) Follaje. Adaptado de Twilley *et al*. (2006).

lo cual demuestra la importancia relativa de conocer los procesos geofísicos acoplados con la biodiversidad y su influencia sobre las funciones ecológicas del ecosistema manglar.

Estas ideas sugieren que: *la dominancia alterna de ambos géneros de acuerdo a gradientes de zonación, balancea la dinámica del nitrógeno entre el follaje y el suelo del ecosistema de manglar, con la ventaja de ser un mecanismo flexible frente al cambio climático global y su efecto en los litorales tropicales.* (figura 7).

Biodiversidad funcional

Muchos organismos como los cangrejos desempeñan un papel importante en la estructura y flujo de energía de estos bosques a través de la dinámica del detritus de origen foliar. Aunque la alta diversidad de cangrejos y su efecto potencial en la productividad del bosque de manglar ha sido bien reconocida (*e.g. Uca, Sesarma, Chiromanthes, Cardisoma, Goniopsis, Ucides, Aratus)*, existe poca información cuantitativa sobre estructura de la comunidad, dinámica de las pobla-

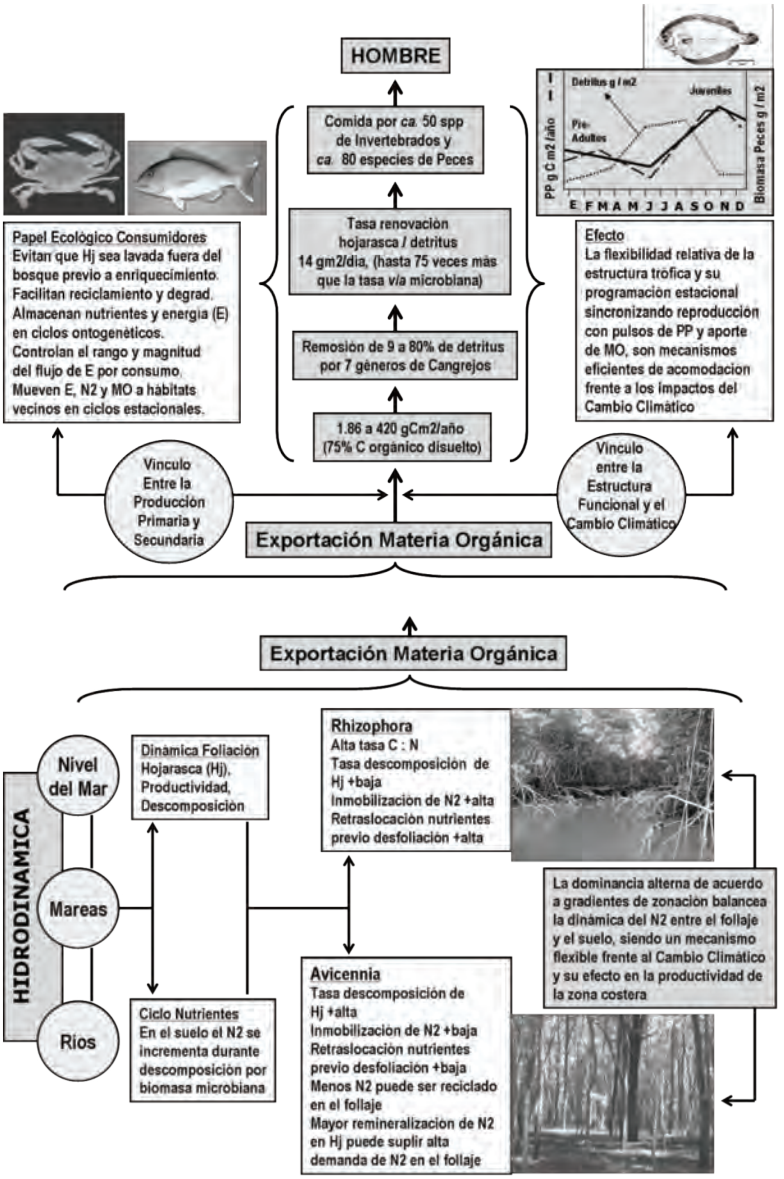


Figura 7. Flexibilidad de la estructura trófica de los macro consumidores (peces y crustáceos) y su programación estacional para sincronizar la reproducción y la incorporación con los pulsos secuenciales de productividad primaria y aporte de materia orgánica desde los manglares. Esto es un mecanismo eficiente de acomodación frente a la dinámica físico-ambiental y variabilidad que induce el cambio climático. Explicación en el texto.

ciones, e interacciones ecológicas entre los cangrejos y la producción de detritus via hojarasca (Twilley, 1988; Twilley *et al*., 2006).

Existen evidencias que los cangrejos pueden remover por consumo entre 9% y 79% del detritus producido por hojarasca, dependiendo de la época del año, y del nivel de inundación, siendo esto uno de los principales vínculos entre productividad primaria y producción secundaria en ecosistemas de manglar (figura 7). Más aún, se ha estimado que la tasa de renovación de hojarasca/detritus *via* cangrejos (aproximadamente 14 g m^2 $día^{-1}$), puede ser hasta 75 veces mayor que la tasa generada via micro biota. Además, el detritus particulado por los cangrejos puede luego ser comido por aproximadamente 50 especies de otros invertebrados y al menos 60 especies de peces (figura 7). Por lo tanto, el papel ecológico de estos macro-invertebrados es amplio ya que ellos: 1) Evitan que el material foliar de los manglares sea lavado fuera del bosque previo a su enriquecimiento, 2) Proveen de materia orgánica particulada a los detritívoros que requieren de partículas finas como alimento, 3) Regulan el tamaño de la materia orgánica particulada en el ecosistema, 4) Estimulan la colonización de la materia orgánica particulada por la micro fauna y micro organismos, permitiendo nutrientes disponibles para los árboles, 5) Simplifican la estructura y la composición química del detritus particulado, lo cual facilita la degradación por la micro biota, 6) Pueden afectar la estructura, composición de especies y expansión de los propágulos de los manglares, los cuales son comidos por los cangrejos entre 75 y 100% de la producción total de epicotilos germinados.

Por otra parte, los peces estuarinos -como consumidores secundarios- en los ecosistemas de manglar, pueden ser muy importantes en el flujo de energía y materiales en diferentes maneras (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1993; Yáñez-Arancibia y Lara Domínguez, 1999). Los peces pueden: 1) Almacenar nutrientes y energía, 2) Controlar el rango y magnitud del flujo de energía a través del consumo de fuentes alimentarias via pastoreo o detritus y, 3) Mover energía y nutrientes a través de las fronteras del ecosistema. En términos generales, el nécton -organismos libre nadadores- utiliza los manglares como hábitat crítico para protegerse y alimentarse en las diferentes etapas de su ciclo de vida. La mayoría de los peces en estos ecosistemas son migratorios de pequeña escala, pero algunas especies pueden ser residentes permanentes, fuertemente vinculados a la vegetación de humedales costeros (Deegan *et al*., 1986; Pauly y Yáñez-Arancibia, 1994; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1994). Principalmente se presentan 3 tipos de migración: 1) En ciclos diurnos, 2) En ciclos estacionales y, 3) Ontogenéticos. Las migraciones diarias están en función de los hábitos alimentarios, mientras que las migraciones estacionales pueden estar relacionadas con parámetros ambientales como salinidad, temperatura, turbidez, o funciones biológicas como reproducción y reclutamiento; y todo esto en función de los pulsos de productividad primaria. Los pulsos secuenciales de producción primaria por plancton y macrófitas como los manglares, acoplados con la exportación estacional de detritus, sugieren que la liberación de materia orgánica sostiene una alta producción secundaria y diversidad de especies consumidoras dependientes estuarinas (figura 7). Las especies dominantes de peces actúan como controladoras de la estructura y función de los macro consumidores, mientras que la variabilidad físico-ambiental y productividad de los manglares modula su diversidad de

especies. A través de la banda intertropical del planeta el número de especies de peces varía en un amplio rango que depende de las condiciones locales del manglar, la latitud, y la variabilidad ambiental, oscilando entre 20 y 200 especies, o más (Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez, 1999; FAO, 2007).

La estructura funcional de los manglares y la diversidad de hábitats que sostiene, provee alimento y refugio a esta gran diversidad de peces a diferentes niveles tróficos. Esto se refleja claramente en la estructura trófica global del nécton y en los cambios en la dieta de las especies, de acuerdo con la época del año, la edad de los peces y la disponibilidad de alimento. Los peces relacionados a los manglares muestran lo siguiente (Deegan *et al.,* 1986; Pauly y Yáñez-Arancibia, 1994; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1994): 1) flexibilidad de alimentación en tiempo y espacio, 2) compartición de una fuente alimentaria común por un conjunto muy diverso de especies de peces, 3) cada especie captura alimento desde diferentes niveles en la trama trófica, 4) la dieta cambia con el crecimiento, diversidad de alimento, y localidad dentro del estuario, 5) diversas especies utilizan tanto el patrón pelágico (pastoreo) como el bentónico (detritus) para la obtención de alimento.

Estos elementos sugieren que: *la flexibilidad relativa de la estructura trófica de los macro consumidores (peces y crustáceos) y su programación estacional para sincronizar la reproducción y la incorporación con los pulsos secuenciales de productividad primaria y aporte de materia orgánica, son mecanismos eficientes de acomodación frente a la dinámica físico-ambiental (e.g. los efectos en el litoral por el cambio climático global).* (figura 7).

Por otra parte, la fragmentación de los paisajes del manglar crea el mismo problema -para los organismos acuáticos migratorios- que el que se asocia con la fragmentación de bosques continentales. A su vez, la fragmentación del escenario manglar-pastos marinos o manglar-corales post evento de huracán, reduce la complejidad del ecosistema y la diversidad de crustáceos y peces, afectándose la estructura de la comunidad y las pesquerías locales, debido a la desintegración de la biodiversidad funcional. Este impacto de desintegración de la comunidad ictiofaunistica puede ser severo en el corto plazo, pero se presenta en seguida una recuperación notable a medio- y largo-plazo (Greenwood *et al.*, 2006; Stevens *et al*., 2006; Paterno *et al.*, 2006; Switzer *et al*., 2006); en gran medida por el nivel de amortiguamiento, flexibilidad ecológica, y eficiente recuperación que muestra el bosque de manglar.

Valoración de las funciones ecológicas

Los manglares se han degradado y manifiestan una evidente pérdida de su calidad ambiental. Esto se debe a diversas razones (Yáñez-Arancibia y Agüero, 2000; figura 8): 1) Cambios en la organización social de las comunidades humanas costeras, rotando la actividad económica entre pescador, campesino y artesano, 2) Incremento en el consumo de energía *per cápita* para desarrollar la economía costera, 3) Manejo fragmentado en el sector oficial, o ausencia total de un plan de manejo, ante la presión urbana, industrial, turística, agrícola y de acuacultura, 4) Depreciación del valor ecológico y uso irracional no sostenible, 5) Poco impacto de los resultados científicos y baja disponibilidad de los mismos en términos prácticos para los usuarios del

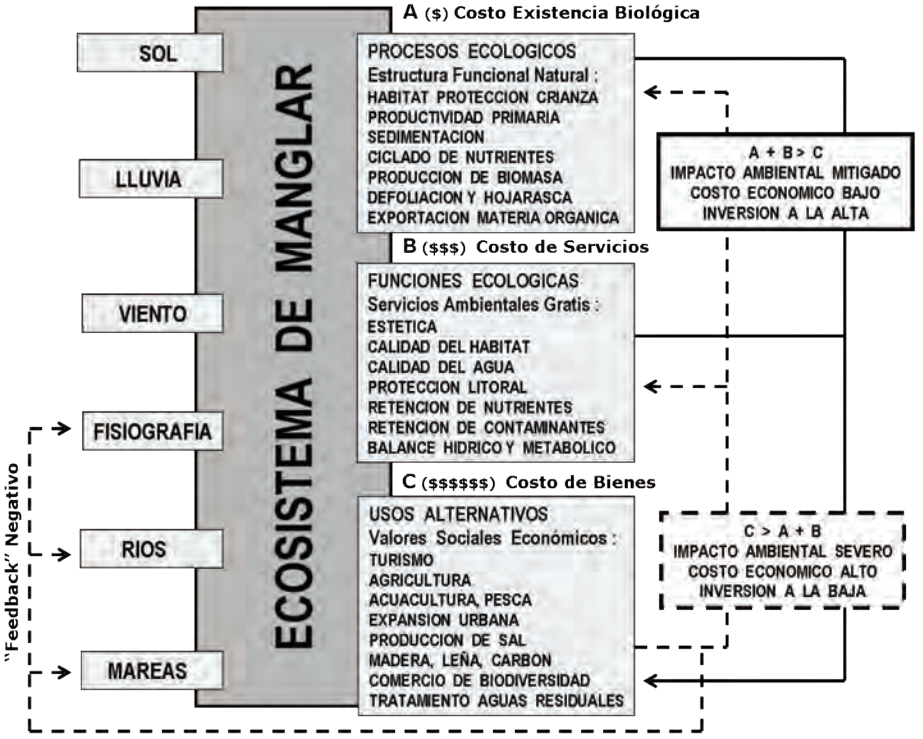


Figura 8. El concepto de "Ecosistema de Manglar" integrando los procesos ecológicos que definen su estructura funcional, las funciones ecológicas que definen sus servicios ambientales, y los usos alternativos que determinan su valor social y económico. Tradicionalmente el costo de existencia biológica (A) es subvalorado frente al costo de servicios ambientales (B) y al costo de bienes (C). El diagrama muestra las consecuencias negativas de sobrevalorar (C) induciendo insustentabilidad en el manejo de estos recursos. Adaptado de Yáñez-Arancibia y Agüero (2000).

sector oficial, 6). Carencia de términos de referencia de vocación y aptitudes de la región y de evaluación ecológica y de recursos, para desarrollos productivos y, 7). Reconversión de áreas de manglar para agricultura y acuacultura insustentable que colapsa en pocos años.

El valorar económicamente los ecosistemas de manglar ha avanzado con lentitud en México, puesto que estimar el valor económico de los servicios y funciones ecológicas implica cuantificar en términos monetarios la calidad del ambiente (Barbier y Strand, 1997; Lara-Domínguez *et al.*, 1998; Agüero, 1999; Sanjurjo Rivera, 2001), y en cierta medida esto sigue siendo controvertido metodológicamente y en cierta medida muy subjetivo. Esencialmente, se deben incluir en esta valoración los usos y funciones ambientales clave que afectan actividades productivas locales y regionales, tales como el mantener la productividad de las pesquerías, contribuir a la estabilidad de la línea de costa, sostener la biodiversidad, establecer la relación con el turismo costero y determinar el uso potencial de los manglares como planta natural de tratamiento de

aguas residuales (Costanza *et al.*, 1997; Day *et al*., 2009b). Los manglares tienen valores que pueden caracterizarse por las siguientes funciones ecológicas: 1) descarga y recarga de aguas subterráneas, 2) control de flujo y reflujo en el encuentro de las aguas dulces con las marinas, 3) control de erosión y estabilización costera, 4) retención de sedimentos, 5) retención de nutrientes, 6) mantenimiento de la calidad del agua incluyendo transformación de nutrientes, 7) estabilización micro climática, 8) amortiguamiento de los contaminantes de ecosistemas vecinos, 9) recreación y esparcimiento, 10) integración biológica y, 11) hábitats de una alta biodiversidad.

Se han estimado valores de servicios ambientales para la zona costera y humedales asociados, que son mucho más altos que para ecosistemas oceánicos o continentales (Costanza *et al*., 1997). Por ejemplo, esos autores han estimado en dólares por hectárea/año los siguientes valores: estuarios (22 832), pastos marinos y lechos de algas (19 004), arrecifes de coral (6 075), plataforma continental (1 610), humedales globales (14 785), pantanos de mareas y manglar (9 900), pantanos y planicie costera (19 500); todo esto considerando 17 parámetros de bienes y servicios que fueron valorados. Estudios específicos han señalado que la valoración económica total de los manglares puede variar entre 38 dólares y 77 mil dólares por hectárea, dependiendo del método de valoración, el número de servicios ecológicos valorados, la latitud, el entorno social, la percepción económica, y la presión por el uso del suelo para reconvertir los hábitats (Agüero, 1999). Asimismo, el establecimiento de actividades humanas en zonas costeras generalmente no incluye en sus estimaciones los valores de uso indirecto y de no-uso que pudieran ser impactadas por dicha actividad.

La valoración económica de los manglares se justifica (urgentemente) en términos de que la asignación actual de inversión o gasto público para estos recursos, ya sea para su conservación, o para su reconversión en hábitats alternativos, generalmente no refleja el valor que la sociedad y la tendencia internacional les otorga, particularmente al decidir su importancia en la integridad ecológica de la zona costera. Este planteamiento sugiere que: *sin duda, es una necesidad para la gestión ambiental valorar económicamente los ecosistemas de manglar, y obtener indicadores cuantitativos del daño económico por su degradación, ya sea por eventos naturales, acciones antrópicas, o el cambio climático global* (figura 8).

Respuestas esperadas del ecosistema al cambio climático global

Como los manglares son uno de los más emblemáticos hábitats críticos costeros en latitudes tropicales y subtropicales alrededor del mundo, el impacto costero ante el cambio climático tendrá significado ecológico, económico y social sobre este tipo de ecosistemas. Por sus características reproductivas, los manglares pueden acusar importantes respuestas sensitivas, estructural y funcionalmente, a los cambios climáticos. Otros humedales costeros salobres o dulceacuícolas y los pastos marinos, muestran una variabilidad más pronunciada en periodos cortos debido a fluctuaciones estacionales e interanuales y su tasa de renovación es muy rápida, por lo cual se dificulta su rápida adaptabilidad frente al cambio climático global.

UNEP (1994) presenta resumidamente los cambios esperados en la concentración de gases atmosféricos, en el promedio de temperatura global, y en el promedio del nivel del mar, según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Se conoce que el calentamiento global puede estar causado por los gases del efecto-invernadero. Estos son gases que pueden absorber la radiación infrarroja. La absorción de radiación térmica de onda larga en la atmósfera evita el escape de la energía térmica, provocando el incremento marcado de la temperatura de la atmósfera. La tabla 1 resume las principales respuestas esperadas de los ecosistemas costeros tropicales (manglares), frente a las predicciones sobre el cambio climático (IPCC, 2007). Los ecosistemas tropicales estuarinos son también vulnerables a los cambios en el medio ambiente costero debido a las perturbaciones que resultan del incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera. El CO_2 y otros gases de efecto invernadero pueden llegar en el 2050 al doble de la concentración presente al comienzo de la revolución industrial a fines del siglo XIX, aumentando la temperatura superficial del planeta de 2 a 5 °C. Si la temperatura promedio se incrementa 3 °C para el 2050 y permanece constante, el nivel del mar se incrementará aproximadamente 1 m, ó más, para el 2100. Un calentamiento global de 6 °C para el 2100 podría resultar en un incremento del nivel del mar de 2.3 m (> 100 cm por cada 100 años según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). Estos números son mayores que la tasa de incremento actual del nivel del mar, y son significativos en relación al ARNM observado durante la última fase del Holoceno.

Existe controversia sobre la tolerancia de los manglares al incremento del nivel del mar. Los manglares son un componente fundamental en los estuarios tropicales y se presentan en la interfase entre la tierra y el mar; por lo tanto, son muy sensitivos a los cambios en el nivel del mar. Algunos sostienen que incrementos entre 12 y 27 cm por cada 100 años harán colapsar estos ecosistemas; por el contrario, descensos del nivel del mar producirían una mayor expansión de estos bosques. Esto último no ha sido pronosticado en ninguna hipótesis alterna. Pero, sobre el ARNM, hay evidencias que los manglares no se verían afectados significativamente con ascensos entre 50 y 80 cm por cada 100 años (*e.g.* como se ha observado en Belice, Jamaica y Florida). Incluso durante los últimos 56 años, los manglares de Key West Florida se han expandido hacia el mar y hacia el continente, a pesar de los huracanes y aún con un incremento del nivel del mar equivalente a 23 cm por cada 100 años. Los cambios en la riqueza de especies de los manglares durante la migración horizontal hacia el continente, en respuesta a los cambios del nivel del mar, dependen de las respuestas específicas de cada especie del manglar al incremento en la inundación y erosión, y a los efectos del tamaño del propágulo y ritmo de la marea a lo largo de la zona intermareal, aunado a las anomalías inducidas por el paso de huracanes (Proffitt *et al.*, 2006; Milbrandt *et al.*, 2006). Estos dos factores indican que la profundidad de la inundación mareal puede ser el principal factor en regular la zonación de especies con el ascenso del nivel del mar. La mayoría de los estudios señalan que *Rhizophora* es más tolerante a la baja disponibilidad de oxígeno causada por la inundación mareal y la acumulación de agua que *Avicennia*. Si no hay barreras geográficas continentales, los manglares pueden migrar tierra adentro manteniendo a prudente distancia el incremento del nivel del mar. Asumiendo como constantes

Tabla 1. Principales respuestas esperadas de los ecosistemas costeros tropicales frente a las predicciones sobre los cambios climáticos. Basado en Snedaker (1993), UNEP (1994), Yáñez-Arancibia *et al*. (1998), Day *et al.* (2008).

Incremento del nivel medio del mar:
- La comunidad de manglar progradará tierra adentro si hay suficiente ambiente sedimentario y sin obstáculos topográficos.
- La erosión sobre el margen litoral se incrementará.
- El rango del nivel medio del mar determinará el nivel de restablecimiento de los manglares, dunas y humedales costeros.
- La productividad secundaria (y primaria acuática) se incrementará por la mayor disponibilidad de nutrientes y debido a la erosión y resuspensión.
Incremento en la concentración de CO_2 atmosférico:
- La fotosíntesis del follaje de los manglares no se incrementara significativamente.
- La eficiencia de los manglares en el uso del agua se mejorará. Esto puede o no verse reflejado en el crecimiento.
- No todas las especies de manglares responderán de igual manera.
Incremento en la temperatura atmosférica:
- Algunas poblaciones de manglares extenderán su distribución hacia latitudes mayores.
- En muchas especies de manglares habrá cambios en los patrones fonológicos, reproductivos y de crecimiento.
- Se incrementará la productividad neta global del ecosistema de manglar.
- La biodiversidad de plantas y animales en los manglares se incrementará (beneficios de microclima) y cambiará la composición florística y faunística.
- Se acelerarán los procesos microbianos en los manglares, en la interfase agua-sedimento.
Cambios en el patrón de lluvias:
- Los cambios en el contenido de agua del suelo y salinidad del sustrato, tendrán significativo impacto sobre el crecimiento de los manglares.
- Un incremento de la precipitación sobre la tasa de evapotranspiración incrementará la tasa de producción primaria de los manglares.
- Un incremento en la salinidad del suelo reducirá la productividad primaria y crecimiento de los manglares.
- La fauna eurihalina no se verá afectada por el incremento en salinidad, pero la distribución de especies estenohalinas se alterará significativamente.
Impacto esperado de los cambios climáticos sobre el uso del suelo, utilización y deforestación de los manglares:
- Se incrementará el riesgo de inundación de tierras bajas en la planicie costera.
- Se incrementará la erosión de los litorales blandos vulnerables en lagunas costeras, estuarios y deltas fluviales.
- Se incrementará el riesgo de intrusión salina.
- Se incrementará la frecuencia del daño causado por tormentas y huracanes.

otros factores ecológicos, *Rhizophora* con propágulos de gran tamaño y mayor tolerancia a las inundaciones invadiría y dominaría las zonas altas previamente ocupadas por *Avicennia* y *Laguncularia*, las cuales se retraerían hacia la nueva zona salina somera intermareal formada hacia el interior. Los manglares de borde compuestos básicamente por *Rhizophora* irían desapareciendo paulatinamente de la línea frontal en correspondencia con su nueva distribución hacia el interior.

La temperatura es el factor climático básico que modula los límites de distribución de los manglares hacia el norte y hacia el sur del planeta (*e.g.*, como está ocurriendo con el avance de los manglares hacia el norte en el Perú, hacia el sur en Santa Catarina, Brasil, y hacia el norte en el Golfo de México, observación personal de los autores). Se ha señalado que los bosques de manglares responderían a la disminución de la temperatura reduciendo la riqueza de especies, simplificando la estructura del bosque (altura y biomasa). Aunque el promedio de temperatura del aire y del agua muestra alguna correlación con la distribución de los manglares en el mundo (FAO, 2007), las temperaturas extremas pueden ser el principal factor de control. *Avicennia* y *Laguncularia* parecen ser más tolerantes a las temperaturas frías en el neotrópico que *Rhizophora.* Las diversas tolerancias a las bajas temperaturas entre diferentes especies de manglar, generalmente se infiere a su distribución natural y adaptaciones morfo-fisiológicas, metabólicas y reproductivas. Sin embargo, se ha demostrado que la diversidad genética influye en la tolerancia de los manglares al cambio climático global (R. Twilley, comunicación personal). La figura 2 muestra la nueva distribución de los manglares en el Golfo de México y aún la costa Atlántica de la Península de Florida y estos resultados fueron ya presentados en *Coastal & Estuarine Research Federation 19th Biennal Conference, Providence Rhode Island* (Day, 2007). En esa porción del Golfo normalmente los manglares son achaparrados y mueren periódicamente, o son severamente fragmentados por los fríos y escarcha. Sin embargo, después de 20 años sin escarcha (la última fue en diciembre de 1989, según *United States Geological Survey* in Day (2007), en las costas de Texas, Louisiana y el noreste de la Florida, el manglar negro (*Avicennia germinans*) se está expandiendo rápidamente en Texas y Louisiana, a la vez que el manglar rojo (*Rhizophora mangle*) está siendo reportado al norte de su registro histórico en Florida. Actualmente, *Avicennia* en Port Fourchon (Louisiana, EUA), y Harbord Island (Texas, EUA), está desplazando rápidamente a otra vegetación en humedales salobres, y esto puede ser fácilmente detectado con imágenes Landsat. Algunos árboles de *Avicennia* en Louisiana alcanzan ahora más de 8 centímetros de diámetro y más de 4 metros de altura. *Rhizophora* es más susceptible al daño causado por la escarcha, y aunque los propágulos son llevados por las corrientes tanto desde México como desde la Florida, los pequeños retoños no son persistentes todavía, pero se observan plántulas de presencia anual. El manglar blanco (*Laguncularia racemosa*) y el manglar botoncillo (*Conocarpus erectus*) están restringidos por la intolerancia a la escarcha y no se han encontrado al norte de Cedar Key (Floirda, EUA). Richard H. Day (comunicación personal) ha reportado en 2009 las cuatro especies de manglar del Golfo como habitantes regulares de los humedales costeros en el estado de Texas (CERF Abstract Proceedings 2009, www.erf.org). La consecuencia del reemplazo de los humedales salobres por manglares en el norte del Golfo

de México, incluye cambios en la estructura trófica del detritus orgánico, nuevos hábitats para juveniles de peces, y alternativa adicional de anidación de aves costeras (Day, 2007).

Estudios recientes (Day *et al.*, 2008, 2009a) indican que la frecuencia e intensidad de tormentas tropicales y huracanes se están incrementando bajo condiciones de calentamiento climático incidiendo directamente sobre estos humedales costeros. Puesto que los manglares están distribuidos en latitudes donde la frecuencia de huracanes es alta, es importante comprender cómo estos eventos afectan el desarrollo de los bosques (*e.g.* estructura del bosque, composición de especies) y la dinámica de la comunidad del ecosistema de manglar, incluyendo biodiversidad. Aún cuando el efecto es evidente en la defoliación, producción de hojarasca y la mortalidad de los árboles, también hay evidencias de una rápida recuperación por este daño (A. Lugo, R. Twilley, comunicación personal), aunado al papel que juega la dinámica del suelo controlando el crecimiento y desarrollo de los árboles.

Conclusiones

Revisitando la hipótesis

El cambio climático global está afectando la dinámica natural de la biosfera. La zona costera es una eco-región sensible donde los cambios inducidos y sus efectos, se están apreciando en tiempo real, con mayor celeridad que lo previsto. Los manglares, ubicados en la interfase tierra-mar controlan interacciones entre hábitats críticos de los humedales costeros con el océano adyacente. No obstante, son ecosistemas frágiles que están acusando el impacto frente al cambio climático, pero existen evidencias que estos humedales forestados tienen gran capacidad de acomodación para contender con mejor éxito que otros sistemas naturales, frente a esta variabilidad físico ambiental de ritmo acelerado que muestra el cambio global.

La respuesta final de los ecosistemas de manglar estará determinada por el balance dinámico entre la tasa de incremento del nivel del mar, la descarga de agua dulce, la acreción sedimentaria, la migración lateral potencial, y la temperatura. Cuando el incremento del nivel del mar es mucho mayor que la acreción sedimentaria, y la erosión y migración de la línea de costa sobrepasa la tasa a la cual pueden migrar los manglares, el ecosistema se sumergirá y será reemplazado por un ambiente costero marino. Si la tasa del incremento del nivel del mar es mayor que la acreción sedimentaria, pero la tasa de traslado de la línea de costa no sobrepasa la capacidad del ecosistema de migrar tierra adentro, el bosque de manglar podrá retraerse tierra adentro. Finalmente si el incremento del nivel del mar es relativamente pequeño, los manglares pueden permanecer en la línea de costa actual acumulando sedimentos en la vertical del sustrato. El ensayo predictivo de esta aproximación conceptual puede variar significativamente cuando otros factores, como el CO_2 y la temperatura, son incorporados en los modelos matemáticos que actualmente se diseñan para estimar respuestas al cambio climático global (Twilley *et al.*, 1999).

Estudios existentes sugieren que la dominancia alterna entre *Avicennia* y *Rhizophora* de acuerdo con gradientes de zonación, balancean la dinámica del nitrógeno entre el follaje y el suelo del ecosistema de manglar, con la ventaja de ser un mecanismo flexible frente al cambio climático global y su efecto en los litorales tropicales. Asimismo, otros estudios sugieren que la flexibilidad relativa de la estructura trófica de los macro-consumidores (peces y crustáceos) y su programación estacional para sincronizar la reproducción y la incorporación con los pulsos secuenciales de productividad primaria y aporte de materia orgánica, son mecanismos eficientes de acomodación frente a los efectos físico ambientales del litoral por el cambio climático global (figura 7). De manera que la macro fauna asociada (peces y macro invertebrados), normalmente recursos pesqueros, también tienen respuestas de acomodación y, aparentemente, podrán ir siguiendo la huella de los manglares en sus nuevos rangos de distribución Dado que, de manera general, los manglares son ecosistemas sub-valorados económicamente, es una necesidad para la gestión ambiental el valorarlos con precisión y el obtener indicadores cuantitativos del daño económico ocasionado por su degradación, ya sea por acciones antrópicas, o el cambio climático global (figura 8).

Existe controversia sobre la tolerancia de los manglares al incremento de gases de efecto invernadero, de temperatura, de ascenso del nivel del mar y de frecuencia e intensidad de tormentas tropicales y huracanes, más aún cuando esta variabilidad se está presentando a un ritmo mayor que el inicialmente predicho por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007). Sin embargo, la estructura funcional de este sistema ecológico, así como las evidencias revisadas permiten sostener la hipótesis inicialmente planteada por Yáñez-Arancibia *et al.* (1998) que: "*los manglares como hábitat forestado crítico de la zona costera presentan respuestas de acomodación frente a la variabilidad ambiental que induce el cambio global, desarrollando un papel estructural y funcional clave en la estabilidad de la línea de costa, la persistencia de hábitats y biodiversidad, el metabolismo del ecosistema, reduciendo riesgos e incertidumbre para el desarrollo sustentable del uso de sus recursos*".

Implicaciones en manejo costero

Los cambios climáticos globales son condición importante a considerar en el manejo costero integrado en el Golfo de México. Esto es así por diversas razones. El clima en el Golfo se dispersa en un rango tropical a templado que parecía estable en sus límites. Como clima cálido, la interfase tropical-templada, generalmente más oceánica que costera, se está ahora moviendo marcadamente hacia la zona costera en la porción norte y nororiental del Golfo. Inicialmente, esta interfase localizada en el sur de Florida y en la región fronteriza México-EUA en los estados de Texas y Tamaulipas (Yáñez-Arancibia y Day, 2004; figura 2); muestra actualmente otro patrón, abarcando las tierras bajas de Louisiana y Mississippi, incluso la costa Atlántica de Florida, teniendo como buen testigo la expansión de la distribución de los manglares. Esta "*tropicalización global del Golfo de México*", plantea un nuevo desafío para reajustar los términos de referencia hacia una planificación ambiental estratégica para la zona costera de la región.

Una estrategia de manejo de adaptación al cambio climático por el ARNM buscando sostener la productividad de los humedales costeros, es utilizar los recursos fluviales y los sedimentos terrígenos, teniendo en cuenta que la zona costera y el mar adyacente son otro "usuario" más de agua dulce, sedimentos y nutrientes, en estacionalidad y cantidades razonables con la capacidad de carga del ecosistema (figura 3). Un ejemplo de esto es el delta del Mississippi donde los bordos han propiciado el transporte de esos insumos, directamente hacia el mar, limitando las inundaciones naturales, atenuando el fortalecimiento de los humedales y su pérdida, e induciendo el establecimiento de la "zona muerta" en el piso oceánico de Louisiana y Texas (Mitsch *et al.,* 2001; Rabalais *et al.*, 2002; Day *et al.*, 2000, 2007, 2008). En un esfuerzo por resolver este problema, se está planteado la recuperación del aporte de agua dulce y sedimentos del río Mississippi a los humedales laterales de la planicie costera (via compuertas), como un manejo apropiado del cauce fluvial y asegurar la estructura funcional de los humedales costeros (Lane *et al.*, 1999, 2004; DeLaune y Pezeshki, 2003; DeLaune *et al.*, 2003; Costanza *et al.,* 2006; Day *et al.,* 2007). Será de vital importancia acoplar estas estrategias con la variabilidad que está induciendo el cambio climático en el sistema natural; es decir, además de incorporar el manejo del agua y sedimentos, acoplar las variables que induce el cambio de uso del suelo y la expansión de la frontera agropecuaria, entre otros impactos sociales y económicos sobre el ecosistema e manglar que se indican en la figura 8.

Finalmente, hay un consenso global en la comunidad científica que las actividades humanas están afectando el cambio climático, y el cambio climático alterará significativamente muchos de los ecosistemas de humedales costeros en escala mundial. Por lo tanto, el patrón climático general aquí presentado para el Golfo, cambiará sustancialmente para fines del siglo XXI induciendo una "*tropicalización global del Golfo de México*". Más aún, el cambio climático interactuará y magnificará, otros tensores que induce el desarrollo social y económico sobre la zona costera del Golfo, afectando la estructura funcional de sus humedales, y los bienes y servicios que proporcionan. Twilley *et al.* (2001) plantea tres cuestiones para que la sociedad y los tomadores de decisión, comprendan las consecuencias ecológicas más evidentes del cambio climático en el Golfo para los próximos 50 a 100 años, y qué se debería hacer para proteger la ecología, asegurar la economía, preservar la cultura, y asegurar la herencia natural de las costas del Golfo: ¿Cual será el futuro climático de la región costera del Golfo?, ¿Qué significarán esos cambios para los ecosistemas costeros del Golfo y su relación con los bienes y servicios que proveen?, ¿Cómo podrán los habitantes de las costas del Golfo enfrentar el desafío del cambio climático?

Literatura citada

Agüero, M., 1999. Como estimar el valor económico de los manglares: un método y un ejemplo, Capitulo 22: 319-368. *In:* A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (eds.), Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Instituto de Ecologia A. C., Xalapa México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA, 380 pp.

Barbier, E. B., y I. Strand, 1997. Valuing mangrove-fishery linkages: A case study of Campeche, Mexico. Annual Conference of European Association of Environmental and Resource Economics. Tilburg University, The Netherlands.

Cahoon, D. R., 2006. A review of major storm impacts on coastal wetland elevation. *Estuaries and Coasts*, 29: 939-942.

Conner, W. H., y J. W. Day, 1991. Variations in vertical accretion in a Louisiana swamp. *J. Coastal Res*., 7: 617-622.

Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, y M. van der Belt, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387 (15 Mayo): 253-260.

Costanza, R., W. J. Mitsch, y J. W. Day, 2006. A new vision for New Orleans and the Mississippi delta: Applying ecological economics and ecological engineering. *Frontiers in Ecology*, 4 (9): 465-472.

Day, J. W., y P.H. Templet, 1989. Consequences of sea-level rise: Implications from the Mississippi Delta. *Coastal Management*, 17: 241-257.

Day, J. W., C. Hall, W. M. Kemp, y A. Yáñez-Arancibia, 1989. Estuarine Ecology. Wiley Interscience, New York, 576 p.

Day, J.W., J. Martin, L. Cardoch, y P. Templet, 1997. System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems. *Coastal Management*, 25:115-154.

Day, J. W., G. P. Shaffer, L. D. Britsch, D. J. Reed, S. R. Hawes, y D. Cahoon, 2000. Pattern and process of land loss in the Mississippi delta: A spatial and temporal analysis of wetland habitat change. *Estuaries*, 23: 425-438.

Day, J. W., J. Barras, E. Clairains, J. Johnston, D. Justic, G. P. Kemp, J. Y. Ko, R. Lane, W. J. Mitsch, G. Steyer, P. Templet, y A. Yáñez-Arancibia, 2005. Implications of global climatic change and energy cost and availability for the restoration of the Mississippi Delta. *Ecological Engineering*, 24: 253-265.

Day, J. W., D. Boesch, E. Clairain, P. Kemp, S. Laska, W. Mitsch, K. Orth, H. Mashriqui, D. Reed, L. Shabman, C. Simenstad, B. Streever, R. R. Twilley, C. Watson, J. Wells, y D. Whigham, 2007. Restoration of the Mississippi delta: Lessons from Hurricanes Katrina and Rita. *Science*, 315: 1679-1684.

Day, J. W., R. Christian, D. Boesch, A. Yáñez-Arancibia, J. Morris, R. R. Twilley, L. Naylor, L. Schaffner, y C. Stevenson, 2008. Consequences of climate change on the ecogeomorphology of coastal wetlands. *Estuaries and Coasts*, 37: 477-491.

Day, J. W., A. Yáñez-Arancibia, J. H. Cowan, R. H. Day, R. R. Twilley, y J. R. Rybczyk, 2009a. Global climate change impacts on coastal ecosystems in the Gulf of Mexico: Considerations for integrated coastal management, Chapter 14. *In*: J. W. Day y A. Yáñez Arancibia (eds.), The Gulf of Mexico Ecosystem-based Management. Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. Texas A & M University Press, College Station,TX.

Day, J. W., A. Yáñez-Arancibia, y W. J. Mitsch, 2009b. Management approaches to address water quality and habitat loss problems in coastal ecosystems and their watersheds: Ecotechnology and ecological engineering. Ocean Yearbook, 23: 393-406.

Deegan, L.A., J. W. Day, J. Gosselink, A. Yáñez-Arancibia, G. Soberón y P. Sánchez-Gil, 1986. Relationships among physical characteristics, vegetation distribution and fisheries yield in Gulf of Mexico estuaries, p. 83-100. *In*: D. Wolfe (Ed.), Estuarine Variability. Academic Press, New York. 510 p.

DeLaune, R. D. y S. Pezeshki, 2003. The role of soil organic carbon in maintaining surface elevation in rapidly subsiding U.S. Gulf of Mexico coastal marshes. *Water, Air, Soil Pollution*, 3: 167-179.

DeLaune, R. D., A. Jugsujinda, G. Peterson, y W. Patrick, 2003. Impact of Mississippi River freshwater reintroduction on enhancing marsh accretion processes in Louisiana estuary. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 58: 653-662.

Duke, N. C., J. O. Meynecke, S. Dittman, A. M. Ellison, K. Anger, U. Berger, y S. Cannicci, 2007. A world without mangroves? *Science*, 317: 41-42.

FAO, 2007. The World's Mangroves 1980-2005. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Vol 153, 82 p.

Gornitz, V., S. Lebedeff , y J. Hansen, 1982. Global sea level trend in the past century. *Science*, 215:1611-1614.

Greening, H., P. Doering, y C. Corbett, 2006. Hurricane impacts on coastal ecosystems. *Estuaries and Coasts*, 29 (6A): 877-879.

Greenwood, M. F. D., P. W. Stevens, y R. E. Matheson Jr, 2006. Effects on the 2004 hurricanes on the fish assemblages in two proximate Southwest Florida estuaries: Changes in context of interannual variability. *Estuaries and Coasts*, 29 (6A): 985-996.

Heileman, S., y N. Rabalais, 2008. Gulf of Mexico LME, XV-50, p. 673-698. *In*: K. Sherman y G. Hempel (eds.), The UNEP Large Marine Ecosystem Report: A Perspective on Changing Conditions in LME´S of the World Regional Seas. UNEP Regional Seas Report and Studies No. 182. UNEP, Nairobi, Kenya, 852 p.

Heileman, S. y R. Mahon, 2008. Caribbean Sea LME, XV-49, p. 657-672. *In:* K. Sherman y G. Hempel (eds.), The UNEP Large Marine Ecosystem Report: A Perspective on Changing Conditions in LME´S of the World Regional Seas. UNEP Regional Seas Report and Studies No. 182. UNEP, Nairobi, Kenya, 852 p.

Hoyos, C., P. Agudelo, P. Webster, y J. Curry, 2006. Deconvolution of the factors contributing to the increase in global hurricane intensity. *Science*, 312: 94-97.

IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Scientific Basis, Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Jiménez, J. A., 1999. Ambiente, distribución y características estructurales en los manglares del Pacifico de Centro América: Contrastes climáticos, Chapter 6: 51-70. *In:* A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (eds.), Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Instituto de Ecologia A. C., Xalapa México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA, 380 p.

Kesel, R., 1989. The role of the Mississippi River in wetland loss in southeastern Louisiana, USA. *Environmental Geological Water Sciences*, 13:183-193.

Kjerfve, B., W. K. Michener, y L. R. Gadner, 1991. Impacts of climate change in estuary and delta environments. IUCN Symposium on Impacts of Climate Change on Ecosystems and Species. The Netherlands, 2-6 Dec 1991, 18 p.

Lane, R. R., J. W. Day, y B. Thibodeaux, 1999. Water quality analysis of a freshwater diversion at Caernarvon, Louisiana. *Estuaries*, 22: 327-336.

Lane, R. R, J. W. Day, D. Justic, E. Reyes, B. Marx, J. N. Day, y E. Hayfield, 2004. Changes in stoichiometric Si, N, and P ratios of Mississippi River water diverted through coastal wetlands to the Gulf of Mexico. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 60: 1-10.

Lara-Domínguez, A. L., A. Yáñez-Arancibia, y J. C. Seijo, 1998. Valuación económica de los servicios de los ecosistemas: Estudio de caso de los manglares en Campeche, p. 23-44. En: H. Benítez Díaz, E. Vega López, A. Peña Jiménez y S. Ávila Foucat (eds.), Aspectos Económicos sobre la Biodiversidad de México. Conabio, INE, Semarnat, México DF, 204 p.

Lara-Domínguez, A. L., J. W. Day, G. J. Villalobos Zapata, R. R. Twilley, H. Álvarez Guillén, y A. Yáñez-Arancibia, 2005. Structure of a unique inland mangrove forest assemblage in fossil lagoons on the Caribbean Coast of Mexico. *Wetland Ecology and Management*, 13: 111-122.

Lugo, A., 1999. Mangrove ecosystem research with emphasis on nutrient cycling, p. 17-38. En: A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (eds.), Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Instituto de Ecologia A. C., Xalapa México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD, 380 pp.

Luther, D. A. y R. Greenberg, 2009. Mangroves: A global perspective on the evolution and conservation of their terrestrial vertebrates. *BioScience*, 59 (7): 602-612.

McKee, K. y W. Patrick. 1988. The relationship of smooth Cord grass (*Spartina alterniflora*) to tidal datum's: A review. *Estuaries*, 11: 143-151.

Medina, E., 1999. Mangrove physiology: The challenge of salt, heat, and light stress under recurrent flooding, Chapter 9: 109-126. En: A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (Eds.), Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Instituto de Ecologia A. C., Xalapa México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA, 380 p.

Meade, 1995. United States Geological Survey, Circular 1133.

Mendelssohn, I. A., y J. T. Morris, 2000. Eco-physiological controls on the productivity of *Spartina alterniflora* Loisel, p. 59-80. *In*: M. P. Weinstein and D. A. Kreeger (eds.), Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 876 p.

Milbrandt, E. C., J. M. Greenawalt-Boswell, P. D. Sokolof, y S. A. Bortone, 2006. Impact and response of Southwest Florida mangroves to the 2004 hurricane season. *Estuaries and Coasts*, 29 (6A): 979-984.

Mitsch, W., J. W. Day, J Gilliam, P. Groffman, D. Hey, G. Randall, y N. Wang, 2001. Reducing nitrogen loading to the Gulf of Mexico from the Mississippi River basin: Strategies to counter a persistent problem. *BioScience*, 51(5):373-388.

Neumann, J. E., G. Yohe, R. Nicholls, y M. Manion, 2000. Sea-Level Rise and Global Climate Change. Pew Center on Global Climate Change, Arlington, VA, 48 p.

Ning, Z. H., R. E. Turner, T. Doyle, y K. Abdollahi (eds.), 2003. Integrated Assessment of the Climate Change Impacts on the Gulf Coast Region. United States Environmental Protection Agency, and United States Geological Services, Baton Rouge, Louisiana, 236 p.

Orson, R., R. Warren, y W. A. Niering, 1987. Development of a tidal marsh in a New England River Valley. *Estuaries*, 10: 20-27.

Ortiz-Pérez, M. A., y M. P. Méndez Linares, 1999. Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas*, 39: 68-81.

Ortiz-Pérez, M. A., A. P. Méndez Linares, y J. R. Hernández Santana, 2009. Sea-level rise and vulnerability of coastal low-land in the Mexican area of the Gulf of Mexico and the Caribbean sea. *In*: J. W. Day, A. Yáñez-Arancibia (eds.), The Gulf of Mexico: Ecosystem-based Management. Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. Texas A & M University Press, (in press).

Pauly, D., y A. Yáñez-Arancibia, 1994. Fisheries in coastal lagoons, Chapter 13, p. 377-399. *In*: B. Kjerfve (Ed.), Coastal Lagoons Processes. Elsevier Oceanography Series 60, 577 p.

Paperno, R., D. M. Tremain, D. H. Adams, A. P. Sebastian, J. T. Sauer, y J. Dutka-Gianelli, 2006. The disruption and recovery of fish communities in the Indian River Lagoon, FL, following two hurricanes in 2004. *Estuaries and Coasts*, 29 (6A): 1004-1010.

Poff, N. L., M. M. Brinson, y J. W. Day, 2002. Aquatic Ecosystems & Global Climate Change: Potential Impacts on Inland Freshwater and Coastal Wetlands Ecosystems in the United States. Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginia, 44 p.

Post, E., J. Brodie, M. Hebblewhite, A. D. Anders, J. A. K. Maier, y C. C. Wilmers, 2009. Global population dynamics and hot spots of response to climate change. *BioScience*, 59 (6): 489-497.

Proffitt, C. D., E. C. Milbrandt, y S. E. Travis, 2006. Red mangrove (*Rhizophora mangle*) reproduction and seedling colonization after Hurricane Charley: Comparisons of Charlotte Harbor and Tampa Bay. *Estuaries and Coasts*, 29 (6A): 972-978.

Rabalais, N. N., R.E. Turner, y D. Scavia, 2002. Beyond science into policy: Gulf of Mexico hypoxia and the Mississippi River. *BioScience*, 52: 129-142.

Rahmstorf, S., 2007. A semi-empirical approach to predicting sea-level rise. *Science*, 315: 368-370.

Salinas, L., R. DeLaune, y W. Patrick, 1986. Changes occurring along a rapidly submerging coastal area: Louisiana, USA. *Journal of Coastal Research*, 2: 269-284.

Sanjurjo Rivera, E., 2001. Valoración Económica de Servicios Ambientales Prestados por Ecosistemas: Humedales de México. Semarnat, INE, México DF, 46 p.

Scavia, D., J. C. Field, D. F. Boesch, R.W. Buddemeier, V. Burkett, D. R. Cayan, M. Fogarty, M. A. Harwell, R. W. Howarth, C. Mason, D. J. Reed, R.C. Royer, A. H. Sallenger, y J. G. Titus, 2002. Climate change impacts on US coastal and marine ecosystems. *Estuaries*, 25:149-164.

Semarnat, 1997. México: Primera Comunicación Nacional para la Convención Marco de las Naciones Unidas ante el Cambio Climático. Semarnat, México DF, 149 p.

Snedaker, S. C., 1993. Impact on mangrove, p. 282-305. *In*: G. A. Maul (ed.), Climate Change in the Intra-Americas Sea. Edward Arnold, Kent, UK.

Stevens, P. W., D. A. Blewett, y J. P. Casey, 2006. Short-term effects of a low dissolved oxygen event of estuarine fish assemblages following the passage of Hurricane Charley. *Estuaries and Coasts*, 29 (6A): 997-1003.

Switzer, T. S., B. L. Winner, N. M. Duham, J. A. Whittington, y M. Thomas, 2006. Influence of sequential hurricanes on nekton communities in a Southeast Florida estuary: Short-term effects in the context of historical variations in freshwater inflow. *Estuaries and Coasts*, 29 (6A): 1011-1018.

Tarasona, J., W. E. Arntz, y E. C. Maruenda (Eds.), 2001. El Niño en América Latina: Impactos Biológicos y Sociales. El Niño in Latin América: Biologic and Social Impacts. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima, Perú. 423 p.

Thieler, R.R., y E.S. Hammar-Klose, 2001. National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the US Gulf of Mexico Coast. US Geological Survey Open-File Report 00-179 (http://pubs.usgs.gov/of/of00-179).

Twilley, R. R., 1988. Coupling of mangroves to productivity of estuarine and coastal waters, p. 155-180. *In*: B. O. Jansson (Ed.), Coastal-Offshore Ecosystem Interactions. Springer Verlag, Berlin.

Twilley, R. R. y J. W. Day, 1999. The productivity and nutrient cycling of mangrove ecosystems, Chapter 10: 127-152. En: A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (eds.), Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Instituto de Ecologia A. C., Xalapa México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA, 380 p.

Twilley, R. R., R. Chen, y V. Rivera-Monroy, 1999. Formulating a succession model of mangrove wetlands in the Caribbean and Gulf of Mexico with emphasis on factors associated with global climate change. *Current Topics in Wetland Biogeochemistry*, 3: 118-141.

Twilley, R. R., E. J. Barron, H. L. Gholz, M. A. Harwell, R. L. Miller, D. J. Reed, J. B. Rose, E. H. Siemann, R. G. Wetzel, y R. J. Zimmerman, 2001. Confronting Climate Change in the Gulf Coast Region: Prospects for Sustaining Our Ecological Heritage Union of Concerned Scientist, Cambridge, Massachusetts, and Ecological Society of America, Washington DC, 82 p.

Twilley, R. R., S. C. Snedaker, A. Yáñez-Arancibia, y E. Medina, 2006. Biodiversity and ecosystem processes in tropical estuaries: Perspectives on mangrove ecosystems, Chapter 13: 327-370. *In*: H. A. Mooney, S. H. Cusham, E. Medina, O. E. Sala y E. D. Schultze (eds.), Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective. John Wiley & Sons Ltd.

UNEP, 1994. Assessment and Monitoring of Climate Impacts on Mangrove Ecosystems. United Nations Environment Programme, Regional Seas Report and Studies, No. 154, 62 p.

Valiela, I., J. L. Bowen, y J. K. York, 2001. Mangrove forests: One of the world's threatened major tropical environments. *BioScience*, 51: 807-815.

Woodroffe, C. D., 1991. The impact of sea-level rise on mangrove shoreline. *Progress in Physical Geography*, 14: 483-520.

Yáñez-Arancibia, A., 2005. Middle America, coastal ecology and geomorphology, p. 639-645. *In:* M. L. Schwartz, (ed.), The Encyclopedia of Coastal Sciences, Springer, Dordrecht, The Netherlands. 1211 p.

Yáñez-Arancibia, A. y A. L. Lara-Domínguez (eds.), 1999. Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Instituto de Ecologia A. C., Xalapa México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA, 380 p.

Yáñez-Arancibia, A., y M. Agüero, 2000. Integridad de ecosistemas y valor económico. En: Seminario de Valoración Económica del Medio Ambiente. INE-Semarnap. México DF, p. 1–23. www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/consultaPublicacion.html?id-pub=340&id_tema=5&dir=Consultas.

Yáñez-Arancibia, A., y J. W. Day, 2004. Environmental sub-regions in the Gulf of Mexico coastal zone: the ecosystem approach as an integrated management tool. *Ocean & Coastal Management*, 47 (11-12): 727-757.

Yáñez-Arancibia, A., y J. W. Day, 2005. Ecosistemas vulnerables, riesgo ecológico y el record 2005 de huracanes en el Golfo de México y Mar Caribe. www.ine.gob.mx/download/huracanes2005.pdf

Yáñez-Arancibia, A., A. L. Lara Domínguez, y J. W. Day, 1993. Interactions between mangrove and seagrass habitat mediated by estuarine nekton assemblages: Coupling primary and secondary production. *Hidrobiologia*, 264: 1-12.

Yáñez-Arancibia, A., A. L. Lara Domínguez, y D. Pauly, 1994. Coastal lagoons as fish habitats, Chapter 12: 363-376. *In:* B. Kjerfve (Ed.), Coastal Lagoons Processes. Elsevier Oceanography Series 60, 577 p.

Yáñez-Arancibia, A., R. R. Twilley y A. L. Lara-Domínguez, 1998. Los Ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques*, 4 (2): 3-19.

Yáñez-Arancibia, A., J. W. Day, J. S. Jacob, C. Ibáñez Martí, A. Tejeda Martínez, y C. M. Welsh 2007a. Conclusiones 1er Panel Internacional sobre Cambio Climático: La Zona Costera en Crisis en el Golfo de México, el Caribe y el Mediterráneo. Instituto de Ecología A. C., Texas Sea Grant Program. Xalapa México 30 Ago, 5 p.

Yáñez-Arancibia, A., A. L. Lara-Domínguez, P. Sánchez-Gil, y J. W. Day, 2007b. Estuary-sea ecological interactions: A theoretical framework for the management of coastal environment, p. 271-301. *In:* K. Withers and M. Nipper (eds.), Environmental Analysis of the Gulf of Mexico. The Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, Special Publication No. 1, Texas A&M University - Corpus Christi, 700 p.

Yáñez-Arancibia, A., J. W. Day, J. S. Jacob, A. Martínez Arroyo, S. Miranda Alonso, A. Tejeda Martínez, C. M. Welsh y A. Carranza Edwards, 2008. Conclusiones 2do Panel Internacional sobre Cambio Climático: La Zona Costera y su Impacto Ecológico, Económico y Social. Instituto de Ecología A. C., Texas Sea Grant Program, INE-Semarnat . Xalapa México 16 Oct, 8 p.

Yáñez-Arancibia, A., J. W. Day, W. J. Mitsch y D. F. Boesch, 2006. Following the ecosystem approach for developing projects on coastal habitat restoration in the Gulf of Mexico. Commission on Ecosystem Management Newsletter 5, Highlights News, IUCN Gland Switzerland. www.iucn.org/themes/cem/documents/cem/members_2006/restoration_esa_a.yanez_arancibia_nov2006.pdf

Yáñez-Arancibia, A, J. W. Day, y B. Currie-Alder 2009a. The Grijalva-Usumacinta river delta functioning: challenge for coastal management. Ocean Yearbook, Vol 23: 473-501.

Yáñez-Arancibia, A, J. J. Ramírez-Gordillo, J. W. Day, y D. Yoskowitz, 2009b. Environmental sustainability of economic trends in the Gulf of Mexico: What is the limit for Mexican coastal development?. In: J. Cato (ed.) Ocean and Coastal Economy of the Gulf of Mexico, The Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, Texas A & M University Press, College Station, TX. Chapter 5: 82-104.

Zomlefer, W. B., W.S. Judd, y D.E. Giannasi, 2006. Northernmost limit of *Rhizophora mangle* (red mangrove; Rhizophoraceae) in St. Johns County, Florida. *Castanea*, 71: 239-244.

Pech, D., 2010. Cambio climático global, eventos extremos y biodiversidad costera de la península de Yucatán, p. 263-276. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Cambio climático global, eventos extremos y biodiversidad costera de la península de Yucatán

Daniel Pech

Resumen

El calentamiento climático global (CCG) y sus efectos potenciales sobre la biodiversidad y por ende sobre el bienestar humano es uno de los fenómenos que ha recibido la mayor atención en todos los medios de comunicación y por lo tanto ha llegado a tener un impacto mediático considerable sobre todos los estratos sociales. Esto ha causado que muchas de las variaciones que actualmente están experimentando los ecosistemas estén siendo asociadas e interpretadas como una consecuencia directa del CCG. Sin embargo, los efectos directos e indirectos de la intensa actividad human están siendo probablemente los que mayormente estén causando modificaciones puntuales, locales y posiblemente regionales en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Independiente de su condición ecológica actual los ecosistemas costeros marinos están considerados como ecosistemas críticos y de alta vulnerabilidad a los efectos, principalmente del aumento del nivel del mar y del probable aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos (*e.g.* huracanes, tormentas, el Niño) como consecuencia del CCG. El presente capítulo hace una breve revisión de las evidencias, tendencias y predicciones de los potenciales efectos del CCG sobre la estructura, funcionamiento y diversidad de los ecosistemas costero-marinos con énfasis en los de la región del Golfo de México.

Introducción

La acumulación, en la atmosfera, de gases de efecto invernadero está ocurriendo a un ritmo acelerado sin precedente alguno en la historia del planeta. La tasa anual de acumulación del dióxido de carbono en los últimos 10 años ha sido superior a las tasas observadas desde 1850 cuando se generaron las primeras mediciones de gases atmosféricos (IPCC, 2007). La concentración de los 3 gases principales que generan el efecto invernadero, CO_2, metano y oxido nitroso, se encuentran actualmente en los niveles más altos jamás observados y esto esta ocasionando cambios actualmente perceptibles en los patrones climáticos globales. El aumento en la temperatura media de los océanos es desde luego, uno de los fenómenos que actualmente se está registrando y que tiene consecuencias potenciales sobre el aumento del nivel medio del mar, la frecuencia de aparición de enfermedades en organismos acuáticos y la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos como lo son las tormentas, tifones y huracanes.

Esto último es de particular importancia para las regiones tropicales. A pesar de que no se conoce con exactitud si la frecuencia en la aparición de estos eventos es causada por el Cambio Climático Global (CCG), las predicciones indican que la intensidad de los mismos se incrementará en función de los cambios ambientales futuros (Beldomenico *et al.,* 2008; Curtis, 2008). Adicionalmente el calentamiento de la atmósfera tiene un efecto potencial significativo en: los patrones de circulación marina, los patrones de precipitación y vientos, los patrones de estratificación de los océanos y la modificación de patrones de control de los ecosistemas marinos (Manabe y Stoufer, 1993). Estos cambios futuros indudablemente pondrán en riesgo la estabilidad actual de los ecosistemas costeros y marinos y los servicios ecosistémicos que estos proveen (Schimittner, 2005).

El secuestro de carbono por los ecosistemas marinos, tiene el potencial de disminuir el efecto invernadero en la atmosfera (Keeling, 2005). Sin embargo este fenómeno puede a su vez ocasionar una disminución en los niveles de pH generando un efecto de acidificación en los océanos (figura 1), cuyos efectos sobre la biodiversidad marina es aun incierto. Se han generado hipótesis que predicen que en los próximos 50 años la concentración del CO_2 en la atmosfera se duplicará y esto podría causar un cambio total en la química marina de los océanos. La predicción más optimista considera que los niveles de CO_2 no se duplicaran en el futuro, sin embargo se ha demostrado que un aumento a 445 ppm del CO_2, es suficiente para modificar el ambiente marino convirtiéndolo en un ambiente corrosivo aun para las especies más resistentes (McNeil y Matear, 2008)

Los efectos de las actividades antrópicas (*e.g.* contaminación de los cuerpos de agua, sobrepesca, modificación y destrucción de hábitats) potencializan los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas. Uno de los mayores retos en los ambientes marinos lo constituye el hecho de que los efectos actuales de las actividades antrópicas sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas no son del todo conocidos y esto aumenta el grado de incertidumbre en los modelos predictivos. Sin embargo y a pesar de la falta de conocimiento hay un consenso general de la comunidad científica en que la biodiversidad marina tal y como la conocemos actualmente no será la misma en un periodo relativamente corto de tiempo. Las predicciones

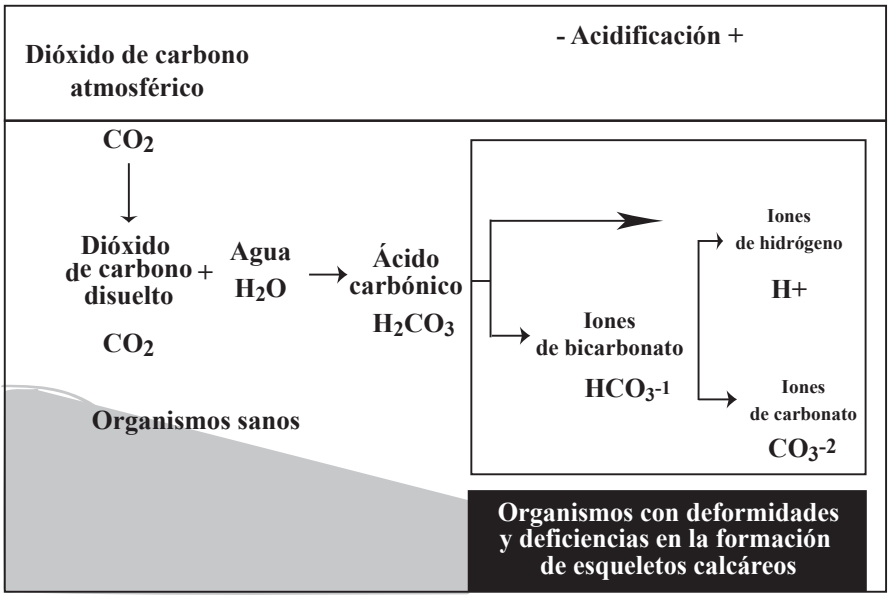


Figura 1. Esquema del fenómeno de la acidificación de las aguas oceánicas, por absorción de niveles excesivos de CO_2 y su posible influencia sobre el estado de salud de los organismos. La acidificación lleva a una generación de niveles altos de iones de hidrógeno y carbonato que podrían impedir la correcta formación de esqueletos calcáreos de los invertebrados marinos (modificado de http//news.bbc.co.uk/2/hi/sci/tech/7933589.stm).

más fatalistas expresan que de continuar la tendencia en el aumento de los gases tipo invernadero, los ecosistemas marinos tenderán a modificarse de manera acelerada de tal forma que en los próximos 50-100 años la estructura será completamente diferente a la que conocemos hoy en día (Ehrlich y Pringle, 2008). Todo esto como consecuencia de la actividad de una sola especie: el *homo sapiens*.

Los ecosistemas tropicales enfrentan riesgos diferentes a los ecosistemas polares debido a que estos últimos se encuentran en el extremo del espectro de temperatura y que tienen al hielo como principal componente físico de su ecosistema. Actualmente existen evidencias de fuertes cambios, por ejemplo, la productividad primaria (Gradinger, 1999) en los océanos polares debido al aumento de la temperatura promedio del mar. Por el contrario el efecto del CCG en los ecosistemas tropicales no es del todo conocido. Existen evidencias que muestran que el riesgo de la perdida de la biodiversidad es mayor debido a que la diversidad es mayor en estas latitudes.

CCG *VS* EFECTOS ANTRÓPICOS

El calentamiento climático global (CCG) y sus efectos potenciales sobre la biodiversidad y por ende sobre el bienestar humano es uno de los fenómenos que ha recibido la mayor atención en todos los medios de comunicación y por lo tanto ha llegado a tener un impacto mediático

considerable sobre todos los estratos sociales. Esto ha causado que mucha de las variaciones que actualmente están experimentando los ecosistemas estén siendo asociados e interpretado como una consecuencia directa del CCG. Sin embargo los efectos directos e indirectos de la intensa actividad human están siendo probablemente los que mayormente estén causando modificaciones puntuales, locales y posiblemente regionales en la estructura de los ecosistemas. La discriminación entre los efectos causados por la variabilidad natural y los de origen antrópico es crítica para comprender y predecir los potenciales efectos del CCG sobre la estructura de los ecosistemas. Independiente de su condición ecológica actual los ecosistemas costeros están considerados como ecosistemas críticos de alta vulnerabilidad en el contexto del CCG principalmente por el efecto del aumento del nivel del mar, la modificación de la salinidad y acidificación de estos ambientes.

En la actualidad y desde hace un par de décadas los ecosistemas costeros de todo el mundo han estado sujetos a diversos grados de estrés constante debido al desarrollo de actividades turísticas, pesqueras, industriales y de vivienda. Hasta el 2000 se había calculado que 39% de la población mundial (2.2 billones) habitaban o hacían uso directo de los recursos en las zonas costero-marinas (UNESCO, 2000). Este desde luego ejerce una gran presión sobre los recursos bióticos de estos ecosistemas.

Los ecosistemas marino-costeros del Golfo de México no escapan a esta realidad. Posiblemente el ejemplo más palpable de los efectos de la presión humana sobre los recursos costeros lo represente el estado actual de las especies objetivo de las pesquerías. Por ejemplo la captura del recurso camarón ha sufrido un decremento pasando de aproximadamente 20 000 ton/año a mediados de la década de los 70s hasta capturas inferiores a las 2 000 ton/año a partir de 1997 (Gracia, 1998) y con un panorama desalentador de agotamiento de recurso. Esto ha motivado la implementación de vedas temporales a partir de 1994 (Diario Oficial de la Federación, septiembre 2004). Un caso más dramático lo representa la pesquería del recurso caracol. A principios de los años noventa la presión de pesca hacia el recurso caracol ocasiono el colapso del mismo (Pérez-Pérez *et al.*, 2009) y como consecuencia una veda indefinida para las especies *Strombus costatus* (caracol blanco) *S. gigas* (caracol lanceta), *Xancus angulatus* (tomburro), *Melongena melongena* (chivita sp., *Pleuroploca gigantea* (chacpel) y *Busycum contrarium* (trompillo) (Diario Oficial de la Federación, del 16 de marzo de 1994). Estos dos ejemplo son los más conocidos pero no los únicos, en la actualidad las pesquerías del Golfo están en crisis y la razón de esto es objeto de muchas discusiones. Entre las posibles razones de esta crisis se menciona la reducción de áreas de pesca debido a la expansión de la infraestructura petrolera (de 39 674 km^2 paso a 17 674 km^2), la existencia de zonas protegidas, la disminución de la calidad del hábitat debido a los residuos y descargas provenientes de las industrias petroleras y de servicios. En una situación similar de deterioro se encuentran los humedales los cuales se calcula que existe una pérdida de 2% de la cobertura anualmente (www.agua.org.mx). Los ecosistemas de manglares mantienen más de 26 pesquerías de alto valor económico, cerca de 30% de las pesquerías de las región costeras (Aburto-Oropeza *et al.,* 2008). La perdida de cobertura de manglar implica una perdida de hábitats de crianza de estas especies y otras mas que no

son de interés comercial pero si de interés ecosistémico. Aunado a esto existe un crecimiento desordenado, carente de políticas ambientales, de infraestructura turística y portuaria. Es claro que el estado actual de los recursos mencionado en estos ejemplos es una consecuencia directa de la presión antropogénica y no del CCG.

Cambios en la biodiversidad costera-marina

Biodiversidad es el término que se utiliza para referirse a cualquier aspecto de la diversidad de la vida en el planeta, interacciones entre organismos y quizá lo mas importante, el curso del desarrollo o presencia de los mismos en los ecosistemas. Científicos de todo el mundo han enviado mensajes de alerta sobre las amenazas que actualmente están poniendo en peligro tanto a las especies de organismos como a su hábitat. Evidencias de las amenazas ocasionadas por el crecimiento de la población humana, conversión y destrucción del hábitat, aparición de nuevos patógenos e invasión de especies exóticas, sugieren que una onda de extinción está actualmente ocurriendo o tiene la posibilidad de ocurrir (Wake y Vredenburg, 2008). Esta predicción se vuelve fatalista cuando se agregan los efectos potenciales del CCG.

La relación entre la biodiversidad y el CCG es más compleja y no únicamente en una sola dirección. Si bien la biodiversidad se ha puesto en riesgo por el CCG, el uso y manejo adecuado y ordenado de la biodiversidad puede reducir los impactos del mismo. Es evidente que actualmente el cambio en los patrones del clima están afectando la biodiversidad del planeta y se prevee que esta tendencia continué. Las consecuencias del CCG en la biodiversidad de especies incluyen los cambios en los patrones de distribución de las especies, incremento en las tasa de extinción, cambios en los ciclos reproductivos y cambios en la estacionalidad de los procesos biológicos (CBD, 2007).

Las predicciones futuras sobre los efectos del CCG sobre la biodiversidad estan relacionados con los cambios futuros predichos de los patrones de precipitación y de elevación del nivel del mar. Se espera que los ecosistemas costeros, como por ejemplo las lagunas costeras experimenten cambios fisicoquímicos en la columna de agua y cambios en los regimenes de marea que a su vez afecte la biodiversidad de los mismos.

Los arrecifes de coral, representan un ejemplo de ecosistemas marinos con una alta fragilidad ante los efectos adversos de las actividades antrópicas y los potenciales efectos del CCG. Uno de los problemas primarios es la ruptura de la relación simbiótica entre el alga y el pólipo como consecuencia de la elevación de la temperatura. La acidificación del agua marina también representa un peligro potencial debido a que el incremento en los niveles de dióxido de carbono podrían repercutir en la formación de esqueletos calcáreos mas débiles. Este fenómeno, también tendría un efecto sobre todos los organismos marinos que forman un exoesqueleto calcáreo. Actualmente existen evidencias de que los sistemas arrecífales están sufriendo impactos que inducen el fenómeno bien conocido del blanqueamiento de coral (figura 2). Esto se ha relacionado con el calentamiento de la columna del agua, daño físico directo sobre los

Figura 2. Efecto del blanqueamiento de corales en las costas de Quintan Roo.

organismos, efectos colaterales de la sobrepesca en la zonas de los arrecifes y enfermedades causadas por hongos y bacterias. En este punto hay que acotar que en regiones costeras con grandes crecimientos poblacionales y en donde la presión turística es muy alta, las modificaciones en la temperatura y características fisicoquímicas del agua ocurren de manera puntual. Las descargas de aguas residuales conteniendo una alta concentración de materia orgánica y que son depositados directamente al ambiente son responsables de los daños directos sobre los arrecifes y fauna circundante.

En la región del caribe son cuatro los periodos en los cuales los sistemas arrecífales, incluyendo el mexicano, han sufrido el fenómeno del blanqueamiento masivo. El último dato del 2005 el cual se reportó como el más severo en comparación con los ocurridos durante 1987, 1995 y 1997/1998. Este último evento coincidió con los récords de las más altas temperaturas registradas en el hemisferio norte y con el período de mayor actividad de huracanes en la región del caribe (Wilkinson y Sauter 2008)

La capacidad de resiliencia y adaptación de los ecosistemas marinos tropicales juega un papel muy importante para mantener la biodiversidad y contrarrestas los efectos potenciales del CCG. Observaciones por un periodo de 30 años mostraron una gran variabilidad natural en la distribución, abundancia y diversidad de los arrecifes coralinos de la Gran Barrera Australiana (Conell *et al.,*1997). La variabilidad observada fue asociada a disturbios ambientales de diversa intensidad y origen a diversas escalas espaciales y temporal. Las comunidades de coral mostraron un potencial de recuperación después de disturbios ambientales extremos. Por el contrario las comunidades sometidas a presiones ambientales crónicas y/o de origen antrópico no se recuperaron. La resiliencia de los ecosistemas de coral ha jugado un papel fundamental para su supervivencia desde hace aproximadamente 10 millones de años superando oscilaciones climáticas de la era glacial e interglaciar (Grimsditch y Salm, 2006). En la actualidad la

existencia de los arrecifes coralinos esta siendo puesta en peligro debido a que fuertes disturbios de diversos orígenes estan causando cambios en el estado de equilibrio de manera muy rápida, pero sobre todo porque los efectos están excediendo los umbrales de tolerancia de las comunidades coralinas (Nyström *et al*., 2000).

Los umbrales de tolerancia están asociados a los niveles de variabilidad natural de los ecosistemas. Contrariamente a lo que generalmente se asume, los ecosistemas tropicales presentan una variabilidad natural marcada y por lo tanto un posible umbral de tolerancia elevado. La variabilidad, la resiliencia y los umbrales de tolerancia relativamente altos de los ecosistemas costero-marinos tropicales puede constituir una característica importante que puede ayudar a minimizar los impactos del CCG.

El ecosistema de la laguna de Celestún en el estado de Yucatán (México), constituye un ejemplo de un ecosistema altamente variable y resiliente. La materia orgánica de la laguna experimenta cambios significativos a escalas temporales de aproximadamente 10 años (Gonnneea *et al*., 2004). La riqueza y diversidad de especies bentónicas asociadas a los fondos fangosos de la laguna es altamente variable a escalas temporales de un año. A pesar de esta variabilidad la abundancia total de organismos no presenta cambios significativos a lo largo de un ciclo anual. Después de completar un ciclo anual la composición y riqueza de especie vuelve a su punto de origen dando lugar al inicio de otro ciclo (figura 3) (Hernández *et al.,* 2008). Estos cambios han sido asociados a la variabilidad ambiental natural de la zona. Dentro de este contexto se ha sugerido que las actividades antrópicas que tengan el potencial de romper el balance entre el

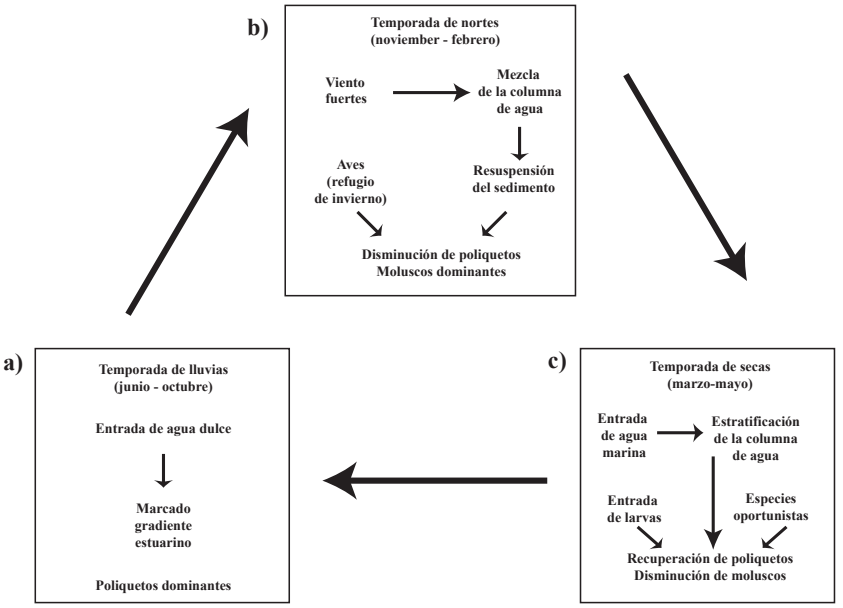


Figura 3. Modelo conceptual propuesto para explicar la respuesta de la fauna bentónica en función de la variabilidad temporal del hábitat en la laguna de Celestun Yucatán (modificado de Hernandez *et al*., 2008).

equilibrio hidrológico entre la entrada de agua dulce y la salada constituye la mayor amenaza para la estabilidad del ecosistema (Pech *et al.,* 2007). De la misma manera la prevalencia de parásitos en los peces de la laguna muestran patrones de variabilidad asociadas a las características ambientales de la zona y al hospedero y que su prevalencia se mantien relativamente estable ante la presencia de disturbios ambientales de diverso grado (May-Tec, 2009). Esta variabilidad y resiliencia resultan importantes en el contexto de la evolución natural y la adaptabilidad de los ecosistemas ante los cambios ambientales. Ecosistemas naturales saludables y prístinos o cercanos a serlo, con altos grados de resiliencia pueden evolucionar para adaptarse a las condiciones ambientales cambiantes sin alterar la estabilidad general de los mismos.

Eventos ambientales extremos y biodiversidad

El aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos climáticos en los ambientes tropicales, es uno de los temas ampliamente discutidos en referencia a los efectos del CCG. Se asume que la elevación de la temperatura del mar provee condiciones favorables para el desarrollo e intensificación de estos fenómenos. Sin embargo evidencia histórica sugiere que han existido picos de máxima actividad y que ahora nos encontramos justamente en un periodo similar (Vecchi y Soden, 2007). Simulaciones basadas en el incremento del CO_2 como un factor detonante en el efecto invernadero y calentamiento de las masas de aire, sugieren que las tormentas y huracanes en las regiones tropicales tenderán a incrementar sus radios de impacto con tendencias a presentarse con intensidades más severas y con una alta velocidad de propagación (Jiang y Perry, 2007).

Sin embargo las atribuciones causales de las tendencias actuales de los patrones de biodiversidad atribuidas al CCG no es una tarea simple, hasta ahora no se ha demostrado que el efecto global tenga una influencia directa sobre los patrones locales a escalas temporales cortas (Parmesan y Yohe, 2007). En una escala evolutiva los cambios climáticos han actuado como una importante fuerza natural que modela los sistemas naturales. Los huracanes y tormentas han sido parte de las fuerzas estructurantes que han modelado los ecosistemas como hoy los conocemos. Los últimos picos de máxima actividad de huracanes intensos para el Atlántico fueron registrados entre los años 30 y 50, sin embargo para este periodo los problemas de la emisión de gases tipo invernadero no representaban un factor de riesgo significativo.

Uno de las efectos asociados a los cambios al CCG que ha alertado a la comunidad científica es la tendencia de incremento en la frecuencia de aparición de enfermedades comunes en los organismos, y la aparición de nuevas enfermedades epidémicas (*e.g.* incremento en la prevalencia de parásitos) observadas en las últimas décadas. Para los ambientes marino-costeros este problema se vuelve grave debido a la interconexión existente entre los diversos ecosistemas. Por lo tanto los parásitos, virus y otros agentes infecciosos pueden diseminarse con muy pocas restricciones. El peor escenario es que, ante un aumento en la temperatura de los océanos los agentes infecciosos podrían diseminarse a rangos geográficos mayores y transmitirse a organismos anteriormente libres de enfermedades. Varios estudios recientes han examinado las relaciones

entre las variaciones climáticas en cortos períodos de tiempo y la ocurrencia de enfermedades infecciosas. En particular la influencia del fenómeno Niño/Niña sobre los patrones de transmisión de enfermedades de importancia para el hombre y que pueden convertirse en posible pandemias como lo son la malaria, dengue y el cólera (Anyamba *et al.*, 2006).

En las últimas décadas, el ciclo entre la fase cálida (el Niño) y la fría (Niña) en la temperatura de la superficie del agua ha presentado una tendencia irregular lo que ha ocasionado una alta variabilidad climática a varias escalas espaciales. Los efectos del evento Niño/Niña producen cambios marcados en la temperatura de la superficie del océano que tienen un efecto sobre los patrones de temperatura y precipitación en los ecosistemas tropicales produciendo exceso de lluvia en algunos lugares y la falta de la misma en otros (Kovats *et al.,* 2003). Se espera que la intensidad de este fenómeno se incremente como consecuencia del CCG. Hasta el momento se desconoce, debido a una falta de evidencia científica, cuales serían los efectos futuros de un mayor espectro de variabilidad en las condiciones de los ambientes costero-marinos. Sin embargo se especula una posible disminución de las poblaciones más vulnerables por efecto del aumento en la frecuencia y por la aparición de nuevas enfermedades.

La aceleración del blanqueamiento del coral ocasionado por infecciones oportunistas durante períodos elevada temperatura de la superficie del océano (Harvell *et al.*, 2002), la aparición del nuevo virus *Rhabdoviridae novithabdovirus* causante de la septicemia hemorrágica viral (VHS, por sus siglas en inglés) en varios peces marinos y dulceacuícolas y la aparición del protozoario *Perkinsus* sp. que actualmente afecta a varias poblaciones de bivalvos en estado natural o cultivados (Stenseth *et al.*, 2006) son un ejemplo de enfermedades emergentes infecciosas ocasionadas por las fuertes alteraciones en las condiciones ambientales asociadas al CCG.

Adicionalmente a los efectos mencionado anteriormente, el incremento en la frecuencia e intensidad de los huracanes y tormentas (Nortes) pueden tener efectos mucho mas largos en la salud de los ecosistemas incluyendo la salud de la especie humana (tabla 1). La presencia de huracanes y tormentas de alta intensidad usualmente terminan ocasionando inundaciones en zonas bajas y de alta vulnerabilidad como lo que actualmente esta ocurriendo en Villahermosa (Tabasco) o partes de los estados de Veracruz y Campeche. Estas inundaciones que cada vez tienen una duración más larga ocasionan desde la contaminación de las reservas de agua potable hasta la diseminación e incremento de enfermedades infecciosas. Ejemplos de estos se han obervado después del paso del huracan Emily en el 2005 en Quintana Roo, el huracán Arthur en Chiapas en 2008 o durante y después de las inundaciones de Tabasco y Chiapas en 2007 y 2009 causadas por lluvias excesivas. Sin embargo los efectos a corto, mediano y largo plazo de estos eventos extremos sobre los componentes de los diversos ecosistemas costero marinos, en estos ambientes, han sido poco explorados a pesar de que se conocen los posibles riesgos.

Tabla 1. Ejemplos de los efectos del cambio climático global sobre los ecosistemas marinos, debido a los cambios en la frecuencia e intensidad de los eventos ambientales.

Dirección y tendencia de los fenómenos	Impacto en los ecosistemas marinos
Incremento en los niveles fisiológicos de las especies.	Acidificación del océano, daños morfológicos y de CO_2.
Calentamiento de la superficie del agua.	Problemas de la calidad del agua, modificación de los parámetros fisicoquímicos del agua, mareas rojas.
Incremento en los patrones de precipitación.	Efectos adversos en la calidad del agua, contaminación del manto freático.
Incremento en la frecuencia e intesidad de los huracanes.	Modificación de la estructura y función de los ecosistemas, incremento en la frecuencia y aparición de nuevas enfermedades en los organismos.
Incremento en el nivel del mar.	Intrusión en la cuña salina. Modificación de hábitats, invasión de especies.

Tendencias, escenarios y consideraciones futuras

Los ecosistemas costeros-marinos están considerados como uno de los más importantes desde el punto de vista socio-económico y cultural debido a su alta diversidad y riqueza de sus recursos naturales que proveen bienes y servicios por aproximadamente 14 trillones de dólares anualmente (Constanza *et al.,* 1997). Sin embargo existe un consenso uniforme de la comunidad científica que la presión antropogénica agudiza los efectos del CCG. De continuar la tendencia nos encontraremos ante una seria degradación ambiental que tendrán una consecuencia en la estructura y diversidad de los ecosistemas costeros-marinos, tal y como los conocemos actualmente. En años recientes los efectos del CCG se han hecho evidentes en la regiones árticas en donde la depleción de la capa de ozono, debido el incremento en los niveles de CO_2, ha causado alteraciones en los patrones de abundancia y diversidad de grupos que incluyen al fitoplancton (Hoffman *et al.,* 2003) y larvas de invertebrados (Pechenik, 1987). Sin embargo los efectos sobre los ecosistemas costero-marinos en regiones tropicales son de alta incertidumbre. Esto debido principalmente a la complejidad de los ecosistemas y a su potencialmente alto grado de resiliencia, elasticidad y adaptabilidad de los mismos.

Una de las conclusiones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPPC, 2008) es que hasta el momento los océanos han estado funcionando como receptores de calor absorbiendo casi en su totalidad la energía proveniente del calentamiento global minimizando el impacto sobre el deshielo y sobre el incremento de la temperatura en la atmosfera. Nuevas evidencias han mostrado que la absorción de este calor ha provocado cambios en los ecosistemas marinos y de agua dulce que incluyen cambios en los rangos de variabilidad en los patrones temporales de la abundancia del fitoplancton y peces, cambios en los patrones migratorios de ciertas especies de peces y cambios en la estructura y abundancia de los arrecifes coralinos. A pesar de esta evidencia hay ecosistemas que parecen estar resistiendo las consecuencias del

CCG. Sin embargo hay que ser cautelosos con esta aseveración. En la mayoría de las ocasiones el análisis de los datos ha resultado insuficiente o con una alta grado de incertidumbre que enmascara los efectos.

La tendencia futura apunta a que la emisión de gases invernadero seguirá aumentando, a menos que los acuerdos internacionales y la conciencia individual de cada uno de nosotros acepten reducir las actividades que producen la emisión de los mismos. Las evidencias indican que los ecosistemas más frágiles (*e.g.* arrecifes de coral) son los que en este momento están sufriendo las consecuencias más evidentes del CCG con el riesgo de sufrir cambios irreversibles que los lleven a otro estado de equilibrio ecológico o que los lleven a la extinción total en un periodo relativamente corto de tiempo. Los ecosistemas costeros-marinos de ambientes tropicales, que hasta el momento no han mostrado signos de los efectos del CCG no están exentos de los mismos. La resiliencia, elasticidad y adaptabilidad de los mismos pueden estar jugando un papel importante para absorber dichos efectos. El aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos en conjunto con los insultos ambientales antrópicos pueden llegar a romper el estado de equilibrio dinámico actual de estos ecosistemas.¿Cuál es el grado de resiliencia, elasticidad y adaptabilidad de estos ecosistemas? ¿De que frecuencia e intensidad deben de ser los eventos extremos para ocasionar efectos irreversibles a los ecosistemas? Representan preguntas importantes para generar modelos predictivos que permitan poner en marcha medidas de mitigación contra tales efectos.

Es indudable que muchos de los efectos que actualmente se están interpretando como consecuencia directa del CCG, sobre todo los observados a escalas locales, pueden no estar asociados directamente a estos cambios. Sin embargo hay que reconocer que el incremento en los niveles en la emisión de los gases de efecto invernadero está ocasionando cambios a nivel global que en algún punto en el tiempo se verán reflejados a escalas locales y puntuales.

La vida como ahora la conocemos, ocurrió debido al extraordinario efecto de oxigenación de la atmosfera causada por un exceso en la emisión del oxígeno de la cianobacterias hace varios millones de años. Esto no quiere decir que estemos en una situación similar, sin embargo el exceso en la emisión de los gases efecto invernadero pueden llevarnos a un cambio drástico en la estructura, función y diversidad de los ecosistemas en un periodo relativamente corto de tiempo evolutivo.

Literatura citada

Aburto-Oropeza A., E. Ezcurra, G. Danemann, V. Valdez, J. Murray, y E. Sala, 2008. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of the National Academy of Sciene*, 105: 10456-10459.

Anyamba, A., J. P. Chretien, J. Small, C. J. Tucker, y K. J. Linthicum, 2006. Developing global climate anomalies suggest potential disease risks for 2006-2007. *International Journal of Health Geographics,* 5:60.

Beldomenico, P. M., O.J. Damien, M. M. Uhart, y W.B. Karesh, 2008. Wildlife Health as an Indicator of Climate Change. p. 192-198. *In:* D. A. Relman, M.A. Hamburg, E.R. Choffnes, and A. Mack, (Eds). Global climate change and extreme weather events: understanding the contributions to infectious disease emergence. The National Academies Press, Washington.

Connell, J. H., T.P. Hughes, y C.C. Wallace, 1997. A 30-year study of coral abundance, recruitment, and disturbance at several scales in space and time. *Ecological Monographs,* 67: 461-488.

Convention on Biological Diversity (CBD), 2007. Biodiversity and Climate Change. International day of biology diversity report.

Costanza R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farberk, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Suttonkk, y M. van den Belt, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature,* 387: 253-260.

Curtis, S., 2008. The Atlantic multidecadal oscillation and extreme daily precipitation over the US and Mexico during the hurricane season. *Clim. Dynam*., 30: 343-351.

Ehrlich P.R., y R.M. Pringle, 2008. Where does biodiversity go from here? A grim business-as-usual forecast and a hopeful portafolio of partial solutions. *PNAS*, 105: 11579-11586.

Gracia, A., 1998. Pesquería artesanal del camarón. p. 173-184 . En: D. Flores, P. Sánchez-Gil, J. Seijo y F. Arreguín (eds.). Análisis y diagnóstico de los recursos pesqueros críticos del Golfo de México. EPOMEX Serie Científica 4. Universidad Autónoma de Campeche. 496 p.

Gradinger, R., 1999. Integrated abundance and biomass of sympagic meiofauna in Arctic and Antarctic pack ice. *Polar Biol.,* 22(3): 169-177.

Grimsditch, G.D., y R.V. Salm, 2006. Coral Reef Resilience and resistance to bleaching. IUCN, Gland, Switzerland. 52 p.

Gonneea, M.E., A. Paytan, y J.A. Herrera-Silveira, 2004. Tracing organic matter sources and carbon burial in mangrove sediments over the past 160 years. *Estuarine, Coastal and Shelf Science,* 61: 211–227.

Harvell, C. D., C.E. Mitchell, J. R. Ward, S. Altizer, A.P. Dobson, R. S. Ostfeld, y M. D. Samuel, 2002. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science,* 296: 2158-2162.

Hernández-Guevara, N.A., D. Pech, y P.L. Ardisson, 2008. Temporal trends in benthic macrofauna composition in response to seasonal variation in a tropical coastal lagoon, Celestun, Gulf of Mexico. *Marine and Freshwater Research*, 59: 772-779

Hoffman, J.R., L.J. Hansen, y T. Klinger, 2003. Interaction between UV radiation and temperature limit inferences from single-factor experiments. *J. Phycol.*, 39: 268-272.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007a. Climate change 2007: climate change impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007b. Climate change 2007: climate change impacts, adaptation and vulnerability. Working

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2008. Group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Geneva, Switzerland:

Jiang, J., y W. Perrie, 2007. The impacts of climate change on autumn North Atlantic midlatitude cyclones. *Journal of Climate,* 20: 1174-1187.

Keeling, R.F., 2005. Comment on "The Ocean Sink for Anthropogenic CO_2" . *Science*, 308: 1743

Kovats, R. S., M.J. Bouma, S. Hajat, E. Worrall, y A. Haines, 2003. El Niño and health. *Lancet,* 362:1481-1489

Manabe, S., y R.J Stouffer, 1993. Century-scale effects of increased atmospheric CO_2 on the ocean-atmosphere system. *Nature,* 364: 215-218.

May-Tec A.L., 2009. Fluctuación temporal de *Mexiconema cichlasomae* (Nematoda: Daniconematidae) en *Cichlasoma urophthalma* (Vertebrata: Cichlidae) y en su hospedero intermediario *Argulus sp.* (Crustacea: Argulidae). Tesis de Maestría CINVESTAV, 50 p.

McNeil, B.I., y R. J. Matear, 2008 Southern Ocean acidification: A tipping point at 450-ppm atmospheric CO_2. *PNAS,* 105(48): 18860-18864.

Nyström, M, C. Folke, y F. Moberg, 2000. Coral reef disturbance and resilience in a human-dominated environment. *Trends in Ecology and Evolution,* 15, 413-417.

Parmesan, C., y G. Yohe, 2007. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature,* 42: 37-42.

Pech, D., Ardisson, P.-L., Hernández-Guevara, N. A. 2007. Benthic community response to habitat variation: a case of study from a natural protected area, the Celestun coastal lagoon. *Continental Shelf Research,* 27, 2523–2533.

Pechenick, J.A., 1987. Environmental influences on larval survival and growth. p. 551-608. *In:* A.C. Giese, J.S. Pearse, and V.B. Pearse. Reproduction of Marine Invertebrates. Blacwell scientific Pub.

Pérez Pérez M., R. Burgos Rosas, K. Cervera Cervera, y J.C. Espinoza Méndez, 2009. Situación pesquera del caracol *Strombus gigas* en Yucatán. Foro Regional de Caracol del Golfo de México y Mar Caribe. Inapesca.

Schmittner, A., 2005. Decline of the marine ecosystem caused by a reduction in the Atlantic overturning circulation. *Nature,* 434: 628-633.

Stenseth, N. C., N. I. Samia, H. Viljugrein, K. L. Kausrud, M. Begon, S. Davis, H. Leirs, V. M. Dubyanskiy, J. Esper, V. S. Ageyev, N. L. Klassovskiy, S. B. Pole, y K. S. Chan, 2006. Plague dynamics are driven by climate variation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103:13110-13115.

UNESCO, 2000. World Migration Report. New York, USA 287 p.

Vecchi, G., y B.J. Soden, 2007. Effect of remote sea surface temperature change on tropical cyclone potential intensity. *Nature,* 450: 1066-1070

Wake, DB., V.T. Vredenburg, 2008. Are we in the midst of the sicth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Science*, 105: 11466-11473.

Wilkinson, C., y D. Souter, 2008. Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005. Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, 152 p.

Lara Flores, M., 2010. Importancia de la diversidad y ecología marina microbiana en los ecosistemas marinos costeros, p. 277-288. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Importancia de la diversidad y ecología marina microbiana en los ecosistemas marinos costeros

Maurilio Lara Flores

Resumen

Los océanos del mundo con una línea de costa de 312 000 km. y un volumen de 137 x 10^6 km^3, son los ecosistemas más grandes de la tierra y han sido usados de diferentes maneras por el ser humano durante su existencia. Por este gran volumen de agua y la vasta área que ocupa, la influencia de los océanos en el clima mundial es significativamente predominante. Los microorganismos se encuentran en cualquier parte en la naturaleza y ocupan un importante lugar en el desarrollo de la vida humana. Los microorganismos marinos representan una fuente potencial para la comercialización de importantes compuestos bioactivos y sus capacidades como bioremediadores son sobresalientes. Asimismo, participan de manera crucial en la descomposición de materia orgánica y en los ciclos de los nutrientes. Los microorganismos también sirven como fuente de alimento de algunos organismos inferiores. Sin embargo, el conocimiento de la diversidad de microorganismos marinos ha sido extremadamente limitada por el estudio de los microorganismos que han sido cultivados con fines industriales. Esta limitación en el conocimiento de la ecología microbiana ocasiona que la interacción de esta con el balance ecológico se desconozca y por lo tanto los efectos que el cambio climático pueda ocasionar en toda la cadena trófica.

Introducción

Dentro de los tres mayores hábitats de la bioesfera, el reino marino, que cubre el 70% de la superficie del planeta, provee de grandes espacios habitables para los organismos, particularmente para los microorganismos. Los microorganismos marinos no solo se desarrollan en la superficie del agua de los mares sino que también en regiones superficiales y profundidades abismales, desde la costa hasta el mar abierto, desde el océano en general hasta nichos especializados, como las aguas circundantes de los arrecifes coralinos y las fumarolas de las ventanas termales en el lecho marino (Qasim, 1999).

El término "microorganismo" engloba a un extenso y diverso conjunto de organismos, como las bacterias, virus, protistas y hongos, que presentan características morfológicas, ecológicas y fisiológicas muy diferentes entre si. Aunque los microorganismos son raramente visibles al ojo humano, se estima que la mitad de la biomasa existente en la tierra es microbiana (Whitman *et al.,* 1998). Más aún, la vida microbiana está ampliamente distribuida de tal forma que los microorganismos son encontrados en todos los ecosistemas. Por lo tanto, el término de ecología microbiana es usado para describir la presencia y contribución de los microorganismos a través de sus actividades en el lugar donde son encontrados.

Los microorganismos marinos empezaron a estudiarse hace apenas unos 25 años y recientemente se han reportado grupos microbianos hasta ahora desconocidos como el SAR11 y los picoautótrofos como el *Prochlorococcus*, lo cual representa un avance significativo en el entendimiento y complejidad de la diversidad microbiana marina (Das *et al*., 2006). Sin embargo, la diversidad microbiana se encuentra subestimada desde el punto de vista de que la diversidad biológica se basa en el número de especies conocidas de cada grupo. Es cierto que el concepto de especie bacteriana es mas tipológico y menos evolucionado que la plantas y animales, sin embargo, es más amplio e inclusivo (Ward, 1998).

La exploración de la diversidad microbiana es un tópico de importancia e interes considerable a desarrollar. Además, el análisis de la biodiversidad microbiana puede ayudar a aislar e identificar nuevos microorganismos con potencial para obtener nuevos compuestos de utilidad industrial y farmacéutica.

Diversidad bacteriana marina

El estudio de la diversidad bacteriana marina es de suma importancia para entender la estructura de las comunidades y su patrón de distribución. Las bacterias, generalmente, tienen un tamaño entre 1 y 2 micras. En el ambiente marino el 90% de las bacterias son Gram-negativas con diferentes características y la pared celular esta mejor adaptada para su supervivencia en ambientes marinos (Whitman *et al.*, 1998). Basados en el análisis de la secuencia molecular 16S mRNA, existen tres dominios: Archaea, Bacteria y Eucariote. El Archaea incluye microorganismos que crecen bajo condiciones extremas y que se diferencian del Bacteria en la ausencia de peptidoglucano. Ambos dominios de manera colectiva juegan un papel significativo en el ambiente marino. Los diferentes grupos fisiológicos y sus funciones se explican en la tabla 1.

Tabla 1. Diferentes grupos fisiológicos de bacterias marinas.

Grupo	Fisiología	Papel en el ambiente marino	Ejemplo
Archaebacteria Bacterias sulfato-reductoras.	Quimioautótrofos, anaerobios, termófilos y mesófilas.	Contribuyen con más del 50% de la conversión del carbono en los sedimentos costeros, toman parte en el ciclo de compuestos azufrados en el agua marina.	*Desulfomonas, Desulfovibrio, Desulfobulbus, Desulfotomaculum* y *Desulfococcus*
Bacterias metanogénicas.	Quimioautótrofos, anaerobios estrictos, utilizan un número limitado de compuestos simples de carbono (hidrógeno, dióxido de carbono, acetato y metanol).	Utilizan trimetilamina como substrato en los ambientes marinos y produce metano como producto final de su metabolismo energético.	*Methanococcus, Methanosarcina, Methanomicrobium, Methanogenium, Methanoplanus, Methanococcoides* y *Methanobolus*
Bacterias halofilitas.	Requieren al menos 12-15% de NaCl para sobrevivir y su mejor crecimiento se obtiene en concentraciones cercanas a la saturación.	Forman colonias rojas ocasionado por las altas concentraciones de caroteno que poseen y dominan ambientes con salinidades altas, como las salinas y los lagos salados; regulan la presión osmótica por su capacidad de resistir los efectos desnaturalizantes de la sal en el ambiente.	*Haloarcula, Halobacterium, Haloferax* y *Halococcus*
Eubacteria. Bacterias luminosas.	Producen luz a partir de una proteína llamada luciferina al contacto con moléculas de oxígeno; son bacilos Gram-negativo, móviles y heterótrofos.	La bioluminiscencia en la profundidad de los océanos ayuda a los organismos a defenderse y evadir a los predadores, funciona para atraer a las presas y como camuflaje. Las bacterias luminosas participan en los ciclos de los nutrientes en el mar y contribuyen en las nutrición de organismos marinos como parte de su microflora intestinal.	*Photobacterium leiognathi, Photobacterium phosphoreum, Vibrio fischeri* y *Vibrio Harvey*
Bacterias nitrificantes.	Oxidan el amonio a nitritos (*Nitrosococcus*) o los nitritos en nitratos (*Nitrococcus*) y convierten el nitrógeno a una forma biodisponible .	Son extremadamente importante en los procesos biológicos desde el punto de vista que cargan positivamente a los iones de amonio para enlazarlos a partículas de sedimento acidificado donde se vuelven disponibles para procesos biológicos; son más abundantes en aguas someras que en aguas profundas.	*Nitrococcus, Nitrosococcus*, etc.

Papel de las bacterias en el ambiente marino

El ambiente marino está caracterizado por parámetros extremos como altas presiones, salinidad, bajas temperaturas, ausencia de luz, etc. y las bacterias marinas heterotróficas se han adaptado para sobrevivir en este ambiente, ya que requieren Na^+ para su crecimiento, el cual es esencial para mantener un ambiente osmótico para la protección de la integridad celular. Las bacterias oligotróficas están aun más adaptadas por la baja cantidad de nutrientes disponibles. La función más importante de las bacterias heterotróficas es la de promover los procesos de degradación, descomposición y mineralización tanto en los sedimentos como en el agua superficial, y liberar las sustancias orgánicas e inorgánicas al sistema (Purushothaman, 1998). La mineralización por parte de las bacterias de la materia orgánica, la cual es derivada de los productores primarios, resulta en el reciclado de estos elementos que son nuevamente disponibles para los productores primarios. Los microorganismos heterotróficos son los componentes principales de la materia orgánica en los océanos. Estas bacterias heterotróficas comprenden la mayor parte de la población microbiana que habita la columna de agua de los océanos y son responsables de muchas de las transformaciones biológicas de la materia orgánica y de la producción de dióxido de carbono (Sherr y Sherr, 1996).

La distribución de las bacterias depende en los cambios en la temperatura del agua, salinidad y otros parámetros fisicoquímicos; si estos varían por efecto del cambio climático la comunidad bacteriana se vería afectada ocasionado graves problemas en las funciones de éstas en la cadena trófica (Alavandi, 1990). Las bacterias también sirven como una fuente importante de comida para una amplia variedad de organismos marinos. No solo mantienen la naturaleza prístina del ambiente, sino también sirven como mediadores biológicos por medio de su participación en los procesos biogeoquímicos.

Descomposición de la materia orgánica

Las bacterias juegan un papel decisivo en el ciclo de la materia orgánica en el agua, ya que son capaces de descomponer los compuestos orgánicos, en los componentes de los cuales fueron originados. La descomposición de las proteínas es realizada por bacterias proteolíticas, por ejemplo *Pseudomonas* y otras Eubacteria (Alavandi, 1990). La celulosa es descompuesta por bacterias celulíticas, por ejemplo *Cytophaga, Sporocytophaga* (Alavandi,1990). La quitina, la cual es sintetizada por muchos organismos marinos como material extracelular de las algas, paredes celulares de algunas clorofilas, exoesqueletos, incluyendo mudas de copépodos y otros invertebrados es difícil de degradar, sin embargo, este biopolímero es degradado por bacterias quitonoliticas y quitonoclasticas (*Bacillus, Pseudomonas, Vibrio*) por la producción de la enzima quitinaza (Gooday, 1990; Mulish, 1993). Las pectinas son también descompuestas por numerosas bacterias en condiciones anaerobias (*Clostridium pectinovorum*) y sus productos finales son ácido péptico y metanol. Por lo anterior sin las bacterias marinas no podría realizarse el reciclado de los elementos base que conforman los compuestos orgánicos esenciales.

Ciclo mineral

Los microorganismos tienen un papel primordial en los ciclos minerales en los ambientes marinos. El carbono, el cual forma parte de toda la materia orgánica, pasa por un ciclo de transformación constante en el cual intervienen varios tipos de bacterias heterotróficas. El nitrógeno, que es el constituyente principal de las proteínas, es reciclado en el ambiente acuático por diversas bacterias. La nitrificación es un proceso aeróbico en el que intervienen diversas bacterias aeróbicas obligadas, mientras que la desnitrificación es un proceso realizado por bacterias anaerobias facultativas. La fijación del nitrógeno molecular es realizado de manera intracelular por varias bacterias, como el *Azobacter, Clostridium,* etc., lo que muestra la importancia de estos microorganismos en la reutilización de este elemento químico. La oxidación microbiana es el único proceso bioquímico en la naturaleza que convierte los compuestos sulfurados a sulfatos, lo cual representa el ultimo paso de la mineralización de compuestos orgánicos de azufre y sirve como fuente de azufre para las plantas. Este proceso es llamado sulfurización, en cual, intervienen bacterias sulfato-reductoras como *Desulfovibrio, Desulfomonas,* etc. De aquí la importancia de la diversidad microbiana en la conservación de los ciclos biogeoquímicos marinos.

Sedimentación

Las bacterias son parte importante en la formación de sedimentos a través de sus actividades metabólicas (Sabu, 2003). Debido a la actividad bacteriana en los sedimentos, la cantidad de materia orgánica disminuye gradualmente y su composición cambia. Como los compuestos que son menos complejos son los primeros en degradarse, la proporción de compuestos de difícil degradación se incrementa proporcionalmente a la profundidad del lecho marino, dado que, las bacterias colonizan partículas suspendidas, con lo cual cambian su tamaño y textura y consecuentemente su tasa de sedimentación. De acuerdo a lo anterior, los mayores contribuidores a la degradación de material orgánico y sedimentación en el mar profundo son las bacterias (Sabu, 2003).

Virus marinos: importancia ecológica

Los virus son considerados el componente numéricamente dominante en todos los sistemas acuáticos y los más comunes en los ambientes marinos (Fuhrman, 1999), pero son pocos los virus marinos conocidos. Las densidades virales normalmente exceden a las densidades bacterianas en un relación de 1 a 2 en el agua marina (Danovaro *et al.,* 2002). Existen reportes que sugieren que la mayor abundancia de bacterias que de virus en el sedimento del océano profundo, es debido a que el crecimiento viral depende de complejas interacciones con factores bióticos y abióticos, incluyendo el estado metabólico bacteriano y el aporte de virus por parte de la columna de agua (Danovaro *et al.,* 2002). Debido a su abundancia en ambiente marinos

(10^9 a 10^{10} virus/l) y su habilidad para infectar bacterias y fitoplancton, influyen en gran medida a la biodiversidad bacteriana y a la producción primara de fitoplancton en los sistemas oceánicos (Suttle *et al.,* 1990). De esta forma los virus pueden ejercer un efecto profundo en la dinámica microbiana y en los ciclos biogeoquímicos, por medio de la destrucción celular de las bacterias y el fitoplancton, los virus pueden alejar el carbono de los grandes bacteriovoros y herbívoros y consecuentemente regresar el carbono, el cual puede ser utilizado de otra manera a niveles tróficos superiores por medio del carbono orgánico oceánico disuelto (Reid y Edwards, 2001). Además, los virus juegan un papel primordial en la producción de gas de dimetil sulfuro (DMS). El DMS es el compuesto de azufre volátil más abundante en el agua marina y es producido principalmente por la hidrólisis enzimática del dimetil sulfopropionato (DMSP) en los procesos osmóticos en las algas y constituye aproximadamente la mitad del flujo mundial de azufre biogénico que es liberado a la atmosfera. Posteriormente el DMSP producido por el fitoplancton es liberado a su fase disuelta en el mar a través de la lisis viral. En términos de la relación que tiene este mecanismo entre el plancton y su influencia en el clima, la producción de DMS biogénico juega un papel muy importante, dado que, un incremento en la temperatura de los océanos podría ocasionar que este compuesto se volatizara a mayor velocidad ocasionando un incremento en el azufre atmosférico lo cual, a largo plazo, se vería reflejado en una atmosfera cada vez más venenosa para los organismos. Aunque una parte del DMS es oxidado por las bacterias y por reacciones fitoquímicas, una porción significativa es liberada al mar y es oxidada a dióxido de azufre o sulfatos gaseosos por los virus (Reid y Edwards, 2001). A pesar de estos factores, la diversidad viral es poco estudiada. Los virus son un factor importante que influye en las concentraciones de carbono, una variación en sus poblaciones ocasionada por cambios de la temperatura y salinidad podrían afectar significativamente las concentraciones de carbono ocasionando una disminución en el oxígeno disponible de los océanos afectando a todo el ecosistema marino.

Actomicetos marinos

Los actomicetos son bacterias Gram-positivas con filamentos ramificados. Por sus características morfológicas no bien desarrolladas y de cultivo, los actomicetos han sido considerados como un grupo diferente al de las bacterias comunes. Los actomicetos han ganado interés a partir de su capacidad de producir metabolitos secundarios bioactivos y enzimas. La biodiversidad de los actomicetos han sido estudiados en diferentes nichos marinos como el mar profundo, aguas somera y manglares (Rathna Kala y Chadrika, 1995). Aunque los primeros actomicetos fueron considerados como terrestres, los avances en biología molecular han demostrado que tiene un origen marino completamente separados de los terrestre (Curtis *et al.,* 2002).

Se ha observado que la mayor diversidad de actomicetos se encuentran en suelos cálidos o ligeramente ácidos que en el agua, sin embargo, en diversos estudios se han aislado estos de sedimentos marinos reportando diversos géneros (Barcina *et al.,* 1987). Lechevalier y Lechecalier

(citado por Das *et al.,* 2006) han descrito 32 géneros de actomicetos en base a su composición química en sedimentos marinos entre los cuales se encuentran *Actinomyces, Actinopolyspora, Micromonospora, Micropolyspora, Nocardoa, Rhdococcus, Streptomyces, Streptosporangium* y *Streptoerticillium* (Das *et al.,* 2006).

La degradación y conversión de diversos materiales es un proceso continuo mediado por la acción de una gran variedad de microorganismos. Existe la teoría de que el aumento o disminución de una enzima en particular producida por los microorganismos puede indicar la concentración del sustrato natural y las condiciones del ambiente, de tal forma, que el aumento o disminución de actomicetos que intervienen en la reutilización y degradación de ciertos componentes de la materia orgánica en el lecho marino pueden, influir en la biodiversidad microbiana, de la flora y de la fauna, dado que, las enzimas específicas que producen degradan componentes que no son posibles de degradar por otras especies de organismos (Pisano *et al.,* 1992).

Hongos en el ambiente marino

Los hongos han existido desde el inicio de la vida en el hábitat marino, sin embargo, su importancia en los procesos ecológicos marinos ha sido menospreciado (Kohlmeyer y Kohlmeyer, 2003). Hughes (2001) menciona que los hongos marinos no pueden ser definidos estrictamente en base a criterios fisiológicos exclusivamente y que se necesita incluir sus funciones ecológicas al definirlos. Los hongos marinos han sido clasificados como obligados y facultativos, donde los que habitan en ambientes marinos exclusivamente y producen esporas se les denomina obligados; los que se desarrollan en agua dulce o en el medio terrestre y tienen la habilidad de esporular y crecer en medio marino se denominan facultativos. Los hongos marinos contribuyen al flujo de energía y a la productividad de un ecosistema aportando carbono orgánico para satisfacer las necesidades de otros organismos en niveles tróficos superiores. Sin embargo, son organismos muy sensibles a los cambios de temperatura y una variación de apenas 5° C puede ocasionar que su desarrollo se vea comprometido, con lo que la cadena trófica puede verse afectada al limitar los aportes de nutrientes que estos emiten al medio (Buchalo *et al.,* 1999).

Los hongos marinos han sido estudiados en los diferentes sustratos marinos. La última estimación de hongos marinos es de 1 500 especies. Los hongos marinos obligados tienen cerca de 800 especies los *Basidiomycotina, Ascomycotina,* líquenes asociados a hongos y levaduras (Kohlmeyer y Kohlmeyer, 2003), y el número de especies de hongos superiores filamentosos marinos es de un 465 aproximadamente.

Biogeografía de los hongos marinos

Se han realizado diversos estudios para determinar la distribución geográfica de los hongos en el medio marino (Kohlmeyer y Kohlmeyer, 2003). Como se menciono anteriormente la

temperatura es el factor más importante entre los parámetros ambientales y biológicos que determinan la distribución de los hongos marinos dependiendo su supervivencia de que esta se mantenga en los rangos necesarios para su optimo desarrollo, aunque la disponibilidad de sustratos u hospederos, la presión hidrostática y la concentración de oxígeno son también factores importantes en la distribución de los hongos marinos en los océanos del mundo. Hughes *et al.* (2001) propone la existencia de 5 zonas de distribución de los hongos con base en la temperatura superficial del mar: Ártico, templada, subtropicales , tropicales y Antártida.

Importancia ecológica de los hongos marinos

En el ambiente marino, los hongos endolíticos son importantes en los animales que producen estructuras calcáreas, ya que, producen carbonato a partir del detritus en las profundidades marinas (Tudhope y Risk, 1985). Los hongos son organismos importantes dentro del ciclo de los nutrientes por su capacidad para descomponer materia orgánica. Los hongos y otros heterótrofos que se encuentran en la hojarasca, humus y porciones minerales de los suelos, aprovechan la materia orgánica en descomposición que es rica en energía y liberan los nutrientes que se encuentran en las sustancias en descomposición. De esta manera, los hongos marinos, contribuyen al flujo de energía y productividad en un ecosistema, ya que, contribuyen de manera determinante en el aporte de carbono orgánico que es utilizado por otros organismos en niveles tróficos superiores.

Importancia de los microorganismos en los ecosistemas marinos

Los microorganismos participan en el balance ecológico en los diferentes ecosistemas marinos y aportan elementos necesarios para el desarrollo de los mismos. A continuación se explicará de manera breve el papel que juegan estos en cada uno de los ecosistemas costeros-marino más importantes.

Ecosistema de manglar

Los manglares son ecosistemas intermareales de los trópicos, los cuales mantienen diversos grupos de organismos acuáticos y terrestres. Estos ecosistemas están situados en la interfase entre los ambientes marinos y terrestres y mantienen a un diverso grupo de microorganismos.

En estos sistemas se encuentran diferentes grupos de bacterias las cuales obtienen alimento del detritus y a su vez ayudan al ecosistema en diversas formas (Holguin *et al.*, 2001). Estas bacterias realizan diversas actividades en el ecosistema como la fotosíntesis, fijación de nitrógeno, metanogénesis, agarolisis, producción de antibióticos y enzimas, etc., lo cual resulta en una alta productividad (Kathiresan y Bingham, 2001).

Con respecto a la diversidad de hongos marinos, los manglares son el mejor hábitat de estudio y los que mayor atención han tenido dado que los hongos que habitan la madera de mangle constituyen mas del 50% de las 450 especies de hongos marinos (Purushothaman, 2000). Los bosques de mangle generan una considerable cantidad de detritus como hojarasca, deshechos de madera e inflorescencias, las cuales constituyen un ambiente ideal para muchos microorganismos dependientes de detritus (Sridhar, 2004). Las poblaciones de estos hongos están involucradas en los procesos de descomposición de los detritus con lo que colaboran en el 50% de la descomposición del material, el cual es aprovechado por diversas especies de organismos.

Arrecifes de coral

Los arrecifes de coral se encuentran entre los ecosistemas acuáticos más importantes por su productividad. Los arrecifes coralinos son definidos como comunidades complejas de organismos marinos, los cuales en conjunto son capaces de construir, modificar o mantener el ambiente de la costa mediante la formación de limo calcáreo.

Los sedimentos de los arrecifes son una de las principales fuentes de nutrientes, especialmente de fósforo y nitrógeno lo cual es resultado de la actividad bacteriana. Los corales producen mucus el cual es el principal producto en el metabolismo del arrecife como una fuente importante de material orgánico y mantiene a gran parte de la actividad bacteriana. El mucus del coral consiste principalmente en polisacáridos y proteína, siendo éste un excelente substrato de crecimiento bacteriano (Meikle, 1988).

Mar profundo

Del total de la superficie marina solo del 7-8% es área costera y el resto es mar profundo y el 60% es agua con una profundidad mayor de los 2 000 metros. El mar profundo es un ambiente único y extremo caracterizado por altas presiones, baja temperatura, poca luz y concentraciones de oxígeno y salinidad variables. Por lo tanto, un área tan vasta, el conocimiento, entendimiento y estudio acerca de los microorganismos que habitan el mar profundo son escasos. Sin embargo, se presenta como una buena fuente de nuevos microorganismos con potencial biotecnológico (Bull *et al.*, 2000).

Las primeras bacterias del mar profundo fueron por aisladas Certes en 1882 (citado por Deming y Yager, 1992). Certes aísla bacterias barotolerantes (resistentes a las altas presiones) de profundidades de 5 000 metros y sugiere que estos microorganismos se encuentran en estado latente suspendidos en la columna de agua. Posteriormente Zobell en 1959 (citado por Das *et al.,* 2006) aísla bacterias heterotróficas a profundidades mayores de los 1 000 metros, las cuales, presentan la propiedad de utilizar carbono orgánico y materia orgánica disuelta en el medio a muy bajas concentraciones (Das *et al.*, 2006). Estas bacterias presentan la propiedad de producir substancias poliméricas extracelulares y proveen de moléculas monoméricas y oligoméricas a otros metabolismos bacterianos o mezclas de materia orgánica, las cuales pueden ser utilizadas posteriormente como alimento para otros organismos (Deming y Yager, 1992).

Las investigaciones sobre la presencia y el papel que desempeñan los hongos en los sedimentos marinos han sido poco estudiados (Raghukumar y Raghukumar, 1998). La mayoría de los hongos marinos han sido aislados en zonas costeras, sin embargo, se cree que en zonas profundas del mar existe una gran diversidad de estos organismos de tipo bentónico. Lo anterior se basa en estudios de laboratorio en condiciones controladas simulando altas profundidades (altas presiones) se ha logrado la germinación de esporas, crecimiento del micelio y la actividad enzimática en el medio (Gautschi *et al.,* 2004).

Ambientes extremos

Cualquier condición ambiental que puede ser percibida como más allá de los límites normales aceptables es una condición extrema (Satyanarayana *et al.,* 2005). Los ambientes extremos se pueden encontrar en muchas regiones del mundo y todos ellos están colonizados por microorganismos adaptado a estas condiciones. Las bacterias que se han adaptado para sobrevivir en estos ambientes son llamadas extremófilos. El estudio de la biodiversidad bacteriana en estos ambientes nos ayuda a comprender las relaciones existentes entre la bacteria y el ambiente, y permite conocer los mecanismos de adaptación a condiciones extremas (Kis-Papo *et al.,* 2001; 2003).

El número de especies de hongos en hábitats extremos es mucho menor que en los demás hábitats, mientras que los organismos superiores a menudo están ausentes (Kis-Papo *et al.*, 2001). En realidad se sabe poco acerca de los hongos que viven en ambientes extremos, a excepción del informe sobre la diversidad de hongos en los ambientes hipersalinos del Mar Muerto, que es uno de los ambientes más extremos en los que se desarrollan los microorganismos (Buchalo, *et al.,* 1999; Molitoris *et al.,* 2000; Kis-Papo *et al.*, 2003).

En general, condiciones de alta salinidad ejercen una fuerte selectividad sobre la biota, favoreciendo el desarrollo de formas halotolerantes y halófilas, en donde los microorganismos son los colonizadores primarios y, en algunos casos, los únicos capaces de sobrevivir en esos ambientes.

Conclusiones

A pesar de que la diversidad microbiana es una de las áreas más difíciles de la investigación en cuanto a biodiversidad, la estimación de la diversidad microbiana es necesaria para la compresión de la biogeografía, los diferentes procesos oceánicos las interrelaciones entre comunidades y los procesos ecológicos (Curtis *et al.,* 2002). La conservación y la utilización de la diversidad biológica requiere de un conocimiento exhaustivo sobre la distribución de las especies a fin de mantener el equilibrio ecológico en un entorno. Los impactos antropogénicos en el ambiente marino han puesto en peligro la existencia de todos los seres vivos, incluidos los microorganismos. A medida que la comunidad microbiana participa en los procesos complejos del ecosistema, su distribución y diversidad biológica influirán en las características de un hábitat.

El cambio climático global ocasiona que las características físicas de los océanos cambien, lo cual influye en la diversidad de microorganismos presentes. Al cambiar esta diversidad, los diferentes procesos biogeoquímicos se ven afectados, y por lo tanto, los ciclos de los nutrientes se rompen sin poder llegar a la integración de elementos esenciales al medio. Si los elementos esenciales no llegan al ambiente las cadenas tróficas se rompen, la vida en el océano se ve alterada y cambia drásticamente la diversidad biológica hasta llegar a la desaparición de las especies.

Los seres vivos de mayor importancia en el balance ecológico que se ven afectados por el cambio climático son los microorganismos y sin embargo, su importancia a sido subestimada.

Literatura citada

Alavandi, SV., 1990. Relationship between heterotrophic bacteria and suspended particulate matter in the Arabian Sea (Cochin). *Indian Journal on Marine Science,* 30: 89-92.

Barcina, I., J. Iriberri, y L. Egea, 1987. Enumeration isolation and some phusiological properties of actinomycetes from sea water and sediment. *Systematic Applied Microbiology,* 10: 85-91.

Buchalo, AS., SP. Wasser, HP. Molitoris, PA. Volz, I. Kurchenko, I. Lauer, y B. Rawal, 1999. Species diversity and biology of fungi isolated from Dead Sea. p. 283-300. *In*: SP. Wasser (ed.). Evolutionary Theory and Processes: Modern Perspective. Academic Press, New York.

Bull, AT., AC. Ward, y M. Goodfello, 2000. Search and discovery strategies for biotechnology: the paradigma shift. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64: 573-606.

Curtis, TP., WT. Solan, y JW. Scannell, 2002. Estimating porkariotic diversity and its limits. *Procedings of the National Academic Science,* 99: 10494-10499.

Danovaro, R., E. Manini, y A. Della ´Anno, 2002. Higher abundante of bacteria than of virases in deep Mediterranean sediments. *Applied Enviromental Microbiology,* 68: 1468-1472.

Das, S., PS. Lyla, y S. Ajmal Khan, 2006. Marine microbiol diversity and ecology: importante and future perspective. *Current Science,* 90 1325-1335.

Deming, JW., y PL. Yager, 1992. Natural bacterial assemblages in deep-sea sediments: towards a global view. p. 11-28. In: GT. Rowe and V. Pariente (eds.). Deep-sea Food Chains and the Global Carbon Cycles. Kluwer, Dordrecht.

Fuhrman, JA., 1999. Marine virases and their biogeochemical and ecological effects. *Nature*, 399 541-548.

Gautschi, JT, T. Amagata, A. Amagara, FA. Valeriote, SL. Mooberry, y P. Crew, 2004. Expanding the stategies in natural product studies of marine-derived fungi: A chemicals investigation of Penicillium obtained from deep water sediment. *Journal of Natural Products,*. 67: 362-367.

Gooday, GW., 1990. The ecology of chiton degradation. *Advances in Microbiology Ecology*, 1 387-430.

Holguin G., P. Vazquez, y Y. Bashan, 2001. The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation and rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview. *Biological Fertilizants Soils,* 33: 265-278.

Hughes, JB., JJ. Hellmann, TH. Ricketts, y J. Bohannan, 2001. Counting the uncountable: statistical approaches to estimating microbiol diversity. *Applied Enviromental Microbiology*, 67: 4399-4406

Kathiresan, K., y BL. Bingham, 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. p. 81-251. *In:* Advances in Marine Biology. Academic Press, UK.

Kis-Papo T., I. Grishkan I, A. Oren, SP. Wasser, y E. Nevo, 2001. Spatiotemporal diversity of filamentous fungi in the hypersaline Dead Sea. *Micology Research,* 105: 749-756.

Kis-Papo, T., A. Oren, SP. Wasser, y E. Nevo, 2003. Survival of filamentous fungi in hypersaline Dead Sea water. *Microbial Ecology,* 45: 183-190.

Kohlmeyer, J., y BV. Kohlmeyer, 2003. Marine Ascpmycetes from algae and animal hosts. *Marine Botanic,* 46: 285-306.

Molitoris HP., AS. Buchalo, I. Kurchenko, E. Nevo, BS. Rawl, SP. Wasser, y A. Oren, 2000. Physiological diversity of the first filamentous fungi isolated from the hypersaline Dead Sea. *Fungal Diversity,* 5: 55-70.

Mulish, M., 1993. Chitin in protistian organisms: distribution, síntesis and deposition. *European Journal of Protistology,* 29: 1-18.

Pisano MA., MJ. Sommer, y L. Taras, 1992. Bioactivity of chitinolytic actinomycetes of marine origin. *Applied Microbiology and Biotechnology,* 36: 553-555.

Purushothaman A., 1998. Microbial Diversity. p. 86-91. *In*: M.S. Swaminathan. Proceedings of the Technical Workshop on Biodiversity of Gulf of Mannar Marine Biosphere Reserve, Research Foundation, Chennai.

Purushothaman, A., 2000. Fungal flora in mangrove ecosistem. *CAS in Marine Biology*, 128-147 .

Qasim, SZ., 1999. The Indian Ocean: Images and Realities. Oxford and IBH, New Delhi.

Raghukumar C., y S. Raghukumar, 1998. Barotolerance of fungi isolated from deep-sea sediments of Indian Ocean. *Aquatic Microbiology Ecology*, 15: 153-163.

Rathna Kala, R., y V. Chadrika, 1995. Microbial production of antibiotics from mangrove ecosystem. *CMFRI Supplement Publications*, 61 117-122.

Reid PC., y M. Edwards, 2001. Plankton and climate. p. 2191-2200. *In*: JH. Steele (ed.). Encyclopedia of Ocean Science. Academic Press, New York.

Sabu A., 2003. Sources, properties and applications of microbiol therapeutic enzymes. *Indian Journal of Biotechnology,* 2: 334-341.

Satyanarayana, T., C. Raghukumar, y S. Shivaji, 2005. Extremophilic microbe: Diversity and perspectivas. *Current Science*, 89: 78-90.

Sherr, EB., y BF. Sherr, 1996. Temporal Offset in oceanic production and respiration process implied by seasonal changes in atmospheric oxygen: The role of heterotrophic microbes. *Aquatic Microbial Ecology,* 1: 91-100.

Sridhar, KR., 2004. Mangrove fungi in India. *Current Science*, 86: 1586-1587.

Tudhope, AW., y MJ. Risk, 1985. Rate of dissolution of calcium carbonate sediments by microboring organisms from Devon Reef Australia. *Journal Sediment,* 55: 440-447

Suttle, CA., AM. Chan, y MT. Cottrell, 1990. Infection of phytoplankton by virases and reduction of primary productivity. *Nature*, 347: 467-469.

Ward, DMA., 1998. A natural species concept for prokaryotes. *Current Opinion on Microbiology*, 1: 271-277.

Whitman, WB., DC. Coleman, y WJ. Wiebe, 1998. Prokaryotes: the unseen majority. *Proceedings of National Academy Science*, 95: 6578-6583.

Cambio Climático en México
un Enfoque Costero y Marino

Economía y usos de espacios costeros y marinos

Haces Zorrilla M.A., 2010. Enfoques para contemplar el cambio climático, p. 291-304. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Enfoques para contemplar el cambio climático

Miguel Angel Haces Zorrilla

Resumen

El flujo energético proporcionado por el Sol permite al sistema Tierra sostener la vida. Este flujo emanado del Sol tiene la característica de ser permanente, es recibido por las capas exteriores de la atmósfera con fluctuaciones estacionales debidas a las condiciones en que gira la Tierra alrededor del Sol, fluyendo además la radiación que emite la Tierra hacia el espacio exterior. Estos flujos de energía son fijos en lapsos suficientemente largos y asegura la permanencia de los sistemas, y los cambios cuando suceden, son paulatinos, permitiendo a los sistemas adaptarse a los pequeños cambios de flujo energético. El cambio en el ritmo de uso de energía por el ser humano se incrementa y genera aumentos de temperatura en la capa atmosférica que impactan a un buen número de sistemas que operan en la Tierra y pueden desencadenar cambios que perjudiquen al ser humano y su entorno. Como los recursos son finitos y el crecimiento de la población mundial aumenta desde hace siglos, el hombre requiere realizar acciones con enfoques micro, que al realizarse masivamente impacten de manera macro la generación de desechos, especialmente los gases de efecto invernadero (GEI), reutilizando recursos en la misma proporción en que crece la población, y lograr disminuir la emisión de GEI. Para actividades industriales, debe reciclarse en la proporción en que aumente la actividad del sector, más el porcentaje que se requiera reducir los desechos para alcanzar la meta del año base de referencia.

Introducción

Las actividades antropogénicas, por la inmensa cantidad y diversidad de acciones que representan, tienen influencia en el medio ambiente por los cambios y modificaciones que se generan en este como respuesta a dichas actividades humanas.

El efecto diferencial de acciones en cantidades muy altas, como las actividades humanas, generan cambios macro en el sistema Tierra en lapsos a diferentes escalas de interés humano: desde instantes hasta siglos y milenios, por lo que reducir la magnitud de dichos cambios, por necesidad, pasan por acciones de compensación micro, realizadas por personas y familias, para revertir dichos cambios. Esta idea referida a los recursos utilizados por cada generación dejando a la siguiente generación al menos los mismos recursos *per cápita* fue propuesta por Bruntland (1972)[1] en la cumbre de Estocolmo (Suecia).

En el otro extremo, evitar actividades humanas se convierte en impedimento para el desarrollo sustentable, puesto que un recurso existe en cuanto lo utiliza el hombre como especie. No utilizar los recursos equivale a regresar a estados de desarrollos que reduciría la población masivamente si no se dispusieran de las facilidades y beneficios de los servicios llamados básicos que permiten vivir con calidad en el siglo XXI: agua potable, alimentación, disposición de las aguas servidas, sean grises, negras o industriales apropiadamente, energía, vivienda y servicios de salud.

Por los efectos de la fiebre denominada por la OMS como la influenza humana que aparece durante el mes de abril del año 2009 en nuestro país; la aviar que se espera puede presentarse en cualquier invierno o alguna semejante, se pensaría que los servicios de salud debería nombrarse en primer lugar; no hubo intención de nombrarse los servicios en algún orden o por sector económico en particular.

No hay razón por la que la protección ambiental y la justicia social estén en conflicto. El reto es desarrollar políticas que promuevan ambos. La explotación de los recursos naturales tiene como meta alcanzar el rendimiento máximo sustentable (Bojórquez y Ortega, 1988).

La población mundial gravita sobre el uso de los recursos disponibles a su alcance, donde: países, sociedades organizadas en estados, ciudades, villas, pueblos, grupos humanos menores, apuntalando su desarrollo o en conflictos que inhiben su crecimiento como grupo, todos buscando alcanzar estados de bienestar donde prive la tolerancia, el apoyo mutuo y una calidad de vida, considerada mejor, si se tienen períodos de la misma, aceptada por la persona en concordancia con su concepto de felicidad; en una palabra, dignificada como existencia humana.

Considerando la mayor riqueza de un ente su existencia; del ser humano, además, su conciencia, aparejada con la libertad de que dispone, limitada en cierta medida por la libertad de su semejante, por sus circunstancias como persona, especie y su medio; busquemos el desarrollo sustentable del ser humano para que éste pueda aspirar a una existencia con períodos de vida plenos; considerada la plenitud en sus dos aspectos básicos: el cuerpo y la mente; la parte

[1] Informe Brundtland, 1972, Estocolmo (Suecia), PNUMA.

biológica y la emotiva. Respecto a la primera que tenga salud, en el sentido amplio; respecto a la segunda, acepta la persona sus circunstancias: espirituales, culturales y físicas.

Lo anterior sin menoscabo de los esfuerzos que cada individuo puede realizar para alcanzar metas específicas afines a sus intereses particulares, sin perder de vista que su libertad empieza donde termina la del prójimo.

El medio físico, tiene capacidad de proporcionarle al hombre condiciones que le permitan conservar su riqueza primitiva, su existencia; el resto depende de las actividades propias de este y del conjunto de personas con las que vive y convive como persona. Los seres humanos organizados en sociedades tienen que procurar equilibrar su desempeño para alcanzar estados de desarrollos sustentables como sociedad y sus miembros busquen alcanzar existencias humanas plenas, al menos para la mayoría de la sociedad , y a la totalidad del grupo social satisfacerle las condiciones adecuadas para su salud, para su existencia física adecuada como persona, teniendo como meta, al menos, vivir sanamente, y al final de sus días, ser humanamente atendido por los servicios de salud de la sociedad en la que viva.

Las bases de la permanencia de las especies, incluida la humana, supone la permanencia de entornos con cambios paulatinos, al grado de que nuestra especie pueda adaptarse. Si los cambios son acelerados, en magnitud tal que imposibilitan la adaptación de la especie, ésta debe prever cómo encontrar adecuaciones forzadas que funcionen como adaptaciones tecnológicas y permitan a un número de especies y al humano entre ellas funcionar en ecosistemas sustentables. En caso de no lograr adecuaciones forzadas, lástima por nuestra especie. El mundo seguirá girando varios miles de millones de años más sin la compañía de la única especie con conciencia de si misma.

Nuestro Sol

La radiación solar total que llega a la Tierra, que para fines prácticos se puede considerar constante, con fluctuaciones entre valores medios de máximas y mínimas de 0.07% de la radiación media (figura 1), no son suficientes para producir cambios como indican las simulaciones con los modelos actuales que incluyen gases de efecto invernadero (GEI), por lo que es creíble que fundamentalmente éstos últimos son responsables de un alto porcentaje del cambio climático, como se comentan en estudios avalados por el IPCC[2].

Mediciones de la radiación solar total (recogida a través de todas las longitudes de onda) tomadas durante la era espacial se indican en la figura 1. ¿Qué es el mínimo solar y por qué debe importarnos?

Esta gráfica indica que durante los aproximadamente 32 años de registros, la radiación solar total fluctúa en límites que se pueden considerar estrechos, dado que de los promedios mínimos a los máximos se tiene 0.07% de variación, respecto de la media de 1 366 Wm^{-2}. Por

[2] Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report, Climate Change 2007.

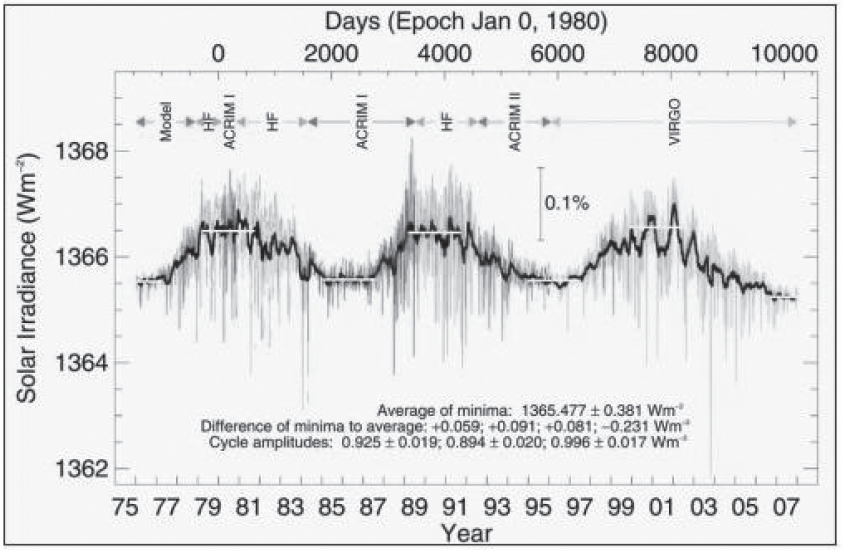


Figura 1. Radiación solar anual promedio y su variabilidad 1975-2007.
(http://www.pmodwrc.ch/).

supuesto nadie puede predecir si no tendrá el Sol algún eructo energético, pues no se conoce de la física solar interna lo suficiente como para modelar un comportamiento a largo plazo. Sin embargo, se puede modelar el cambio climático suponiendo condiciones medias de radiación solar, como alternativa creíble en periodos semejantes a las mediciones realizadas por los equipos instalados en los satélites.

Medidas tomadas cuidadosamente utilizando varias naves espaciales de la NASA[3] demuestran que el brillo solar se ha reducido un 0,02% en longitudes de onda visibles y un 6% en longitudes de onda del ultravioleta extremo desde que ocurrió el mínimo solar de 1996. Al menos hasta el momento, estos cambios no son suficientes como para revertir el curso del calentamiento global.

No obstante, la tecnología moderna no es capaz de predecir lo que ocurrirá después. Los modelos que han sido propuestos por decenas de destacados físicos solares están en desacuerdo, a veces en marcado contraste, respecto de cuándo terminará este mínimo solar y de cuán grande será el próximo máximo solar. Pesnell ha examinado la literatura científica y ha preparado un "gráfico de estilo piano[4] que muestra el rango de predicciones. La mayor incertidumbre surge de un hecho muy simple: nadie conoce por completo la física que subyace detrás del ciclo de una mancha solar.

[3] http://www.pmodwrc.ch/ 29/05/2009.

[4] http://ciencia.msf.nasa.gov/headlines/y2009/images/deepsolamminimum/pianopilot_spanish.jpg, 19/05/2009.

Límites del crecimiento

La NASA[5] intentó reproducir ecosistemas autónomos en espacios aislados de su entorno, alcanzando hasta 1.3 hectáreas las instalaciones autónomas; con la finalidad de definir necesidades de avituallamiento, por decirlo de alguna manera, durante viajes interplanetarios. Este experimento mostró la dificultad de reproducir sistemas autónomos permanentes para la supervivencia humana.

El crecimiento poblacional implica aumento y necesidad de satisfacer las demandas de recursos naturales, económicos, productivos, comerciales, administrativos, legales (de orden y control), culturales, sociales y las que adicionalmente se consideren.

El reto es: ¿Cómo asegurar mantener, ante el aumento de una población, los recursos necesarios para cada ser humano sin menoscabo para las futuras generaciones? Reciclar, consumir responsablemente, no desperdiciar, ahorrar, en resumidas cuentas, administrar los recursos con que se cuentan. Se considera que cada dólar invertido en prevención ahorra 8 dólares en mitigación (Sánchez, 2007).

El proceso de administrar es la gestión que, implica cambio de actitudes y generar valores para realizar esfuerzos tendientes a cerrar el ciclo: dejar para la siguiente generación al menos los mismos recursos *per capita*.

Dicho en otras palabras, cada elemento diferencial generador de residuos, conceptuado para fines prácticos como una persona o familia, debe reciclar en función del número de sus descendientes.

Meadows[6] vaticina referente al consumo de recursos en 1972: Si se mantienen las tendencias actuales de crecimiento de la población mundial, industrialización, contaminación ambiental, producción de alimentos y agotamientos de los recursos, éste planta alcanzará el límite de su crecimiento en el curso de los próximos cien años. El resultado más probable sería un súbito e incontrolable descenso tanto de la población como de la capacidad industrial.

Cambio climático

El cambio climático, se conceptúa como cambios en la estadística de las variables climáticas en períodos de tiempo de años, estandarizado en lapsos de 30 años por diferentes paneles, (IPCC, 2001).

La disponibilidad del agua se puede definir a través de diferentes índices; dependiendo del enfoque. Respecto a la flora se conceptúa el Índice de aridez:

$Ia = (ETP - ETR)/ ETP$

Ia = Índice de aridez
ETP = Evapotranspiración potencial,
ETR = Evapotranspiración real.

[5] Biósfera II, http://en.wikipedia.org/wiki/Biosphere_2, 19/05/2009.
[6] D.L Meadows *et al*., 1972. Los Límites del Crecimiento.

En donde se considera los valores de la manera siguiente:

Ia > 0.60 Altamente deficitarias

0.50< Ia < 0.59 Deficitarias

0.40< Ia < 0.49 Normales a deficitarias

0.15< Ia Excedentes

Otro índice que permite conocer la potencialidad pérdida de agua se indica en función de la capacidad teórica de evaporación que tiene la energía del sol incidente por unidad de superficie en cuerpos de agua, comparada con la lámina de agua precipitada, en lapso de un año, generandose el coeficiente llamado de sequedad (Campos, 2006).

CS= Rn/RIP

CS = Cociente de Sequedad

Rn = Radiación neta del Sol

RIP= Energía sola incidente necesaria para evaporar la precipitación media anual

La significación práctica del coeficiente de sequedad indica:

CS < 1 Zona boscosas humedas

CS = 1.0 Límite de zonas boscosas y pastizales

CS = 2.0 Inicio de zonas áridas

2.0 ≤ CS ≤ 7.0 Riesgo de desertificación

CS ≥ 7.0 Productividad biológica muy baja, se mantienen poblaciones humana solo en oasis

CS ≥ 10.0 Desierto, sin poblaciones humanas

La relación entre la precipitación y la temperatura, es definida como el Índice de Lang [7] que relaciona a dos de las principales variables involucradas en el clima, vinculadas ambas en el ciclo hidrológico.

IL = P/T

IL = Índice de Lang

P = Precipitación en mm

T= Temperatura en grados centrigrados

Los valores del Índice de Lang, generan la escala que se indica:

[7] www.idem.govco/files/atlas/clasificaciones%20climaticas.htm, 04/05/2009.

IL	Zonas Climáticas	Abreviatura
0≤ IL<20	Desierto	D
20≤ IL<40	Zona árida	Za
40≤ IL<60	Zona húmeda de estepa y sabana	Zhes
60≤ IL<100	Zona húmeda de bosques ralos	Zhbr
100≤ IL<160	Zonas húmedas de bosques densos	Zhbd
IL ≥ 160	Zonas hiper-húmedas de prados y tundras	Zhhpt

Rau y Wooten (1980), define ambiente como un concepto que incluye todo los aspectos que rodeen al ser humano y lo afectan de manera individual o colectiva, por lo cual puede definirse como el complejo de factores físicos, biológicos, sociales, culturales, económicos y estéticos que afectan a los individuos y comunidades y que determinan su forma, carácter, relaciones y supervivencia sobre un espacio y tiempo.

La Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OECD)[8] , afirma que las actividades humanas ejercen presión sobre el medio ambiente, modificando la localidad y cantidad de los recursos naturales, generando los cambios y alteraciones del estado o condición del ambiente y las respuestas humanas a ellas deben incluir un compromiso organizado que apunte a reducir, prevenir o mitigar cambios indeseables, lo cual parece acertado.

Gestión ambiental

La aplicación de la Carta de Zaragoza, al conceptuar la gestión del agua con visión que trasciende el punto de vista antropocéntrico, como una gestión integrada de los recursos hídricos, que protegen al mismo tiempo la supervivencia del ser humano. [9]

De conformidad al Comité Consultivo Técnico de la Asociación Mundial del Agua (GWP),[10] la gestión integrada del agua se puede describir como: Un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

La gestión permite entre los usuarios del recurso definir la equidad, que para cada grupo de usuarios, en los distintos escenarios que se presentan al usar los recursos naturales, es el más apropiado, para poder ser aceptado por todos los sectores usuarios. La definición de prioridades, puede generarse con metodologías *ad hoc* como el Proceso Analítico Jerárquico (Saaty, 1997).

[8] Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OECD), 1979.
[9] Exposición Internacional del año 2008, Zaragoza, España, septiembre.
[10] www.gwpforum.org/gwp/library/GWP_lanza_nueva_Estrategia_Global.pdf, 03/05/2009.

La gestión ambiental contempla de manera integrada algunas interacciones entre el medio natural y el humano con los proyectos de infraestructura o industriales, o de desarrollo urbano que introducen modificaciones significativas al ambiente.

La identificación, evaluación, prevención, mitigación o compensación de estas modificaciones o impacto ambientales constituyen el objeto de la gestión ambiental (Ángel *et al.*, 1997). El inicio de una gestión ambiental se encuentra en la definición conceptual de un proyecto de desarrollo. El mismo autor, considera que la totalidad de los impactos no podrán ser manejados de manera apropiada a través de la gestión ambiental.

Sin embargo, concebir y conceptuar si pueden contribuir a manejar de manera adecuada los impactos ambientales; para con la gestión, alcanzar las metas concebidas y propuestas. La dificultad estriba en cambiar los usos y costumbres de la sociedad que usa y abusa de los recursos naturales sin importarles las generaciones futuras. Casos memorables para recordarlos y evitar que se presenten de nuevo abundan. Solo se requiere ver las manifestaciones de impactos ambientales, y darles seguimiento. Caso conocido por muchos es el de los tiraderos, basureros o disposiciones finales de la basura de los cascos urbanos. Una indicación apropiada, entre otras, es prohibir el uso de bosas de polietileno, teniendo que usar otro tipo de bolsa que sea ambientalmente amigable, es decir, degradables en términos de lapsos menores a la vida útil de los mismos basureros.

La gestión ambiental, se entiende como un proceso cíclico de mejoramiento continuo, en el que se va alcanzando gradualmente una mejor calidad ambiental; el inicio del ciclo se genera con la comunicación, el interés y la cooperación de la sociedad, que responden al verdadero sentido de la gestión ambiental, como una responsabilidad colectiva y compartida, donde los sectores de la sociedad: gobierno, usuarios de recursos, ONG, colegios de profesionistas, universidades, comunidad en general, desempeñan papeles complementarios.

El estudio de la gestión ambiental (Ospina, 2009) requiere definir algunos conceptos para considerar planteamientos, entre otros: la sensibilidad, la susceptibilidad, la adaptación de un sistema.

La sensibilidad: se define como el grado de afectación perjudicial o benéfica a un sistema por estímulos relacionados con el cambio del clima.

Grado de susceptibilidad: o incapacidad de un sistema de enfrentarse a efectos adversos del cambio climático, incluida la variabilidad y los extremos del clima. Es función de tipo, magnitud y rapidez del cambio, la variación a la que el sistema está expuesto, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación.

Capacidad de adaptación: es la habilidad de un sistema de ajustarse al cambio climático para moderar daños posibles, potenciar oportunidades y enfrentar consecuencias nocivas

Siendo el agua un vector transversal de las actividades humanas, un cambio del clima implica cambios en la distribución espacio-temporal de los recursos hídricos; necesariamente impacta actividades humanas vinculadas con el uso y aprovechamiento del agua, es decir, la mayor parte de sus actividades.

Diferentes aplicaciones de modelos y estudios del cambio climático predicen impactos negativos en actividades humanas como (Gay, 2000):

- Reducción general del rendimiento de las cosechas en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales por aumentos previstos de la temperatura.
- Disminución general del rendimiento de las cosechas en latitudes medias por aumento de algunos grados centígrados en la temperatura.
- Menor disponibilidad del agua en muchas poblaciones con escasez actual del recurso, en particular las regiones subtropicales.
- Aumento en enfermedades transmitidas por vectores vinculados con el agua, y muerte de personas por el efecto de golpe de calor.
- Aumento extendido de riesgo por inundaciones para muchos asentamientos humanos a lo largo de las costas por efectos de fenómenos meteorológicos y por el aumento general del nivel medio del mar.

Impactos positivos pueden ser:

- Aumento en el rendimiento de las cosechas en algunas regiones a latitudes medias por aumento de la temperatura en algunos ºC.
- Aumento posible del suministro de maderas en el mundo, en bosques con una ordenación adecuada.
- Aumento de la disponibilidad de agua en poblaciones de algunas regiones con escasez
- Menor mortalidad invernal en latitudes medias y altas.
- Demanda reducida de energía para calefacción debido a mayores temperaturas invernales.

Por lo que ante efectos encontrados, son necesarios análisis de escenarios climáticos futuros, considerando la vulnerabilidad de los diferentes sistemas y sectores, y la elaboración de estrategias de adaptación.

Conforme al Grupo de Trabajo III (GWIII) del IPCC (2001), define al escenario como una descripción coherente e internamente consistente de un posible estado futuro del mundo.

Lecciones aprendidas

Es fundamental las valuaciones de impacto del cambio climático, para valorar la adaptación y la vulnerabilidad de ecosistemas y estimar alternativas de posibles condiciones futuras. Estimar esas condiciones por regiones permite a su vez suponer los impactos en actividades humanas en particular.

Para México, Ospina (2009), indica bajo el supuesto de escenarios A2 y B2, con los modelos GFDLCM20 y MPIECH-5 se generan reducción en el Índice de Lang, a excepción de la condición A2, B2 de la región hidrológica XII de la CNA, con aumentos que tienden a la baja, en las primeras cinco décadas, teniendo una leve tendencia al aumento el mismo Índice de Lang, en los tres últimos quinquenios simulados. En las cuatro regiones hidrológicas: IX,X,XI y XII de la CNA, durante todo el período simulado hasta el 2080, el Índice de Lang se reduce, por lo

que la relación de precipitación se verá disminuida, según los dos modelos utilizados con los escenarios A2 y B2, aplicables por el supuesto desarrollo a futuro de nuestro país.

Lo anterior da credibilidad –en cuanto a la tendencia– a la reducción de la precipitación, lo que indica que se debe contemplar, al menos para mantener las disponibilidades reales de agua en los mismos niveles *per capita*, volver a usar el recurso en porcentajes al menos iguales a las reducciones de las precipitaciones para conservar la disponibilidad *per capita*.

Dada la imposibilidad de competir con la naturaleza y sus ciclos, debemos concentrarnos en capacitar sectores de la población, para sobrellevar los cambios e incertidumbres que la variabilidad del clima genera en la vida de las sociedades.

Garantizar la seguridad alimentaria implica, entre otras, retomar costumbres que se han ido perdiendo, *vr. gr.* producir a nivel familiar las frutas, verduras y la producción de compotas que consume una familia. Tener una producción de alimentos familiar, implica asegurar durante semanas o meses alimento suficiente para mantener la salud y enfrentar contingencias que impactan en la alimentación de las familias, como eventos de ciclones, inundaciones, ciclos económicos difíciles, esperando a que lleguen los meses de abundancia, es decir de suministros suficientes y asequibles.

Una meta para reducir el impacto del CC relacionado con la bioenergía y nutrición[11], es esforzarnos para alcanzar la meta de reducir a la mitad la desnutrición para el año 2015.

Para nuestro país representa enfocarnos a buscar estrategias que puedan ser retomadas por la comunidad en general, poniendo énfasis en los antecedentes culturales y retomar los caminos abandonados como la producción de alimentos en huertas familiares. Esto requiere, dependiendo de la tecnología utilizada, de algunas decenas de metros cuadrados hasta al algunos cientos de metros cuadrados de huerta para satisfacer a una familia tipo.

Retomando a Cohen[11], la seguridad alimentaria tiene cuatro dimensiones: disponibilidad, acceso, seguridad de suministro y sanidad del alimento. Estas dimensiones en unidades familiares se pueden alcanzar con esfuerzos realizables y probados con anterioridad durante generaciones. El reto es cambiar actitudes y costumbres nuevas por las anteriores ya probadas para obtener suministros en casa.

Experiencias y uso técnico de material biológico (semillas), agua, sol y nutrientes existen en un buen número de lugares, la capacitación vía presencial o a distancia, también, por lo tanto es una alternativa de mitigación y de sobrevivencia apropiarnos de las experiencias de producción de alimentos a escala familiar para convivir con el cambio climático.

Evaluación, metas y compromisos. Base científica

La nueva evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC)[12] el cual está patrocinado de manera conjunta por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Am-

[11] Marc J. Cohen, FAO IFPRI, Mayo, 2008.

biente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), pronostica un calentamiento de moderado a devastador, rango de 1.4 a 5.8 °C en los próximos cien años.

Puntos clave del Tercer Panel del IPCC indica la fuerte evidencia de que gran parte del problema del calentamiento observado en los últimos 50 años se atribuye a actividades antropogénicas. La certidumbre en la capacidad de los modelos para realizar proyecciones futuras del clima ha aumentado desde el informe del IPCC de 1995.

La reconstrucción de los datos climáticos de los últimos 1 000 años, así como las estimaciones de la modelación de las variaciones climáticas naturales, sugieren que el aumento de la temperatura observada en los últimos 100 años no es lo usual, originado no sólo por causas naturales.

Datos de los registros históricos del hemisferio norte, indican que el aumento de la temperatura en el siglo XX probablemente ha sido el mayor de cualquier siglo de los últimos 1 000 años; y parece ser que la década de los años 1990 la de mayor temperatura registrada y 1998 el más caluroso.

Desde 1750, la concentración atmosférica de bióxido de carbono (CO_2) aumentó en un 31%, de 280 partes por millón a cerca de 367 ppm en la actualidad. La concentración de CO_2 del presente no había sido excedida en los últimos 420 000 años y probablemente tampoco en los últimos 20 millones de años. Las proyecciones indican que el nivel de los mares aumentara de 0.09 a 0.88 metros en el período de 1990 al 2100.

Sugerencias y recomendaciones

Los problemas planteados por la tercera valuación del IPCC son:

1. Los científicos estiman que es real el peligro de que el clima cambie rápida y espectacularmente en los decenios y siglo venideros. ¿Podemos controlar esta situación?
2. Si no se conocen con certeza las consecuencias de un problema, ¿Se hace caso omiso del problema o se trata de encontrarle alguna solución?
3. En el problema del cambio climático hay una injusticia fundamental, que exacerba las relaciones ya problemáticas entre las naciones ricas y pobres. Habida cuenta de que las emanaciones derivadas de la utilización de energía constituyen la causa principal del cambio climático, habrá una presión creciente para que todos los países reduzcan el consumo de carbón y petróleo. También habrá presiones (e incentivos) para que se adopten tecnologías avanzadas tendientes a limitar los perjuicios en el futuro, pero el costo de éstas puede ser elevado.
4. Si todo el mundo empezara a consumir más y a darse la buena vida, ¿Podría soportarlo nuestro planeta?

[12] Coordinación del Program de Cambio Climático, Tercer Informe de Evaluación del IPCC "Cambio Climático 2001. " La Base Científica".

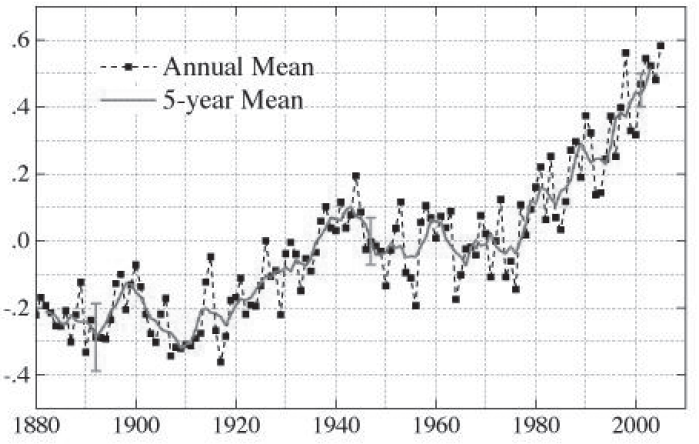


Figura 2. Temperatura media de la atmósfera 1880-2000.
(http://data.iss.nasa.gov/gistemp/2008/.

5. Las emisiones siguen creciendo, ¿No es el momento de tomar alguna medida seria?
6. ¿Cómo podemos hacer para que nuestro comportamiento y nuestras economías no perjudiquen al clima?
7. ¿Cómo se dividirá la labor y se distribuirá la carga de forma equitativa?
8. Sólo quiero gastar en esto el mínimo necesario!

Como conclusión puede sintetizarse la necesidad de la gestión para prevenir y generar el reciclado de los recursos tanto como nos sea posible. Para las actividades industriales, debe reciclarse en la proporción en que aumente la actividad del sector, más el porcentaje que se requiera reducir los desechos para alcanzar la meta a partir del año base.

En la figura 3, en que se observa el reciclado de un recurso, abscisas número de ciclos de reutilización, y en el eje de las ordenadas en cientos por ciento de reutilización. Se percibe que empieza a ser significativo los ahorros del recursos a medida que aumentan el número de ciclos de reutilización, por ejemplo, si tomamos el uso del agua en riego por goteo en sistemas de riego radicular aéreo, que humedece solamente la zona radicular, el agua que escurre al depósito se recicla volviendose a bombear otra vez para la zona radicular. En la gráfica se indica que con 14 ciclos de reutilización con 40% de eficiencia, el recurso agua se usa el equivalente al 151%; para ciclos de reciclados con eficiencia del 95% por ciclo, sí se usa el recurso durante 14 ciclos se alcanza hasta el 1 055%. Nuestro reto es reciclar los recursos que utilizamos la mayor cantidad de veces para aumentar la disponibilidad de los recursos que son finitos.

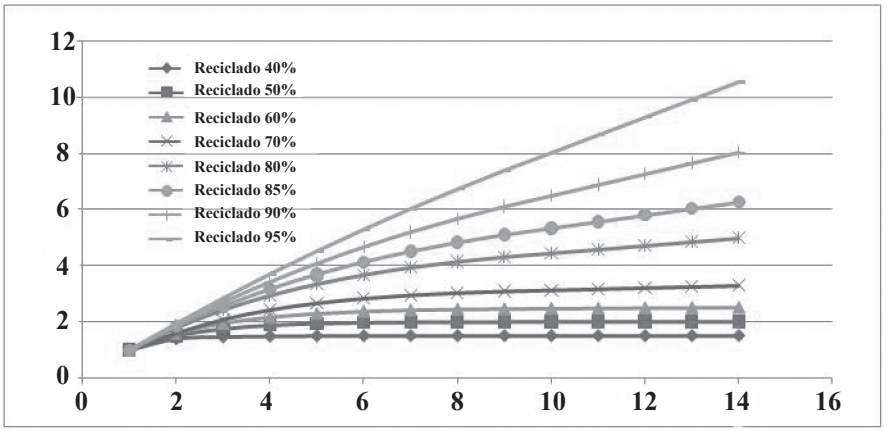


Figura 3. Ciclos de reutilización de un recurso.

Literatura citada

Ángel E., L. C. Villegas y S. I. Carmona, 1997. Gestión ambiental en proyectos de desarrollo; una propuesta desde los proyectos energéticos. Fondo FEN, Santa Fe de Bogotá, 232 p.

Bojórquez T.L. y R.A. Ortega, 1988. Las Evaluaciones de impacto ambiental, conceptos y metodologías. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A. C. Publicación 2.

Campos Aranda DF., 2006. Índice de Aridez. *Revista Tláloc-AMH*, No 36, Enero-Abril.

Gay C., 2000. México: Una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Resultados de los Estudio de vulnerabilidad del País. Semarnap; UNA, USCSP. 220 p.

IPCC, 2001 Third Assessmente Report Impacts, Adaptation and Vulnerability, Climate Change, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report, Intergovermental Panel on Climate Change, WMO-UNEP. 110 p.

Rau, JG., y DC. Wooten, 1980. Environmental Impact Analisis. Handobook. New York; McGraw-Hill.

Saaty, T.L., 1997. Toma de decisiones para líderes:el proceso analítico jerárquico la toma de decisiones en un mundo complejo, RWS Publications.

Sánchez S. R., 2007. Desarrollo de recursos hídricos, Organización Mexicana de Meteorólogos AC. XVI Congreso Mexicano de Meteorología, Ed. Internacional, 12 al 16 de Nov/2007, Veracruz, México.

Ospina JE., 2009, Efectos del cambio climático en la generación hidroeléctrica con énfasis en proyecciones de generación transmisión eléctrica en Colombia, Tesis de Doctorado, UNAM.

Solana-Sansores L. R., 2010. Efectos sociales, económicos y políticos del cambio climático en las pesquerías mexicanas. p. 305-318. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Efectos sociales, económicos y políticos del cambio climático en las pesquerías mexicanas

L. Rafael Solana-Sansores

Resumen

La pesca constituye una actividad importante en el desarrollo de México por su contribución en la seguridad alimentaria, como fuente de empleos, en la recaudación de impuestos y en la captación de divisas. Por su parte, el cambio climático tiene un efecto directo en los ecosistemas acuáticos y por tanto en los recursos que lo habitan, impactando directamente en la actividad pesquera. Sus efectos pueden ser directos e indirectos, con la consecuente modificación de la oferta de productos pesqueros en el mercado. Además, tiene un impacto en la infraestructura portuaria y en las comunidades humanas de la costa. Por ello, es necesario el desarrollo de políticas públicas para mitigar sus efectos en las pesquerías, como el desarrollo de marcos institucionales y legales que consideren y respondan a tratados sobre el cambio climático y la incertidumbre producida por la sobreexplotación de los recursos, la contaminación y los cambios de las condiciones hidrológicas. Entre otras acciones es necesario: Implementar el Código de Conducta para la Pesca Responsable; el establecimiento de acuerdos nacionales y multilaterales, que permitan la movilidad de las flotas; el combate de la pesca ilegal; programas de promoción del consumo local y regional de los recursos; el diseño de sistemas tempranos de prevención contra desastres naturales; la realización de estudios de evaluación del riesgo de cambio climático y su impacto social, evaluando escenarios de mitigación y alternativas de adaptación y finalmente la promoción la investigación sobre los impactos en el corto y mediano plazo del cambio climático.

Introducción

La actividad pesquera tiene un lugar fundamental en el desarrollo de un país. Entre sus contribuciones se pueden destacar las siguientes:

1. Los sistemas pesqueros contribuyen a la producción de alimento y de proteínas de bajo costo.
2. Contribuye de manera relevante a la seguridad alimentaria en el mundo, en particular de muchas regiones de América Latina y de México.
3. Es una actividad que genera ingresos a las poblaciones humanas de muchas regiones, especialmente las que viven en las zonas costeras.
4. Para un país, la actividad pesquera es una fuente generadora de empleos directos e indirectos, y, por tanto, también de recaudación de impuestos.
5. Además de ello, contribuye de manera significativa a la captación de divisas por la comercialización de los productos derivados de la pesca.

En suma, la pesca es un elemento clave en el desarrollo local y regional.

En México, por ejemplo, los productos de la pesca utilizados para el consumo humano directo durante 2007, de acuerdo con las cifras preliminares de las estadísticas oficiales, alcanzaron un volumen de producción de 1 173 065 toneladas, sólo en captura directa. Entre estos productos destacan: la sardina, el calamar, el atún, la escama en general y el camarón, los cuales pueden alcanzar precios razonables para el consumo de las clases populares y contribuyen enormemente a la seguridad alimentaria nacional. Asimismo, la pesca para muchas comunidades mexicanas es la única actividad posible en sus lugares de residencia, por lo que contribuye al arraigo de personas dentro de las mismas. De esta forma, durante 2006 se registraron más 279 mil empleos directos en la pesca. Del mismo modo, la actividad pesquera en México genera al año una importante captación de divisas; durante el año de 2006 se obtuvieron divisas por la venta de productos pesqueros por más de 680 millones de dólares, alcanzando una balanza comercial positiva de más de 193 millones de dólares.

Dada la importancia de la pesca en el mundo y la creciente preocupación manifestada por las sociedades de todos los países por el calentamiento global, durante la 27 sesión ordinaria de la Conferencia Pesquera (COFI, por sus siglas en inglés) de la Organización de la Agricultura y la Alimentación (FAO) de las Naciones Unidas, se planteo la necesidad de implementar estudios para identificar los factores clave de los posibles efectos del cambio climático sobre la pesca. Específicamente, se planteó la necesidad de responder a las siguientes preguntas: 1) ¿Cómo se adaptará la industria pesquera al cambio climático? y 2) ¿Qué políticas pesqueras se deberán adoptar para el cambio climático? Estas mismas preguntas se deberán plantear en México, de tal forma que las respuestas contribuyan a plantear políticas públicas que mitiguen los efectos del cambio climático en lo ambiental, social y económico de los sistemas pesqueros del país.

La actividad pesquera y el cambio climático

El cambio climático tiene un efecto directo en los ecosistemas acuáticos y las actividades que allí se desarrollan, como es el caso de la pesca. Sus efectos pueden distinguirse a diferentes niveles y sobre los diferentes elementos que lo componen. Entre ellos se pueden mencionar:

- Efectos en los elementos físicos y ambientales en los ecosistemas,
- Efectos en la biomasa de los peces y en la vulnerabilidad de las poblaciones,
- Efectos en las operaciones pesqueras y en la infraestructura portuaria,
- Efectos en las comunidades humanas de la zona costera.

Los primeros dos elementos residen dentro de los ecosistemas marinos, mientras que los aspectos de la producción (operaciones pesqueras e infraestructura) y sociales, son de carácter independiente a la problemática ecológica. Sin embargo, las interrelaciones de estos dos componentes son fuertes y los efectos del cambio climático repercutirán en todos ellos.

El cambio climático y su impacto en los ecosistemas marinos

El cambio climático, fenómeno definido como una variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad y que persiste durante un período prolongado de años, tendrá sin lugar a dudas un efecto importante en la actividad pesquera y en los sistemas naturales en los que se realiza. Sus efectos, en general, se observarán principalmente en los siguientes aspectos: 1) Un cambio importante en el acceso a los recursos pesqueros y 2) La consecuente modificación de la oferta de productos pesqueros en el mercado nacional e internacional. En el primer aspecto, se considera que un cambio en los elementos del clima, como sería una elevación de la temperatura media en el mar, ocasionaría migraciones importantes de los recursos pesqueros de sus lugares tradicionales. Por ejemplo, algunos recursos que actualmente llevan sus ciclos de vida en los trópicos podrán acceder a sitios de latitudes templadas. Además de ello, el calentamiento gradual de las primeras capas de la superficie marina permitiría un mayor desplazamiento de los organismos que habitan en ellas hacia mayores profundidades. Esto último, por ejemplo, se ha observado en las pesquerías de atún en el Pacífico oriental cuando ocurren anomalías térmicas, como el fenómeno global denominado Oscilaciones del Sur - El Niño (ENSO, por sus siglas en inglés).

El cambio climático tendrá un efecto en el acceso de recursos pesqueros, el cual puede ser positivo o negativo. Al modificarse los ecosistemas marinos, los patrones de distribución y abundancia de peces, sus movimientos migratorios y sus áreas de crianza y alimentación tenderán a variar. De este modo, las flotas pesqueras tendrán que adaptarse a estos nuevos escenarios y modificar su comportamiento. Estas modificaciones de los patrones de pesca repercutirán en los rendimientos pesqueros y en la oferta de productos pesqueros en los mercados locales, nacionales e internacionales.

Entre los cambios que se podrán observar en los ecosistemas marinos, destacan:

1. La modificación de la distribución de los recursos pesqueros, dado los cambios del tamaño y la productividad de sus hábitats.
2. Cambios en la productividad los ecosistemas marinos, principalmente tropicales y subtropicales, debido a la elevación de la temperatura.
3. La modificación de los procesos fisiológicos de los recursos pesqueros. Por ejemplo, los peces tranzonales como el atún y similares modificarán su velocidad de nado; los camarones peneidos modificarán su velocidad de crecimiento individual y en el total de las lagunas costeras se observarán cambios importantes en la velocidad de transmisión de materia y energía entre los elementos de la red alimenticia.
4. Se afectará la estacionalidad de los procesos biológicos: cadenas tróficas, épocas de reproducción y otros.
5. Se incrementará el riesgo de invasión de especies en los ecosistemas y de enfermedades.
6. Se incrementará la frecuencia y estacionalidad de los patrones climáticos. Un ejemplo clásico es el denominado ENSO.
7. Se observarán cambios importantes en las trayectorias e intensidad de eventos catastróficos, como la presencia de huracanes en las zonas tropicales.
8. Se incrementará el nivel del mar, la acidificación del agua y los cambios en los regimenes de precipitación pluvial.
9. Se observarán incrementos en los flujos de los ríos hacia los cuerpos de agua costeros, afectando a las comunidades de arrecifes coralinos, los estuarios, la dinámica de las lagunas costeras y otros.

Estos y otros factores deberán entenderse para diseñar políticas públicas con objetivos claros y dirigidos a mitigar los efectos del cambio climático. Estas políticas deberán basarse en el conocimiento científico; en el impulso en el desarrollo tecnológico; en la disminución del uso de combustibles, cuyas emisiones contribuyen al cambio climático; que enfaticen en la protección de los ecosistemas marinos; que sean sensibles a las necesidades de los grupos vulnerables (*e.g.* grupos indígenas y mujeres) y que tengan vocación de desarrollo para las comunidades costeras que viven de la pesca. Las políticas públicas, desde su diseño, deben ser incluyentes e involucrar a todos los sectores de la sociedad: académico, industrial, social y otros.

El cambio climático y sus impactos en los sistemas sociales y económicos

Los sistemas pesqueros involucran dos factores importantes: El humano y el recurso pesquero (que incluye a todo su entorno). En el factor humano, el cambio climático tendrá un considerable efecto en su dinámica, repercutiendo en: la oferta de alimento, dinámica del empleo, captación de contribuciones (impuestos) y desequilibrios en la balanza comercial.

Se considera que el cambio climático contribuirá en una redistribución espacial de los recursos pesqueros. Esto demandará cambios en las operaciones pesqueras tradicionales y en la

oferta de los productos. En especies altamente migratorias, por ejemplo, podrá observarse una participación más activa de otras especies que tradicionalmente contribuían de manera marginal a la pesquería. Por ejemplo, en 2008 y años recientes, en el Pacífico Oriental se observó una presencia importante del barrilete (*Katsuwomus pelamis*) en las capturas de los países que faenan en esa región, alcanzando un porcentaje en la captura total cercano al 50%. Esto también pudiera ocurrir con otras pesquerías.

El cambio climático provocará efectos adversos en la infraestructura pesquera. La mayor cantidad de esta infraestructura reside en la línea de costa y esta expuesta a las condiciones medioambientales. El calentamiento del clima provoca un incremento en las probabilidades de formación de huracanes, muchos de ellos con trayectorias dirigidas hacia los puertos pesqueros.

El desarrollo de muchos sistemas pesqueros se basa en circuitos migratorios que desarrollan los peces y organismos marinos durante un ciclo anual o mayor. En condiciones diferentes provocados por el cambio climático estos circuitos se verán fuertemente afectados. Esto repercutirá en los patrones de migración de los pescadores, inestabilidad en sus comunidades de origen y mayor costo de las operaciones por un gasto mayor de energéticos.

Los efectos comentados en el párrafo anterior se ven reflejados en otras dimensiones de la sociedad. Entre los más palpables se encuentran los siguientes:

1. Se observará cambios de ocupación de los pescadores, al no poderse adaptar a la nueva dinámica de los recursos pesqueros;
2. Mayor flujo migratorio de personas ajenas a las comunidades, tanto de entradas como de salidas;
3. Reducción de la diversidad de los empleos. Los sistemas pesqueros demandan una gran cantidad de empleos indirectos para el procesamiento primario de las capturas. En muchas comunidades costeras estas labores las llevan a cabo las mujeres, por lo que se verán seriamente afectadas en sus ingresos;
4. Un incremento en la competencia por el acceso a los recursos y a los mercados.

Finalmente todo esto se traducirá en un incremento importante de la demanda energética.

Otro elemento en el que el cambio climático afectará a los sistemas pesqueros es en la seguridad alimentaria. Esta puede ser vista en cuatro dimensiones: la variación, la estabilidad, la accesibilidad y la utilización del producto de la pesca. En cuanto a la variación en la oferta de productos del mar, ya sea positiva o negativa, ésta finalmente traerá incertidumbre en los mercados y en los consumidores. En cuanto a la estabilidad de los recursos pesqueros, los actuales modelos de evaluación y manejo, tal vez no sean capaces de predecir los volúmenes de biomasa y por tanto los administradores serán incapaces de asegurar el abasto. En cuanto a la accesibilidad de las clases populares ésta dependerá de la oferta del producto, el incremento de precio, la competencia de oferta y la asimetría de la información. El último elemento es la utilización de los productos; ésta dependerá de los cambios de rango y calidad de los productos que se oferten. Todas estas incertidumbres en las aristas de la seguridad alimentaria serán elementos de inestabilidad en la cadena de mercado y provocarán cambios en las preferencias del consumidor. Los efectos, sin embargo, no solamente son negativos, sino también pudieran

ayudar en la seguridad alimentaria(*e.g.* accesos a nuevos productos). Sin embargo, de todos modos estos cambios generan un incremento en la incertidumbre del consumidor. Finalmente el cambio global generará un incremento en la demanda energética para satisfacer la seguridad alimentaria.

Estado del arte: la importancia de la pesca en México y el cambio climático

La pesca en México ha jugado un papel importante en la producción de alimentos de alto valor nutrimental. Aunado a esto, muchos de los productos de la pesca son de bajo precio, por lo que contribuyen a la seguridad alimentaria. Para analizar el efecto del cambio climático en la pesca mexicana y tomando en cuenta su importancia en los aspectos mencionados, se analizan desde una perspectiva estadística algunos de los indicadores como son: la producción pesquera, algunos factores de la producción y la comercialización.

En México, de acuerdo con la Carta Nacional de la Pesca (CNP, 2004 y 2006), se reconocen actualmente 53 pesquerías establecidas, distribuidas a lo largo de sus dos litorales: 32 en el Pacífico y 21 en el litoral del Golfo de México y Caribe mexicano; algunas de ellas desarrolladas en aguas interiores. Estas pesquerías, de acuerdo a su cobertura y su regionalidad, pueden constituir varias unidades de manejo, como en el caso del camarón del Golfo de México, donde al menos se reconocen tres: en las costas de Tamaulipas y norte de Veracruz, en la sonda de Campeche y en el Caribe mexicano. De esta forma, las 53 pesquerías mexicanas constituyen un total de "75 unidades de manejo" e impactan a un total de 589 especies marinas, que comprenden prácticamente todos los taxas, como moluscos, equinodermos, crustáceos, algas, peces y eslasmobranquios (CNP, 2004 y 2006). El grado de aprovechamiento de cada especie, unidad de manejo pesquero o pesquería es diferente. De esta forma, se puede observar que algunos recursos han sido sobreexplotados, como sería el caso del mero rojo (*Epinephelus morio*) en la sonda de Campeche; la lebrancha (*Mugil curema*) en la Laguna Madre, Tamaulipas; el caracol rosado (*Strombus gigas*) en el Caribe mexicano y el abulón (*Haliotis spp.*) en la costa occidental de Baja California. Otros están adecuadamente explotados, por lo que se considera que su rendimiento es óptimo; este es el caso del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), en ambos litorales; el ostión de placer (*Crassostrea virginica*); en las costas de Tabasco; el pulpo rojo (*Octopus maya*), en Yucatán y Campeche; la langosta roja de Baja California (*Panulirus interruptus*); la curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) en el Alto Golfo de California; el tiburón azul (*Prionace glauca*) y, hasta el momento, el atún aleta azul (*Thunnus thynus*) en el Pacífico Oriental. Otros se consideran recursos pesqueros potenciales como el pez espada (*Xyphias gladius*) en el Golfo de México y la almeja generosa (*Panopea generosa*) en los dos litorales de la península de Baja California. La percepción del estatus de grado de aprovechamiento puede verse distorsionado por efectos del cambio climático, por lo que será necesario realizar cambios importantes en su evaluación para internalizar dichos efectos.

En la figura 1 se presenta una evolución histórica de la producción pesquera en México, de acuerdo con las cifras del Anuario Estadístico de Pesca (2006). En el mismo se puede apreciar al menos tres etapas. Desde los años cuarentas hasta mediados de los sesentas la producción pesquera registrada en México nunca fue superior a las 500 mil toneladas y su importancia se consideraba marginal. Sin embargo, a partir de los años setentas, México adoptó una política agresiva de fomento a la pesca. Durante esos años se consolida el sector pesquero, se crea la Secretaría de Pesca, se desarrolla un sistema integral de manejo de los productos pesqueros bajo la denominación de Productos Pesqueros Mexicanos y se apoya material y económicamente a los grupos pesqueros, tanto de corte social como industrial. El resultado de esa política fue un incremento considerable en la producción, alcanzando cifras superiores al millón de toneladas de captura. Aunado a lo anterior, a nivel nacional e internacional se empieza a observar una preocupación cada vez más acentuada por la seguridad alimentaria. Bajo esta óptica se define a los productos pesqueros como elementos clave en la producción de alimento barato y de alto valor nutrimental. Por último, se observa que a partir de la década de los ochentas, dado los fuertes problemas económicos del país el crecimiento pesquero se frenó y a mediados de los años ochentas, incluso, sufrió una fuerte caída. Posterior a ese decremento, durante los últimos veinte años la producción pesquera se ha estabilizado, observándose trayectorias cíclicas en la producción en alrededor de 1.4 millones de toneladas de peso desembarcado. Sin embargo, en 2007 (cifras preliminares) se observa una caída en la producción de casi un 25% con respecto al año anterior, lo cual no se había observado en toda la historia de la pesquería. Este fuerte decremento puede marcar el inicio de un régimen pesquero distinto, atribuible a factores como el cambio climático.

En México, los productos pesqueros han jugado un papel relevante en la seguridad alimentaria. En la figura 2, se presenta una serie temporal del precio promedio por kilo de las principa-

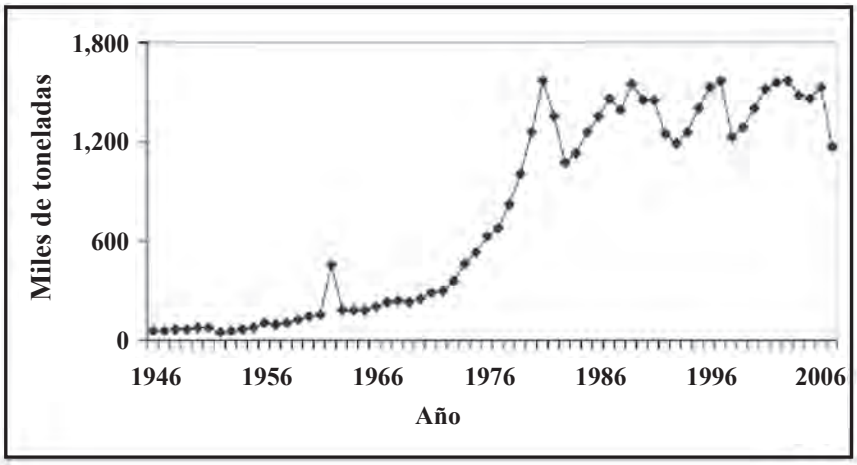


Figura 1. Producción pesquera en México, 1946 - 2007.

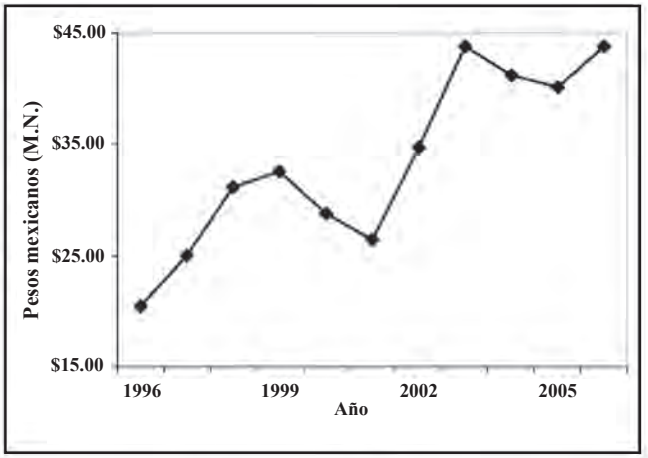


Figura 2. Precios de los productos pesqueros de mayor demanda en los mercados populares. En el eje vertical se grafica el precio promedio por kilo de las principales especies de escama. Precios registrados en el Distrito Federal (Sagarpa, 2006).

les especies de peces que se demandan en los principales centros de consumo. Entre las especies consideradas destacan el bagre marino (*Bagre marinus*), cazón (*Rizophriodon terranovae*) la lisa (*Mugil cephalus*), la tilapia (*Tilapia* spp.), el mero (*Epinephelus* spp.), la sierra (*Scomberomorus* spp.) y otros, todos ellos al alcance de las clases populares. De acuerdo con las estadísticas oficiales, los precios de estos productos son menores a otras fuentes de proteínas equivalentes, como sería el caso de los productos ganaderos. Estos precios permanecen relativamente bajos debido a que los costos de producción son bajos. Por ejemplo, para la producción de peces en las lagunas costeras o en la zona costera, los viajes de pesca suelen ser de un día y a lugares en donde se sabe que existe una abundante biomasa poblacional de las especies objetivo. Además de ello, los pescadores de una manera empírica o por el consejo de autoridades o científicos en la materia, siguen patrones de comportamiento y señales para la localización de importantes cardúmenes de peces. Este conocimiento se tiene tanto en pesquerías oceánicas como costeras. Por ejemplo, en la pesca mexicana del atún en el Pacífico Oriental, los equipos de pesca se orientan por la localización de aves marinas o manadas de delfines. Por otro lado, un ejemplo del uso de señales del ecosistema por las flotas pesqueras en la zona costera, es en la pesca de la curvina golfina (*C. othonopterus*) en el Alto Golfo de California. En esta última pesquería, además de que la flota pesca exclusivamente en los días en las que se desarrollan las mareas vivas y el recurso es más vulnerable, es frecuente que los pescadores busquen al ave marina llamada gallito de mar (*Sterna antillarum*), para localizar los cardúmenes. Todo este conocimiento permite a las flotas disminuir el consumo de combustibles (energéticos), lo cual seguramente repercute en los precios finales al consumidor. Bajo este marco de relación entre el conocimiento del ecosistema con los precios de los productos pesqueros, el cambio climático expresado en un cambio físico de los promedios de las variables ambientales, pudiera afectar seriamente esta frágil relación entre la producción "de bajo costo" y la seguridad alimentaria en México.

Otro aspecto importante de la pesca en México es su capacidad de generación de empleos. En la figura 3 se presenta la dinámica del crecimiento de empleos generados directamente por la actividad de pesca. Como se puede observar, desde hace más de 15 años la generación de empleos anuales es siempre positiva, con una tasa pequeña de alrededor del 1%. Los empleos referidos son de personas dedicadas a la extracción de los recursos pesqueros, por lo que se supone que prácticamente todos residen en la zona costera, en el caso de la pesca marina. De este modo se supone que las personas dedicadas a esta actividad establecen su hogar en la región costera y contribuyen al desarrollo del lugar. Su contribución, al estar registrados dentro de la actividad de la pesca es por medio de los pagos tributarios por impuestos, al hacer uso de los recursos pesqueros de la nación.

En muchas ocasiones, los grupos pesqueros establecen rutas de migración anual, de acuerdo con la dinámica espacial de los recursos pesqueros. Este, por ejemplo, es el caso de los pescadores de tiburón y especies afines en el Pacífico, quienes, dependiendo de la época del año, establecen campamentos temporales o semi-permanentes a lo largo la costa desde Jalisco hasta Baja California. Por otro lado, también se observa frecuentemente dentro de un mismo sitio un cambio en la especie pesquera objetivo de acuerdo con los ciclos biológicos naturales. Por ejemplo, en el Alto Golfo de California, los grupos pesqueros en la épocas de invierno y los primeros meses de primavera aprovechan las migraciones reproductivas de la curvina golfina (*C. othonopterus*). Posteriormente, en los meses de primavera y parte del verano, realizan un cambio de equipos de pesca para dirigirse a la especie de escama marina, como la sierra (*Scomberomorus* spp.) y el chano (*Micropogonias megalops*). En otra época del año, durante los meses de verano y otoño, muestran una actividad predominante en la pesca del camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) y café (*Farfantepenaeus californiensis*). Ciclos semejantes se observan en la Laguna Madre (Tamaulipas) y en las lagunas costeras de Veracruz: camarón – escama marina dentro de los cuerpos de agua costeros – escama en la zona costera – tiburón y en la península

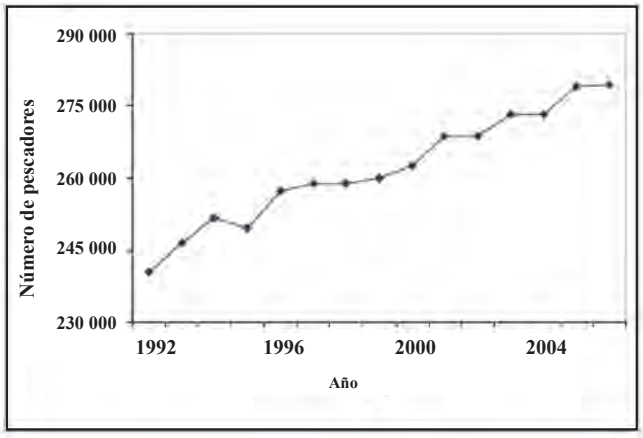


Figura 3. Número de empleos directos generados por la actividad pesquera, referido al número de pescadores registrados oficialmente (Anuario Estadístico de Pesca, 2006).

de Yucatán: pulpo – escama marina – tiburón. El conocimiento de los ciclos biológicos en los ecosistemas marinos, permiten generar riqueza, asentamientos humanos estables, desarrollo, empleos e impuestos, que favorecen a las poblaciones humanas asentadas en la costa. De este modo, cambios en el ambiente provocados por el cambio climático podría fuertemente afectar en todos estos aspectos de la actividad pesquera.

La infraestructura pesquera en México esta desarrollada sobre la línea de costa, expuesta a los cambios ambientales, de corto, mediano y largo plazo. De acuerdo con el Anuario Estadístico de Pesca (Sagarpa, 2006), existe un total de más de 34 km de infraestructura de atraque, distribuida a lo largo de los dos litorales: 41% en el Pacífico y 59% en el Golfo de México y el Caribe Mexicano. Asimismo, existen 355 plantas industriales de la pesca, dedicadas al congelado (65%), enlatado (14%), reducción (4%) y otras (16%). Además, en los últimos años, se han incrementado fuertemente las actividades acuaculturales en México, de tal forma que se ha dedicado gran parte de las costas mexicanas al desarrollo de infraestructura para la producción de crías de diversas especies marinas, granjas camaroneras y de engorda de recursos marinos. Esta infraestructura ha sido desarrollada en buena medida, de acuerdo a las necesidades de las poblaciones de pescadores, así como también de las condiciones ambientales y oceanográficas prevalecientes en las diversas zonas del país. De este modo, una modificación global en los ambientes naturales, como es el caso del cambio climático, podría seriamente afectar a la infraestructura pesquera. Por ejemplo, las variaciones de temperatura del aire y de la superficie del mar controlan en un alto porcentaje la intensidad y la dirección de los huracanes que llegan regularmente a las dos costas mexicanas; esto también es cierto, en cuanto a la duración de la temporada de huracanes. De esta forma, los efectos de estos eventos catastróficos para las comunidades humanas residentes de las zonas costeras pudieran ser bastante considerables, principalmente al no contar con información precisa de los cambios en el ambiente y programas preventivos contra desastres naturales acordes con las necesidades.

La captación de divisas es un elemento importante de aporte de la pesca al desarrollo de México. En las figuras 4a y 4b, se presentan los valores de captación de divisas y de la balanza comercial, de los productos pesqueros mexicanos. Se observa que durante los últimos 10 años el flujo de divisas al país ha sido estable, en alrededor de 600 millones de dólares. Entre los principales productos que se comercializan en el exterior, destacan: el camarón, el atún y similares; el pulpo y la langosta. El atún, es una especie tranzonal que transita por prácticamente todo el océano. En el Atlántico se desplaza desde el Golfo de Guinea hasta el Golfo de México y de regreso, y se considera que en todo ese océano existe una sola población de esa especie de pez. En el otro litoral mexicano, se considera la existencia de una sola población de atún en la región denominada Océano Pacífico Oriental. Los otros recursos de importancia en el comercio internacional se consideran costeros y dependen en buena medida de la dinámica de intercambio de materiales entre el mar y la tierra. Por ejemplo, el camarón para completar su ciclo de vida, en estado de postlarva penetra a los cuerpos de agua costeros para su crecimiento, el cual depende en gran medida de los aportes de nutrimentos de los ríos que desembocan en las lagunas costeras. En el océano el cambio climático puede ocasionar efectos en la dinámica

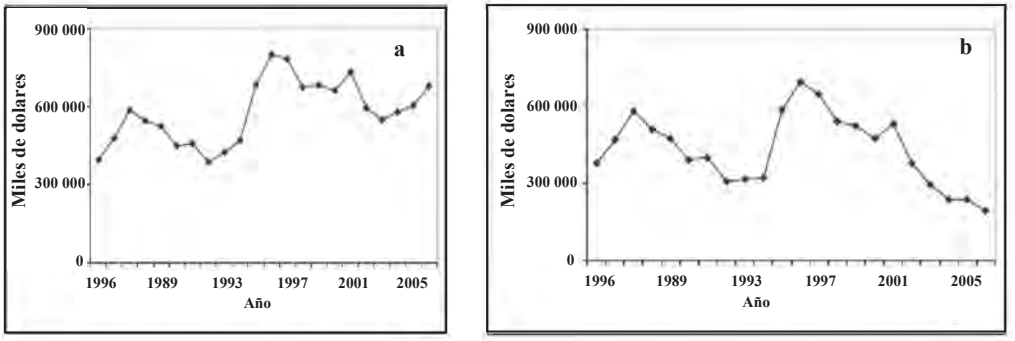


Figura 4. Divisas y balanza comercial de los productos pesqueros en México. (Anuario Estadístico de Pesca, 2006).

de las corrientes, en la variación de la profundidad de la termoclina y en la localización de los frentes oceánicos. Todos estos elementos oceanográficos permiten orientar los ciclos migratorios de los peces tranzonales, de tal manera que cambios importantes en ellos finalmente repercutirán en el comportamiento de los peces, en la accesibilidad de los cardúmenes a los pescadores y por tanto en la captura de estos organismos y en la captación de divisas. Del mismo modo, la dinámica y régimen de las lluvias en los continentes se verá afectado en mayor grado por el calentamiento global. Esto ocasionará un diferencial en los escurrimientos de los ríos, el cual repercute en el aporte de nutrientes a las lagunas costeras y su consecuente efecto en el crecimiento del camarón. Esto, finalmente, ocasionará un cambio en la producción natural de las poblaciones de camarón, en su captura y finalmente en la oferta al mercado de camarón proveniente de la pesca.

En la figura 4b se presenta la dinámica de los últimos 24 años de la balanza comercial. Se observa que a pesar de que los volúmenes de producción de manera general se han mantenido, actualmente en el país existe una mayor entrada de productos pesqueros. Esto entre otras cosas se debe a los tratados que se han firmado con otros países, los cuales ha permitido mayor intercambio. Por ejemplo, se observa un fuerte incremento de importación de productos denominados "otros comestibles" en las cifras oficiales (Sagarpa, 2006). Estos se refieren en gran medida, a productos de consumo popular como la comercialización de especies de mojarra y tilapia proveniente de países orientales. Este incremento en el flujo de estos productos indica que la demanda por productos de la pesca en México pudiera haberse incrementado. Si esto es cierto, la producción nacional (principalmente de escama) no satisface al mercado nacional y por tanto es necesaria la importación de productos pesqueros. El cambio climático, al afectar la producción y sus costos (incremento de gastos de combustibles), por afectar los ciclos en los ecosistemas marinos y en el conocimiento de la distribución y abundancia por parte del pescador, podrá contribuir a que cada vez más la balanza comercial se invierta y seamos más dependientes de los productos pesqueros del exterior.

Hasta ahora se han presentado algunos elementos de la pesca que pudieran ser afectados por el cambio climático. Estos indicadores mencionados son: producción pesquera, precios de los productos pesqueros, empleos, infraestructura, y captación de divisas y balanza comercial. A continuación, estos factores serán analizados bajo el contexto de las preguntas vertidas en la reunión 27 de la COFI de la FAO, mencionadas en la primera sección de este capítulo y algunas propuestas de desarrollo de políticas públicas.

Sugerencias y recomendaciones: desarrollo de políticas pesqueras en México frente al cambio climático

El cambio climático definitivamente tiene y tendrá un impacto en la estructura y la función de los sistemas pesqueros en México. Por lo anterior, es necesario empezar a dar soluciones a los problemas de su efecto en la pesca, mediante la adopción de estrategias y políticas públicas tanto a nivel local, regional y nacional. En principio, todos los caminos de mitigación de los efectos del cambio climático conducen irremediablemente a resolver el consumo energético, éste se traduce en la reducción del esfuerzo pesquero y la capacidad de las flotas pesqueras, reduciéndose de manera palpable la demanda de combustibles. Consecuencia de esta necesidad, es importante desarrollar programas de innovación tecnológica tanto en los sistemas de captura, como de transformación y distribución de los productos pesqueros, los cuales incluyan dentro de sus objetivos la reducción de la demanda de combustibles. Esto evidentemente, deberá estar alineado con un vigoroso impulso a la investigación y desarrollo que de solución al cada vez mayor consumo de energía. México ha dado algunos pasos al respecto; ejemplos de ellos son el uso de arrecifes artificiales, el desarrollo de redes de pesca más eficientes, la utilización de tecnología de localización de peces y otros elementos. Sin embargo, falta mucho por hacer para disminuir los efectos del cambio climático.

A manera de conclusión, algunos elementos para desarrollar políticas públicas para mitigar los efectos del cambio climático en las pesquerías en México, los cuales fueron discutidos en un taller de trabajo sobre el tema de calentamiento global y pesca (FAO, 2008):

1. Desarrollar marcos institucionales y legales que consideren y respondan a tratados sobre el cambio climático y la incertidumbre producida por la sobreexplotación de los recursos pesqueros, la contaminación y los cambios de las condiciones hidrológicas;
2. Implementar de manera completa el Código de Conducta para la Pesca Responsable, acompañado de enfoques de manejo ecosistémico de las pesquerías;
3. Establecer acuerdos nacionales y multilaterales, para facilitar la movilidad de las flotas que respondan a los cambios de distribución de los recursos pesqueros;
4. Combatir de manera frontal la pesca ilegal, no reportada y no reglamentada (IUU, por sus siglas en inglés);
5. Incrementar la resiliencia de las comunidades pesqueras en la costa, por medio de apoyos para desarrollar estrategias de vida adaptativas en la costa. Ejemplo de estos elementos:

disposiciones de acceso recíproco a los recursos pesqueros y mecanismos de resolución de conflictos;

6. Explorar políticas para promover el consumo local y regional de los productos acuáticos;
7. Respaldar iniciativas como los derechos de propiedad y otros incentivos, para reducir el esfuerzo pesquero en la sobreexplotación de los recursos;
8. Eliminar los subsidios perniciosos y los incentivos perversos, semejantes a subsidiar las flotas pesqueras en: combustibles, fondos directos e impuestos;
9. Ligar la administración de los riesgos con la planeación para el desarrollo, especialmente en la planeación costera; aplicar soluciones de ingeniería adecuada;
10. Diseñar Sistemas Tempranos de Prevención contra desastres naturales. (*e.g.* Sistemas de monitoreo ambiental eficientes, puertos de abrigo y refugio, robustecer los cuerpos de salvamento en el mar, y dotar a los gobiernos de municipios costeros suficientes fondos de financiamiento para el manejo de riesgo de desastres y otros);
11. Realizar evaluaciones del riesgo de cambio climático y su impacto social, evaluando escenarios de mitigación y alternativas de adaptación;
12. Promover la investigación sobre los impactos en el corto y mediano plazo del cambio climático para respaldar la identificación de los focos rojos, el desarrollo de estrategias de adaptación y mitigación, incluyendo mecanismos de financiamiento y de reducción de riesgos. Integrar los resultados al sistema de Planeación Nacional y,
13. Crear elementos adaptables de planeación de largo plazo, que incluyan la promoción de la resolución pesca como un elemento estratégico para la reducción de la pobreza y programas de acción de adaptación nacional.

Nótese que todo ello esta ligado con el uso eficiente de los combustibles y energéticos, para la producción, transformación, distribución y comercialización de los productos pesqueros.

Literatura citada

FAO, 2008. Report of the Workshop Expert on Climate Change implications for Fisheries and Aquaculture. Fisheries Report 2008; 870. 32 p.

CNP Instituto Nacional de la Pesca, 2004. Carta Nacional de Pesca, 2004. Diario Oficial de la Federación, 15 de marzo de 2004. México.

CNP Instituto Nacional de la Pesca, 2006. Carta Nacional de Pesca, 2006. Diario Oficial de la Federación, 25 de agosto de 2006. México.

Sagarpa, 2006. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca, 2006. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. México. 219 p.

Flores Nava A., 2010. Una reflexión sobre el impacto del cambio climático en las actividades acuícolas costeras de México. p. 319-334. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, y L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Una reflexión sobre el impacto del cambio climático en las actividades acuícolas costeras de México

Alejandro Flores Nava

Resumen

La acuicultura se expande a escala global a la tasa más elevada de todas las actividades de producción primaria. En México, el crecimiento alcanzó más del 23% entre 2004 y 2006, empleando directamente a 25 000 personas y ubicándose en prácticamente todos los estados con litoral. Sin embargo, el sector enfrenta desafíos muy importantes de cara a los efectos posibles del Cambio Climático Global (CCG). Estos incluyen aspectos biológicos, directamente sobre los organismos en cultivo; ecológicos sobre los sistemas naturales donde se cultivan, tales como estuarios y borde costero y económicos asociados a riesgos de destrucción de infraestructura por eventos meteorológicos extremos y reducción en la disponibilidad de insumos como semilla y alimentos suplementarios. Los modelos predictivos de inundación por la elevación del nivel medio del mar (ENMM) en el territorio nacional, demuestran la vulnerabilidad de zonas acuícolas principalmente en el sur de Tabasco y Campeche, en el Golfo de Tehuantepec y en menor medida en algunos puntos de la zona Pacífico Norte. Se presenta una matriz empírica de regionalizada del tipo, magnitud y probabilidad de eventos extremos en las cuatro regiones acuícolas litorales del país, y se ofrecen diversas acciones de gestión y política para preparar mejor al sector en relación con los impactos posibles del CCG.

Introducción

La acuacultura continúa siendo la actividad productora de alimentos de más rápido crecimiento a escala global con 8.7% promedio anual sostenido durante los últimos 30 años (FAO, 2008a). Los avances científicos y tecnológicos en las áreas que inciden en la producción acuícola aunados a la expansión de mercados, han estimulado el crecimiento de la superficie de cultivo de especies acuáticas en todas las regiones del mundo; han propiciado la intensificación productiva y han ampliado el espectro de especies cultivadas en las últimas tres décadas.

Este incremento sostenido, de mantenerse, permitiría augurar que la brecha entre la oferta de proteína de origen acuático y la demanda proyectada para los próximos 25 años, sea estrechada significativamente por la contribución acuícola, alcanzando por primera vez en la historia el 47% de la oferta mundial de productos pesqueros. En este sentido, la importancia de la actividad acuícola se ha reflejado no sólo en la producción de especies de alto valor comercial, sino en el incremento de la contribución del pescado al aporte total de proteínas en la dieta de los países de bajos ingresos y con déficit alimentario (PBIDA), alcanzando 18.5% (FAO, 2008a).

En México, la acuicultura ha mantenido su expansión, el país se ubica entre los 10 países con mayor tasa de crecimiento, alcanzando 23.3% entre 2004 y 2006 (FAO, 2008a), ocupando una superficie superior a 120 000 ha dedicadas al cultivo de organismos acuáticos, y empleando aproximadamente a 25 000 personas en todo el territorio nacional (Conapesca, 2006).

Sin embargo, esta tendencia podría verse afectada en escalas hasta hoy no cuantificadas, por fenómenos derivados del cambio climático global. En este sentido, se esperan cambios negativos por alteraciones ecológicas y fisiográficas, aunque también se prevén cambios positivos relacionados con la ampliación espacial y temporal de zonas con condiciones térmicas adecuadas para el desarrollo de algunas especies. Estas alteraciones tendrán consecuencias directas en la dimensión humana de las pesquerías y las actividades acuícolas, por lo que su análisis resulta imperativo, para la instrumentación de políticas nacionales orientadas a contender, fundamentalmente, con los efectos negativos esperados en los sectores económicos.

La presente contribución pretende describir los posibles cambios directos en las actividades acuícolas del país, derivados de las alteraciones climáticas que inciden directa e indirectamente en este sector; así como sugerir alternativas para su inclusión en políticas sectoriales.

El sector acuícola de México: una síntesis de su diversidad, geografía y características

La acuicultura en México cuenta con una larga tradición que data de finales del siglo XIX, cuando se construyó el primer centro piscícola en el estado de México para el cultivo de la trucha arco iris introducida de Estados Unidos (Arredondo y Lozano, 1996). Sin embargo, ha sido en las últimas dos décadas que el sector se ha fortalecido y expandido como resultado de la conjunción de diversos factores que incluyen: i) aspectos estructurales como los cambios en la legislación que han permitido la incursión de capital privado en el cultivo de especies anterior-

mente reservadas a las sociedades cooperativas, así como la promulgación de la Ley de Pesca y Acuacultura Sustentables; ii) aspectos tecnológicos como la introducción exitosa al país de tecnologías de cultivo provenientes de otros países con mayor desarrollo acuícola, como el caso del cultivo del camarón y la tilapia, además de la creación de instituciones de formación e investigación acuícola que han permitido el acompañamiento del desarrollo sectorial a nivel regional, y iii) la diversificación económico-productiva de empresas de capital privado y del sector social, que permitió la canalización de inversiones al sector, estimulada por la creciente demanda de productos acuícolas en los mercados internacionales.

Aun cuando se reporta el cultivo de 40 especies de peces, crustáceos, moluscos y anfibios, la producción acuícola de mayor volumen e impacto económico es generada fundamentalmente por siete especies tanto de ambientes estuarino-marinos, como dulceacuíciolas (tabla 1).

La producción acuícola mexicana se ha intensificado gradualmente como reflejo de los avances tecnológicos y tendencias globales. El uso de altas densidades de cultivo para incrementar la productividad, ha demandado la introducción de sistemas de aireación, un manejo hidráulico más intensivo, y el empleo de alimentos suplementarios con alto contenido protéico.

La práctica de la acuacultura como actividad económica, se ha extendido a todo el país y en todas las escalas, desde la producción de pequeña escala, familiar o comunitaria que emplea recursos muy limitados y destina sus cosechas a complementar la alimentación e ingreso familiares, hasta las empresas verticalizadas que producen en forma intensiva especies de alto valor comercial en infraestructura de alta tecnología y en zonas costeras o espacios oceánicos, con fines de exportación.

El Programa Rector Nacional de Acuicultura y Pesca de la Comisión Nacional de Pesca y Acuacultura (Conapesca, 2008), establece como meta de producción acuícola nacional para el año 2030, un millón de toneladas, lo que representa un incremento de casi 4 veces la producción actual. Sin duda el potencial existe en términos de superficie con vocación acuícola aún no explotada, considerando que el país cuenta con más de 11 000 km de litorales; 12 500 km^2 de lagunas costeras y 6 500 km^2 de aguas interiores. El desafío para alcanzar esta meta será, además de los factores tecnológicos y de mercado, adaptarse al cambio climático.

Tabla 1. Producción acuícola de las principales especies cultivadas en México (Conapesca, 2006).

Especie	Producción (Tons)	Ambiente de cultivo
Camarón	111 306	Estuarino, marino
Tilapia	69 214*	Agua dulce
Ostión	43 495*	Estuarino, marino
Carpa	22 504*	Agua dulce
Trucha	4 232	Agua dulce
Atún	3 806	Marino
Bagre de canal	2 503	Agua dulce

* Incluye pesquerías basadas en la acuacultura.

La figura 1 muestra la geografía acuícola del país. Si bien todos los estados con litoral cuentan con unidades de producción acuícola costera y/o marina, es la región noroeste del país, la que contribuye con el 90% de la producción acuícola nacional y presenta la mayor tasa de expansión y perspectivas de crecimiento.

En el Golfo de México, la actividad acuícola ha presentado un crecimiento más modesto, aun cuando todos los estados de este litoral cuentan con producción acuícola. Tamaulipas es la entidad con mayor desarrollo, seguida de Campeche. El Caribe presenta el menor desarrollo acuícola del país.

Existe una amplia gama de infraestructura y sistemas de producción acuícola empleados en México, de acuerdo con la especie, el nivel de intensificación de la producción y el ambiente de cultivo. Estos incluyen sistemas basados en tierra firme; en embalses y cuerpos de agua continentales; en planicies costeras; en sistemas estuarinos; en la zona intermareal y en la zona oceánica. Ambientes todos, sobretodo los costeros, que suponen una mayor vulnerabilidad a los efectos identificados del cambio climático.

Cambio climático y acuicultura: una mirada a los análisis internacionales

Desde la creación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) en 1988, constituido por expertos de la Organización Meteorológica Mundial y del Programa de Naciones Unidas para el Ambiente con el mandato de proveer de información objetiva sobre los cambios y efectos del clima a los niveles de toma de decisión en gobiernos,

Figura 1. Regiones acuícolas del país y especies que se cultivan (Modificado de Conapesca, 2008).

los acelerados cambios en los patrones climáticos globales que afectan ecosistemas y naciones, han estimulado la formación de grupos de trabajo diversos, tanto en el seno del IPCC, como en otros organismos, con el objeto de analizar los efectos y pronosticar la velocidad de los cambios; así como emitir recomendaciones para su mitigación (*e.g.* la Conferencia de las Naciones Unidas para el Ambiente y Desarrollo en 1992 y el nacimiento del Programa de Naciones Unidas para el Ambiente en 1993).

En este marco, los efectos del cambio climático global (CCG) en los ecosistemas acuáticos han sido objeto de múltiples análisis de forma más específica tanto por el IPCC como de otras organizaciones, abordando los efectos posibles sobre la disponibilidad del recurso agua y sobre la biodiversidad acuática (Le Roy *et al.*, 2002; UNEP, 2003; Bates *et al*., 2008). De igual forma, un creciente número de trabajos científicos a escala mundial, ha permitido alimentar de forma objetiva las discusiones de estos grupos expertos (Carpenter *et al*., 1992; Burkett y Kussler, 2000; Hobday *et al.*, 2006; Wrona *et al*., 2006). De las conclusiones de los estudios se desprenden consensos sobre los efectos más probables para las próximas décadas sobre los ecosistemas acuáticos que incluyen:

- El incremento en la temperatura resultante del cambio climático, alterará tanto procesos ecológicos fundamentales, como la distribución de especies acuáticas por consecuencia.
- Desaparición de comunidades de manglar por incremento de la intrusión marina, con consecuencias directas en las comunidades asociadas.
- La estacionalidad reproductiva de las especies se verá afectada directamente por cambios fisiológicos causados por el incremento en la temperatura del agua, e indirectamente por las modificaciones resultantes en el hábitat.
- El incremento térmico a niveles superiores al umbral de tolerancia máxima de las comunidades de coral, y los procesos de acidificación marina, ya están teniendo un efecto letal en varias zonas del mundo, con efectos directos en las comunidades asociadas.
- Los cambios en los patrones de precipitación alterarán las condiciones hidrológicas que gobiernan la productividad de los ecosistemas acuáticos y los ciclos de inundación y reducción en humedales, propiciando cambios en la estructura de las poblaciones.
- La productividad acuática en muchas regiones se verá igualmente afectada por la redisposición de nutrientes hasta hoy atrapados bajo capas de hielo que se derriten gradualmente.
- El movimiento de una mayor masa de agua por efecto de la elevación del nivel del mar, alterará la salinidad y procesos de mezcla en zonas estuarinas, con afectación directa en la fisiología de las comunidades que las habitan.
- Si bien se prevé, en lo global, un incremento en la precipitación pluvial por efecto de un incremento en la concentración de vapor de agua en la atmósfera, existen zonas, entre ellas algunas regiones de México, donde se pronostica una reducción con efectos de sequía meteorológica muy severa, lo cual tendrá un efecto directo en la cantidad y calidad del agua en cuerpos de agua continentales y zonas estuarinas.

El desarrollo de modelos predictivos de los efectos del cambio climático a escala global ha evolucionado en nivel de sofisticación, lo cual se refleja en la última generación de modelos de circulación general (MCG), que integran las componentes oceánica y atmosférica. No obstante, dada la relativamente baja resolución de estos modelos y su naturaleza teórica, ofrecen mayor utilidad para escenarios de largo a muy largo plazos, con posibilidades limitadas para emitir pronósticos en escalas temporales cortas.

Los impactos del CCG sobre la pesca y la acuicultura, han sido objeto de análisis de forma reciente. En el sector pesquero los estudios se han concentrado en los efectos sobre las principales pesquerías globales como atún (Loukos *et al.,* 2003) y bacalao (Brander, 2005), mientras que los efectos sobre la acuicultura, han sido abordados desde la década de 1980, probablemente debido a la mayor vulnerabilidad evidenciada por este sector, por ejemplo, reflejada en alteraciones ambientales que originaron epizootias sin precedente que diezmaron la camaronicultura ecuatoriana (Cornejo-Grunauer, 1988).

La preocupación por los posibles efectos en el sector acuícola de diversos países, ha estimulado el análisis, la modelación y la preparación para los diversos escenarios posibles, en algunos casos de forma general sobre el sector acuícola en su conjunto (Handisyde *et al.,* 2006; FAO, 2008b), o sobre sectores acuícolas nacionales (Johannes, 2004; Hobday y Matear, 2005), e incluso, sobre sub-sectores acuícolas de forma específica (McCauley y Beitinger, 1992).

De las conclusiones derivadas de estos análisis sectoriales, se desprende que el cambio climático presenta amenazas serias para la sostenibilidad del sector acuícola, a través de impactos directos del incremento térmico gradual, y a los eventos extremos (inundaciones o huracanes) asociados. La magnitud de los efectos dependerá de las condiciones ambientales locales.

Los impactos sobre el sector acuícola pueden agruparse en: i) efectos de orden biológico, que directamente inciden sobre los procesos ecológicos y fisológicos de ambientes y organismos en cultivo, respectivamente; ii) efectos de orden económico, los ejercidos directamente sobre la infraestructura de cultivo y la producción, o indirectamente asociados a la producción, y iii) efectos de orden social, que son la resultante de uno o varios de los anteriores, que impactan a las comunidades que dependen directa o indirectamente del sector acuícola.

Efectos de orden biológico

Muchos ecosistemas acuáticos son directamente empleados como ambientes de cultivo; tal es el caso de los sistemas estuarinos abiertos donde se cultivan moluscos o peces; o la zona oceánica donde se cultivan atunes en jaulas flotantes. Al elevarse la temperatura de estos sistemas naturales, la fisiología de los organismos acuáticos, incluida su estacionalidad reproductiva, se verán modificadas. De igual forma, el incremento en la salinidad de los estuarios por una mayor intrusión marina causada por la elevación del nivel del mar, provocará estrés fisiológico en los organismos en cultivo, con consecuencias directas en morbilidad y mortalidad.

La productividad natural se verá alterada, principalmente en latitudes más templadas y frías, con posibles impactos positivos como la apertura de nuevas zonas de cultivo donde antes las condiciones no eran favorables, y con la probable invasión de otras especies competidoras.

Efectos de orden económico

El incremento en intensidad y frecuencia de eventos extremos como inundaciones o huracanes en diversas regiones acuícolas, representa uno de los principales riesgos del cambio climático sobre el sector. La destrucción de infraestructura acuícola, en su mayor parte ubicada en zonas costeras, tiene efectos devastadores y en algunos casos irreversibles en la economía de comunidades rurales, lo mismo que la pérdida de cosechas. De igual forma, los escapes de organismos exóticos, resultantes de estos eventos, representan riesgos ecológico-económicos con posible afectación a pesquerías locales.

Por otra parte, la estocasticidad generada por anomalías climáticas sobre las cosechas agrícolas o sobre la captura de recursos pesqueros que son insumos esenciales en la elaboración de alimentos acuícolas, también tiene un efecto directo en la disponibilidad y precio de estos insumos para la producción. Estos efectos indirectos son más tangibles en los productores de pequeña escala.

Efectos de orden social

Los efectos anteriores, en forma individual o combinados, tendrán repercusión en las comunidades asociadas al sector acuícola, no sólo en el plano económico, sino propiciando procesos de relocalización hacia zonas menos vulnerables o de mejores condiciones para cultivar, tal como ocurre con comunidades agrícolas.

Otras dimensiones sociales como la ocupacional se verán afectadas directa o indirectamente, al substituir actividades de producción primaria como la acuicultura, por actividades con menor riesgo. La reducción en la disponibilidad de insumos y productos acuícolas tendrá efectos en precios, lo cual inducirá consecuentemente cambios en hábitos alimenticios en algunas zonas.

Una proporción importante de la población global depende para su seguridad alimentaria de productos pesquero-acuícolas, por lo que los efectos negativos enunciados limitarán el acceso a estos alimentos en algunos casos.

Estos son algunos de los tipos de impactos identificados a escala global, aplicables a las condiciones de prácticamente todas las regiones, incluyendo México. La magnitud de los efectos y su temporalidad sin duda son sitio-dependientes y la precisión con la que pueden construirse modelos predictivos es todavía lejana a la deseable para la toma de decisiones con certidumbre. La tabla 2 presenta una matriz del nivel de impacto esperado en cultivos que se desarrollan en los tres ambientes de cultivo asociados a la zona marino-costera.

Tabla 2. Posibles efectos del cambio climático en ecosistemas empleados como ambientes de cultivo y su impacto sobre la infraestructura y/o los organismos cultivados. (0= no afectación; ¤ moderada; ¤¤= considerable; ¤¤¤= severa y x= efecto positivo).

Fenómenos asociados al cambio climático	Zona oceánica	Zona estuarina	Planicie costera
Calentamiento	¤¤	¤¤	¤
Incremento en la salinidad	0	¤¤¤	¤¤¤
Inundación	0	¤	¤¤¤
Mayor productividad primaria	x	xxx	x
Cambios en comunidades vegetales	0	¤¤¤	¤
Mayor incidencia de huracanes	¤¤¤	¤¤¤	¤¤¤
Alteraciones en la hidrodinámica	xx	¤¤	¤
Incremento en la profundidad local	¤	¤¤	0
Florecimiento de algas tóxicas	¤¤¤	¤¤¤	¤¤¤
Sedimentación excesiva	¤¤	¤¤¤	¤¤
Invasión de competidores/depredadores	¤	¤¤¤	0
Intrusión de microbiota patogénica	¤¤¤	¤¤¤	¤¤¤
Disminución de juveniles reclutables	¤¤¤	¤¤¤	0
Reducción en volumen de agua disponible	0	¤¤	¤¤¤

El impacto del cambio climático en la acuicultura mexicana: un esbozo de lo probable

Dado el principio de integralidad, cualquier alteración ambiental sobre los sistemas naturales y socio-económicos del territorio nacional, tendrá una repercusión en mayor o menor medida en la acuicultura mexicana y sus componentes. No obstante, el grado de afectación estará determinado por el nivel de vulnerabilidad de la población asociada al sector. Así, el término vulnerabilidad tiene dos acepciones; una geográfica, relacionada con el grado de exposición a, e incidencia de, fenómenos derivados de anomalías del clima en una región determinada, y otra asociada al nivel de desarrollo de la población y el sector (en este caso acuícola), lo cual guarda estrecha relación con el nivel de adaptación a los cambios.

En México la vulnerabilidad social al cambio climático es, en general, muy elevada. El sector acuícola mexicano, por su parte, está integrado por sub-sectores que presentan distintos grados de vulnerabilidad. Desde el punto de vista del nivel de desarrollo, es posible diferenciar a tres sub-sectores: i) acuacultura industrial; i) acuacultura comercial de mediana escala y iii) acuacultura de pequeña escala y escasos recursos. La tabla 3 ofrece una descripción comparativa del grado de vulnerabilidad de estos sub-sectores.

Es evidente que el grado de vulnerabilidad es inversamente proporcional al nivel de desarrollo y a la escala de los productores; así, ante una contingencia, los pequeños productores de es-

Tabla 3. Descripción comparativa de rasgos de desarrollo de los sub-sectores acuícolas de escala en México y su nivel de vulnerabilidad a contingencias asociadas al cambio climático.

Característica	Acuacultura industrial	Acuacultura comercial de mediana escala	Acuacultura de pequeña escala y escasos recursos
Nivel de desarrollo tecnológico.	Elevado, capacidad de asimilación de oportunidades tecnológicas.	De medio a elevado, dependiente de su relación con otros productores o el gobierno.	Básico, caracterizado por experiencia empírica y dependiente de asistencia técnica pública.
Disponibilidad de capital.	Elevada con acceso a recursos crediticios comerciales.	Limitada, con acceso a recursos crediticios gubernamentales.	Muy limitada, con acceso parcial a fondos de fomento.
Robustez de infraestructura ante eventos extremos.	Media a elevada; reforzada de acuerdo al entorno.	En general no preparada para eventos extremos.	Precaria, sin posibilidades de soportar eventos extremos.
Flexibilidad y capacidad de adaptación a cambios.	Elevada. Facilidad para cambiar especies en cultivo y modificar infraestructura.	Media con tendencia creciente en relación a eventos biológicos (epizootias). Muy limitada en relación a eventos meteorológicos extremos.	Nula. Carencia de conocimientos y recursos.
Fragilidad sanitaria.	Baja. Tecnología y manejo adecuados.	Baja a media. Creciente concientización estimulada por el mercado.	Alta. Carencia de conocimientos y recursos.
Nivel de bioseguridad.	Medio a elevado, con creciente implantación de esquemas de seguridad biológica forzada por el mercado.	Medio a elevado, con creciente implantación de esquemas de seguridad biológica forzada por el mercado.	Muy baja a nula.
Fragilidad financiera ante volatilidad de precios de insumos.	Baja. Cuentan con reservas y flexibilidad.	Baja.	Alta.
Posibilidad de reiniciar en caso de destrucción.	Alta.	Limitada.	Nula.
Nivel general de vulnerabilidad general del sub-sector	Baja.	Media.	Alta.

casos recursos tendrían una mínima capacidad de reacción y prácticamente nulas posibilidades de reiniciar actividades.

Por lo que se refiere a la vulnerabilidad de los productores acuícolas mexicanos asociada a las regiones donde se ubican, en un intento por contar con un referente geográfico basado en la información disponible a partir de modelos predictivos de elevación del nivel medio del mar (ENMM), la figura 2 compara las zonas de mayor densidad acuícola en las costas mexicanas, con

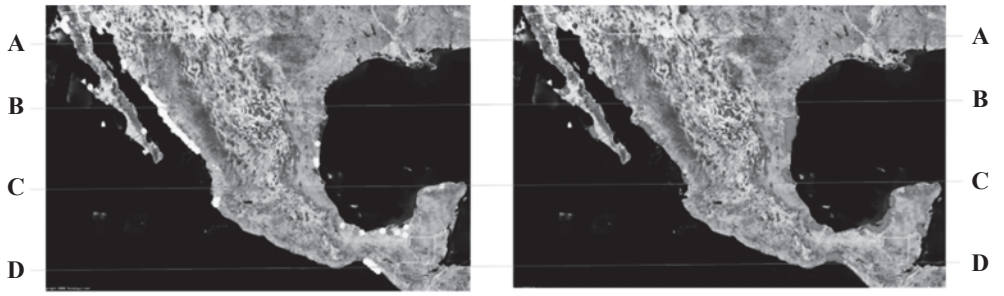


Figura 2. Zonas con mayor densidad acuícola costera en México (izquierda) y zonas identificadas como de mayor vulnerabilidad a procesos de elevación del nivel medio del mar (derecha). (Construido a partir de mapas de áreas vulnerables a CCG de Weiss y Overpeck, 2005).

las zonas identificadas como de mayor vulnerabilidad a la elevación del nivel medio del mar provocada por calentamiento global.

La imagen que señala en forma meramente indicativa los puntos litorales mexicanos con mayor propensión a inundaciones por su condición de zonas bajas con respecto al nivel del mar, ha sido derivada de la cartografía modelada de Weiss y Overpeck (2005), de la Universidad de Arizona, considerando un escenario de inundación provocada por una ENMM de un metro.

Las regiones más vulnerables se ubican en el Golfo de México, principalmente las costas de Tabasco y Campeche, en el borde costero y la margen continental de la laguna de Términos, donde se estima una afectación de hasta 20 km tierra adentro. Aquí se localizan zonas ostrícolas, algunas granjas camaroneras y piscícolas. En el Golfo centro, en las planicies costeras aledañas al corredor Veracruz-Alvarado, con afectación por inundación de hasta 47.5 km tierra adentro (CICC, 2007), y en el norte las áreas aledañas a las lagunas costera de Tamiahua-Pueblo Viejo en Veracruz. Esta región centro y norte del Golfo de México integran la zona de producción ostrícola más importante del país. Alta vulnerabilidad igualmente presentan en Tamaulipas los sistemas lagunares de La Pesca, principal zona de producción camaronícola del estado, y Laguna Madre.

En el litoral Pacífico se advierte la posibilidad de inundaciones en el golfo de Tehuantepec, importante zona productora de camarón, mientras que se predice un menor impacto en el resto del litoral del Pacífico; no obstante, algunas zonas asociadas a planicies costeras bajas y sistemas estuarinos de Sinaloa y Sonora, son también incluidas en escenarios de afectación por inundaciones marinas.

El grado de afectación a la infraestructura acuícola costera, en caso de cumplirse el escenario predictivo de elevación de un metro, estará determinado de forma específica por el sitio de ubicación de cada granja. Sin embargo, es altamente probable que las granjas ubicadas en el litoral del Golfo de México sur y en el Golfo de Tehuantepec, sean las más vulnerables a procesos de inundación.

Por otra parte, un posible impacto cuya magnitud es difícil anticipar, pero que afectará a todas las unidades acuícolas asentadas directamente en ecosistemas estuarino-costeros, es la modificación de la salinidad y la hidrodinámica propiciada por la ENMM en las zonas intermareales y estuarinas con producción acuícola de moluscos bivalvos. Esto es relevante para ambos litorales del país.

Aun cuando la información disponible localmente es escasa, y la naturaleza errática de los fenómenos meteorológicos derivados de las alteraciones del clima hacen prácticamente imposible predecir escenarios a escala micro-regional en el corto plazo, las evidencias históricas en términos de frecuencia, ámbito geográfico de influencia e intensidad, aunadas a predicciones derivadas de modelos globales interpolados a escala regional, permiten trasladar posibles efectos del CCG a la franja costera de las regiones acuícolas del país. La tabla 4 presenta los efectos probables del cambio climático global sobre las distintas regiones acuícolas del país.

Esta tabla es meramente indicativo de la posibilidad de eventos asociados al CCG en las regiones acuícolas, y no se desprende de información científica local basada en series históricas suficientes como para establecer temporalidad y certeza en la predicción. Sin embargo, si pretende alertar sobre posibles eventos extremos en función de la vulnerabilidad de diversas áreas incluidas en dichas regiones.

Resulta difícil emitir una opinión en torno a la magnitud y temporalidad de los efectos económicos sobre las poblaciones dependientes de la actividad acuícola directa o indirectamente. No obstante, si se considera que la población directamente asociada a las actividades acuícolas en México superaba las 25 000 personas, cifra que puede bien multiplicarse por un factor de 6 si se consideran los miembros de las familias dependientes de estos trabajadores, y los empleos indirectos del sector. Más del 80% se ubican en las zonas costeras del país, donde, además, se produce más del 87% de la producción acuícola nacional (Conapesca, 2006).

La contribución de la acuicultura a la economía mexicana en el año 2004 (último dato oficial disponible), se estimó en 4 700 millones de pesos; esto es una contribución del 0.047% al PIB nacional, de lo cual el cultivo de camarón y de atún, aportaron el 64 y el 10%, respectivamente (Conapesca, 2008). Ambos cultivos se concentran principalmente en la región del Pacífico Norte, en los estados de Sonora y Sinaloa, para el caso del camarón, y Baja California para el atún.

Estos cultivos han sostenido tasas de crecimiento elevados (>65% en el caso del camarón en una década), con derrama económica y empleo para múltiples comunidades, por lo que cualquier afectación derivada de fenómenos asociados al CCG tendría un efecto económico y social de alto impacto negativo.

Por otra parte, en el Golfo de México, la producción de ostión en los estados de Campeche, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas, aunado a las granjas camaroneras y piscícolas, emplean a más de 1 500 familias con al menos 3 empleos indirectos asociados a cada empleo directo. Este litoral es el que presenta una mayor vulnerabilidad por su condición de menor altitud con respecto al NMM.

Tabla 4. Probabilidad e intensidad teórica de eventos extremos asociados al CCG, en las regiones acuícolas costero-marinas de México (Cuadro construido con interpolación de fuentes de información en: Magaña *et al.,* 2004; Weiss & Overpeck, 2005; Handisyde *et al.*, 2006).

Región acuícola	Tipo de impacto	Intensidad	Amplitud geográfica	Probabilidad
Pacífico norte	Inundaciones			
	Huracanes			
	Afectación en manglares			
	Erosión de playas			
	Sequía meteorológica			
	Salinización			
Pacífico sur	Inundaciones			
	Huracanes			
	Afectación en manglares			
	Erosión de playas			
	Sequía meteorológica			
	Salinización			
Golfo de México	Inundaciones			
	Huracanes			
	Afectación en manglares			
	Erosión de playas			
	Sequía meteorológica			
	Salinización			
Golfo-Caribe	Inundaciones			
	Huracanes			
	Afectación en manglares			
	Erosión de playas			
	Sequía meteorológica			
	Salinización			

Baja	Moderada	Media	Amplia	Elevada	Severa

Acciones de política recomendadas para mitigar los posibles efectos del CCG en el sector acuícola mexicano

Las aproximaciones al problema del CCG sobre la acuicultura hasta hoy han sido tangenciales a escala global y México no es la excepción. El sector de la pesca y la acuicultura no forma parte de los sectores para los cuales existen acciones de política para mitigación en la Estrategia Nacional del Cambio Climático, instrumento formulado por la Comisión Inter-secretarial de Cambio Climático del Gobierno Federal Mexicano. Esto puede ser reflejo del peso económico que el sector tiene en la canasta económica del agro mexicano.

Sin embargo, la tasa de crecimiento de la actividad (>23% entre 2004 y 2006); la población crecientemente dependiente en forma directa o indirecta de este sector, y los riesgos ambientales asociados a la destrucción de infraestructura acuícola por fenómenos atribuibles a CCG, demandan la inclusión sin demora de la acuicultura en el marco de la Estrategia Nacional, así como otras atendibles desde el marco institucional del sector.

Algunas recomendaciones pertinentes para atender las necesidades del sector acuícola mexicano de cara a los posibles impactos del CCG se enlistan a continuación:

- La carencia de información científica orientada a la medición de cambios puntuales en la fisiografía y ecología costeras en México, como resultados de anomalías climáticas, hace prácticamente imposible la aplicación de modelos que permitan pronosticar los tipos y magnitud de efectos del CCG en la acuicultura. Es imperativo invertir en la obtención de información sistemática, de calidad, y en las variables que los especialistas determinen como indicadoras de cambios que afecten al sector acuícola.
- La actividad acuícola mexicana crece a tasas superiores a otras actividades de producción primaria. En consecuencia, la contribución sectorial a la economía y el empleo, es y será de gran relevancia para el país y debe ser reconocida de forma más específica tanto en la Estrategia Nacional de Cambio Climático, como en otros instrumentos de política sectorial de los gobiernos estatales y federal.
- Es indispensable elaborar la cartografía de la vulnerabilidad de las zonas acuícolas mexicanas. Este ejercicio resultaría sencillo considerando que se cuenta con mapas de vulnerabilidad territorial al CCG, por lo que su inserción a través de análisis espacial sería poco complicado y podría hacerse de inmediato.
- Contando con un mapa de vulnerabilidad de las zonas acuícolas, es deseable la consideración de áreas críticas (*e.g.* la margen continental de la laguna de Términos), para la decisión sobre la expansión de la frontera acuícola y, en su caso, sobre las medidas de ingeniería de protección física a ser implementadas, como condicionales de las autorizaciones de operación.
- Los efectos del CCG ya se reflejan en una mayor volatilidad de precios de materias primas como granos y harina de pescado, provocadas por una mayor estocasticidad en las capturas y cosechas mundiales. Es por lo tanto indispensable contar con un sistema de

información accesible y oportuno al productor, que le permita tomar decisiones con la mayor anticipación posible.

- Es fundamental incorporar a los análisis-base para los esquemas de ordenamiento acuícola (en este caso costero), los pronósticos de fenómenos derivados del CCG con la mejor información científica disponible.
- Es muy importante diseñar, con la participación de los principales actores de cada sector acuícola regional del país, un plan de preparación y reacción a contingencias, acorde con las amenazas identificadas localmente en torno al CCG.
- Revisar, con mayor profundidad, las posibles alteraciones en la estacionalidad reproductiva de especies cultivadas en zonas estuarino-marinas, y de especies en cultivos basados en pesquerías (como el atún), para redefinir las vedas y las zonas de captura.
- Diseñar una estrategia sanitaria preventiva más sólida y formular un programa de reacción sectorial a posibles epizootias. Esta acción demanda la revisión de las normas sanitarias establecidas, para adaptarlas a las nuevas condiciones que impondrá el CCG.
- Es importante fortalecer los esquemas de generación de capacidades *in situ* en comunidades costeras dependientes de la acuicultura. Esto les permitirá prepararse mejor o, en casos extremos, decidir sobre su relocalización o cambio de actividad de cara a la magnitud y tipo de efectos del CCG.
- La creación de un fondo de contingencias meteorológicas sobre la acuicultura, o bien, la ampliación de la cobertura de seguros, para incluir a los estratos más básicos de la producción, permitirán una mayor resiliencia en los productores más vulnerables.
- La planificación sectorial deberá incorporar análisis probabilísticos para el manejo del riesgo y la incertidumbre, dadas las condiciones de variabilidad ambiental que inciden directamente en la producción acuícola, sobretodo en aquella practicada en sistemas abiertos.
- La gestión del sector acuícola, desde la perspectiva de políticas públicas, requiere una atención separada y específica, distinta de la del sector agrícola o del pesquero, donde la mayoría de las veces se le incluye. La naturaleza de los sistemas acuáticos les hace vulnerables a mayor diversidad de efectos que los sistemas terrestres, y difiere en necesidades de las del sector pesquero. No obstante, el análisis territorial y de gestión de la actividad, debe hacerse con un enfoque eminentemente sistémico, considerando la armonización de todos los sectores involucrados en el uso común de recursos.
- La promoción de mecanismos de organización de los productores tales como las asociaciones o los sistemas-producto, son un eficaz instrumento para el fortalecimiento de capacidades y apoyos intra-gremiales que pueden ayudar a anticipar o mitigar los efectos negativos del CCG.
- Es cada vez más importante la participación de México en los grupos internacionales sobre CCG. Los acuerdos y acciones recomendadas por los diversos grupos de trabajo y comisiones, debieran transmitirse a los diversos sectores involucrados, y traducirse en acciones de preparación o mitigación.

Literatura citada

Arredondo, J.L., y S.L. Lozano, 2003. La acuicultura en México. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. México. 266 p.

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu, y J.P. Palutikof (eds.), 2008. El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 p.

Brander, K.M., 2005. Cod recruitment is strongly influenced by climate when stock biomass is low. *ICES Journal of Marine Science,* 62(3):339-343.

Burkett, V., y J. Kussler, 2000. Climate Change: Potential Impacts and Interactions in wetlands of the United States. *Journal of the American Water Resources Association,* 36:313-320.

Carpenter, S.R., S.G. Fisher, N.B. Grimm, y J.F. Kitchell, 1992. Global change and freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics,* 23:119-139.

CISCC, 2007. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Comisión Inter-secretarial de cambio climático. Semarnat/Sagarpa/SE/SENER/Sedesol/SCT/SRE. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Disponible en: www.semarnat.gob.mx/Documents/Estrategias_libro_completo_compress2.pdf

Conapesca, 2006. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca. Comisión Nacional De Pesca y Acuacultura. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. Disponible en: www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario_2006

Conapesca, 2008. Diagnóstico y Planificación Regional de la Pesca y la Acuacultura en México. Comisión Nacional de Pesca y Acuacultura. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. Disponible en: www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/programa_rector_nacional_de_pesca_y_acuacultura_su

Cornejo-Grunauer, P., 1988. Variaciones climáticas: El fenómeno de El Niño-Oscilación Sur en la acuicultura del Ecuador. *Boletín CENAIM,* 41:5-7.

FAO, 2008a. Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2008. Departamento de Pesca y Acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 218 p.

FAO, 2008b. Report on the Expert Workshop on Climate Change Implications in Fisheries and Aquaculture. April 7-9, 2008. Rome. FAO Fisheries Report No. 870. FAO, Rome.

Johannes, M.R.S., 2004. Adapting to climate variation and change in Canadian aquaculture. *Aquaculture Association of Canada Special Publication,* 8:51-55.

Handisyde, N.T., L.G.Ross, M.C. Badjeck, y E.H. Allison, 2006. The effect of climate change on world aquaculture: a global perspective. Department for International Development, London, UK. Disponible en: www.aqua.stir.ac.uk/GISAP/gis-group/climate.php

Hobday, AJ., y R. Matear (eds), 2005, Review of climate impacts on Australian fisheries and aquaculture: implications for the effects of climate change. Report to the Australian Greenhouse Office, Canberra, December 2005. Greenhouse Office, Canberra, Australia.

Hobday, AJ., T.A. Okey, E.S. Poloczanska, y A.J. Richardson (eds.), 2006. Impacts of climate change on Australian marine life. Report to the Australian Greenhouse Office, Canberra, September 2006. Greenhouse Office, Canberra, Australia.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II. In: L. Parry, Martin, O F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson, (eds.). Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1000 p.

Le Roy, P.F., M.M. Brinson, y J.W. Day Jr ., 2002. Aquatic ecosystems and global climate change. Potential impacts on inland freshwater and coastal wetland ecosystems in the United States. Prepared for the Pew Center on Global Climate Change

Loukos, H., P. Monfray, L. Bopp, y P. Lehodey, 2003. Potential changes in skipjack tuna (*Katsuwomus pelamis*) from a global warming scenario: modeling approach and preliminary results. *Fisheries and Oceanography,* 12:474-482.

McCauley, R., y T. Beitinger, 1992. Predicted effects of climate warming on the commercial culture of the channel catfish *Ictalurus punctatus*. *GeoJournal,* 28(1):61-66.

Magaña, V., J.Matías-Mendez, R. Morales, y C. Millán, 2004. Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad del cambio climático en México. p. 204-213. En: J. Martínez, y A. Fernández (Coordinadores). Cambio Climático: una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

UNEP, 2003. Review of the Interlinkages between Biological Diversity and Climate Change, and Advice On the Integration of Biodiversity Considerations into the Implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change and Its Kyoto Protocol. UNEP/CBD/SBSTTA/91/11.

Weiss, J., y J.T. Overpeck, 2005. Climate change and sea level. Environmental Studies Laboratory. Department of Geosciences. University of Arizona. http://www.geo.arizona.edu/dgesl/research/other/climate_change_and_sea_level/sea_level_rise/north_america/images/lg/slr_na_1meter_lg.htm

Wrona, F.J., T.D. Prowse, J.D. Reist, J.E. Hobbie, L.M.J. Levesque, y W.F. Vincent, 2006. Climate change effects on aquatic biota, ecosystem structure and function. *Ambio,* 35(7):359-369.

Barradas, P., 2010. Cambio climático y actividades agropecuarias y forestales en zonas costeras, p. 335-346. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Cambio climático y actividades agropecuarias y forestales en zonas costeras

Pilar Barradas M.

Resumen

En este trabajo se presenta la información correspondiente al sector agropecuario y forestal del país, se trata de enfatizar estas actividades en las zonas costeras y el impacto que el cambio climático podría tener en las mismas. De igual manera, se analizan las políticas públicas existentes para promover dichas actividades, los objetivos declarados de la administración pública ante el fenómeno climático, los resultados registrados por la presencia de fenómenos meteorológicos cada vez más intensos y los problemas que se detectan ante la falta de mayores acciones para hacer frente a los mismos. Al final se efectúan recomendaciones sobre la necesidad de realizar mayor investigación multidisciplinaria regional, la urgencia de instrumentar políticas públicas congruentes que atiendan de manera integral los problemas y la incorporación de los gobiernos y organizaciones locales en las mismas.

Entorno sectorial

La República Mexicana cuenta con una superficie total de 1 964 381.7[1] kilómetros cuadrados de los cuales el 3.8% corresponde a zonas costeras, constituye una de las reservas biológicas más importantes del mundo, y se considera a nivel internacional como uno de los doce países con mayor biodiversidad.

Para 2009 se calcula que la población es de 107.55 millones[2], de los cuales más del 60% vive en ciudades mayores a 15 000 habitantes, solamente 26% habita en comunidades rurales.

El Producto Interno Bruto (PIB) de México en 2008[3] fue de 8 928 mmp a precios de mercado, el sector servicios representó 55.6%, la industria 23.9% y el sector agropecuario y forestal solamente aportó 3.5%.

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)[4], la superficie destinada a uso agrícola representa 11.7% del total, con una producción de 824 666 toneladas, sin embargo la balanza alimentaria continúa siendo deficitaria, en 2008 primer año en que se abre la frontera en el renglón agropecuario por el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), las importaciones de cereales (trigo, maíz, arroz y sorgo) se elevaron en 56% entre enero y octubre, con respecto al mismo período del año anterior.

Por su parte el área dedicada a producción ganadera alcanza 130 millones de hectáreas, en cuanto a la población de ganado se registraron un total de 23.3 millones de cabezas de bovinos, 9.0 millones de cabezas de ganado porcino y 339.8 millones de aves.

En términos generales, México gastó 19 mil 347[5] millones de dólares en la importación de 23 clases distintas de alimentos durante los 10 meses mencionados de 2008, lo que implica un aumento de 26 por ciento respecto de los 15 mil 292 millones de dólares que se gastaron en igual periodo de 2007.

Esto significa que el país, aún con la superficie que tiene dedicada a la producción agrícola y pecuaria no cuenta con la capacidad suficiente para garantizar la seguridad alimentaria de la población y que por tanto, buena parte los alimentos básicos que se consumen son pagados con recursos provenientes de otros sectores (*e.g.* venta de petróleo), recursos que podrían aplicarse para atender otros esquemas que permitieran el desarrollo sostenido.

En la parte forestal se tiene que alrededor del 70%[6] del país (137.7 millones de ha cuadradas) están constituidos por bosques (18%), selvas (16%) y matorrales (30%), de la superficie forestal, aproximadamente el 80% pertenece a comunidades y ejidos; en el quinquenio 2000 – 2005 la tasa de deforestación, de acuerdo a los reportes de la FAO[7], disminuyó situándose en 260 mil hectáreas al año, del 2000 al 2005, sin embargo esto representa una pérdida del manto forestal

[1] Indicadores Geográficos. INEGI, 2000.
[2] Indicadores Demográficos para México, Conapo, 2009.
[3] Reportes Preliminares Banco de México, 2009.
[4] VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. INEGI. 2008.
[5] Balanza Comercial México, INEGI. 2009.
[6] Compendio de Estadísticas 2000, Dirección General de Estadística. Semarnat, 2002.
[7] Reporte Forestal. FAO 2006.

no recuperable y en los últimos años habría que sumar las pérdidas registradas por los impactos de los huracanes y los incendios forestales.

Previsiones respecto a impactos del cambio climático

De acuerdo a los estudios de vulnerabilidad[8] que se han desarrollado en el país para determinar los posibles efectos del cambio climático se tienen los siguientes resultados, en los cuales se enfatizan las modificaciones de aptitud de suelos para el cultivo de maíz, debido a que es la base de la alimentación de las familias rurales:

El norte del país presenta los índices más graves de sequía, que van desde fuerte a muy severa. Los resultados de un posible aumento en el nivel del mar revelan que, en esta región, la costa del Golfo se vería afectada en el delta del Pánuco en Tamaulipas, concretamente en la zona deltaica del río Bravo, dadas sus características geomorfológicas.

Para los estados de la zona centro, la sequía, aumentaría en severidad afectando a los estados de Veracruz y Michoacán, principalmente. Este último estado presentaría también un alto grado de vulnerabilidad a la desertificación en más de 50% de su superficie, junto con Jalisco, Colima y Nayarit,

Los campos de cultivo de maíz de temporal en Jalisco, Nayarit, Colima y el norte de Michoacán pasarían de ser medianamente aptos y aptos a no aptos, disminuyendo el potencial agrícola de estos estados.

En las costas del Golfo de México y del Mar Caribe se presentan regiones susceptibles al ascenso del nivel del mar, específicamente en el delta de los ríos Grijalva-Usumacinta en Tabasco, en las costas del noreste de Campeche y en la región de Sian Ka'an, esta última considerada como reserva de la biosfera.

En la actividad agrícola, la mayor parte de la superficie está considerada como medianamente apta para el cultivo del maíz de temporal, con excepción de las costas de Guerrero y Oaxaca, consideradas como no aptas. Tabasco, parte de Campeche y Chiapas se consideran como aptas. Sin embargo, en ésta última se encuentra gran parte de las selvas del país.

De darse un cambio climático la superficie apta desaparecería de las zonas sur y sureste del país; la franja costera, considerada como no apta, se extendería hacia el interior. La mayor parte de la península de Yucatán se volvería no apta.

Se prevé que al menos el 50% de los ecosistemas forestales se vean afectados y en las zonas costeras debido a la tendencia en el incremento del nivel del mar las áreas de mayor vulnerabilidad se registran en Tabasco (Complejo Deltaico) Tamaulipas (Laguna deltaica del río Bravo), Veracruz (Laguna de Alvarado, río Papaloapan), Yucatán (Los Petenes), Quintana Roo (Bahías de Sian Ka´an y Chetumal).

[8] Ramos, Julia. Avances de México ante el cambio climático. INE. México, 2001- 2002.

Estas son las previsiones realizadas para el país y consideran que los cambios se presentarán en el primer siglo del segundo milenio.

Sin embargo, en la última década la presencia de fenómenos atípicos se ha hecho más frecuente: sequías prolongadas, lluvias fuera de temporal y por su impacto social y económico la serie de huracanes en el sur del país: Mitch en 1998, Isidoro en 2002, Stan, Emily y Wilma en 2005 y Dean en 2007.

Cuyas repercusiones han sido evaluadas en el momento posterior al fenómeno y que para su atención los gobiernos han instrumentado acciones específicas, que, sin embargo, en el transcurso del tiempo no han conseguido el restablecimiento efectivo de las actividades ni del patrimonio de los habitantes de las zonas rurales afectadas.

Así también, se han presentado incendios forestales que ocasionaron la pérdida de importantes zonas de manto forestal que aunadas a la tala inmoderada por el proceso de ganaderización representaron una pérdida de 380 mil hectáreas de bosque al año, en los últimos quince años.

Sector agropecuario y forestal y políticas públicas

En México el desarrollo de las actividades económicas del sector están fuertemente vinculadas a la gestión gubernamental, por ello resulta importante revisar las vertientes de las políticas públicas, por una parte las dedicadas a la promoción de las actividades y por otra las políticas reactivas a los sucesos meteorológicos más violentos, particularmente huracanes, que se pueden atribuir en gran parte a este cambio climático, por último se cosideran las políticas destinadas a los esquemas de mitigación y adaptación que se están instrumentando en el país y sus posibles efectos.

Las actividades primarias practicadas en la mayor parte de las zonas costeras se dividen en dos grandes rubros: una buena parte está orientada a la subsistencia, se trata de pequeñas unidades familiares que practican el auto consumo, el nivel de tecnología aplicado es bajo y se rige por prácticas tradicionales en la agricultura con escaso uso de agroquímicos, básicamente por falta de recursos monetarios, los niveles de pobreza son altos a excepción de algunas comunidades casi totalmente dedicadas a la pesca; y, por otra parte, plantaciones comerciales que se caracterizan por ser monocultivos inducidos a gran escala, cuya producción se destina a la exportación con una producción intensiva y presentan altos índices de pobreza entre sus trabajadores.

Las políticas públicas que promueven el desarrollo del sector se han caracterizado por su generalidad impulsando programas nacionales de subsidios, sin matices regionales que puedan coadyuvar a un mejor manejo por zonas; y han incentivado la producción con el uso de semillas mejoradas no siempre aptas parael lugar, lo cual tiene como consecuencia la pérdida del material vegetativo adaptado a las condiciones de cada área. También, a través del subsidio, han incrementado el uso de agroquímicos que ocasionan mayores niveles de contaminación y dependencia. Y no se promueven, de manera razonable las prácticas de riego que coadyuven a la optimización del agua.

Por otra parte, los incentivos a la ganadería se basan en un modelo que no es compatible con la conservación en estas zonas de equilibrio tan precario. Se trata de ganadería extensiva con pastizales inducidos, no siempre los mejores para las condiciones de suelo, luego de una tala total de los terrenos, con uso de alambre para delimitar y donde el índice de agostadero es como máximo de 0.9, es decir que cada semoviente requiere al menos 1.1 hectáreas para su alimentación.

Este esquema ha orientado a las pequeñas unidades de producción campesina (diversificada) hacia la pérdida de la sustentabilidad, incrementando los niveles de deforestación, así como la dependencia hacia el subsidio al no alcanzar el nivel de capitalización necesario para la rentabilidad.

La actividad forestal por su parte, se concentra en la producción maderable, prácticamente extractiva, sin optimizar aún la parte correspondiente a productos no maderables.

En las comunidades dedicadas a la producción de carbón, los permisos son escasos y regularmente el intermediario que acopia el producto y lo revende es quien capitaliza las ganancias.

La política pública orientada en este aspecto está desarrollando instrumentos que permitan el aprovechamiento sustentable a los poseedores del recurso, la figura básica para esto se denomina Unidad de Manejo Ambiental Forestal (UMAFOR) e incluye los estudios pertinentes para el uso óptimo de los recursos, no obstante este es un instrumento relativamente nuevo y los anteriores planes de manejo han sido agotados por lo cual, en algunos lugares la tala ilegal es una realidad, entre otros factores, porque la administración pública no cuenta con los mecanismos suficientes de supervisión y las carencias de las comunidades ocasionan que se permita esta práctica para contar con algún ingreso monetario extra.

Un punto que llama la atención es que las autoridades del sector no consideren el pago de servicios ambientales como captura de carbono o recuperación de mantos freáticos en todos los polígonos de áreas forestales, si bien es cierto que no toda la cubierta vegetal tiene la misma capacidad, sería importante privilegiar áreas existentes que están proporcionando dichos servicios actualmente y sin embargo, en muchos casos se consideran las zonas a reforestar para efectuar dichos pagos (áreas potenciales), dejando sin esa posibilidad a regiones que pueden considerarse prestadoras reales de dichos servicios.

En la otra vertiente, las políticas que orientan los programas de apoyo en caso de contingencias se caracterizan por intentar resolver los problemas inmediatos, en el caso de los huracanes se hace especial énfasis en la atención previa con la reubicación de las personas que se encuentran en mayor situación de peligro y en la atención inmediata posterior con apoyos específicos de despensas y algunas prendas de ropa, sobre todo cobijas, para los primeros días.

Adicionalmente, luego de un levantamiento de daños se apoya a los productores con una cantidad de recursos monetarios que no alcanza a cubrir más allá de un mes de gastos, aunque las pérdidas, en el caso de infraestructura, siembras o ganado, resultan ser mucho mayores.

En los pocos casos que se cuenta con seguros, el proceso es largo y se deben realizar muchos trámites, como resultado los afectados logran cobrar, en ocasiones, hasta un año después del meteoro.

La experiencia en el caso de la agricultura es que el tiempo posterior al huracán es un periodo perdido, ya que los suelos han quedado afectados y prácticamente ningún producto que intenten sembrar tendrá una cosecha significativa. En este rubro no se cuenta con investigaciones que permitan a los productores tener los elementos que apunten a neutralizar estos efectos y recuperar por lo menos los niveles de producción previos al temporal.

Actualmente y pese a la recurrencia de estos fenómenos y las afectaciones de mayor magnitud no se tienen políticas específicas que deriven en programas e instrumentos eficientes que permitan establecer acciones de previsión, manejo y pronta recuperación de las personas y actividades que estén siendo afectadas.

Por otra parte, el impacto en las áreas forestales es incalculable; las pérdidas no solamente se restringen a las especies vegetales, también la fauna es afectada y al perder sus fuentes de alimentación se reubican o inciden en las tierras de labor o en los centros poblacionales, asimismo los apiarios se destruyen o las abejas abandonan por escasez de floración para nutrirse.

Otra consecuencia importante de estos impactos es que generan las condiciones para la aparición de incendios de gran importancia.

En este aspecto, las acciones permitidas por las políticas públicas solamente alcanzan a paliar una parte de las necesidades con la permisión del aprovechamiento de maderas caídas en los ejidos que cuentan con planes de manejo forestal y la emisión de permisos temporales para quienes no cuentan con este tipo de plan.

Asimismo, como parte de la prevención de incendios, posterior a los huracanes, se efectúa un estudio para determinar el riesgo por los volúmenes de material combustible, lo cual permite establecer cuadrantes específicos de contingencia, las zonas de mayor riqueza forestal, las áreas de población y en razón de ello se realizan brechas "cortafuego" con maquinaria pesada y se contrata en forma temporal a algunos productores para apoyar estas acciones, lo cual resulta en ingresos adicionales para quienes participan.

Esta dinámica impacta de manera negativa en las comunidades rurales de las zonas, ya que cada vez se registran fenómenos meteorológicos más intensos cuyos efectos impiden la recuperación de la actividad económica, y ocasiona un círculo vicioso de pobreza, ya que ante los fenómenos los productores pierden su escaso patrimonio con muy pocas probabilidades de recuperarlo en el corto plazo y las políticas de restricción aplicadas, por ejemplo el impedimento de quemas agrícolas para sembrar nuevamente, o la pérdida del estatus de manejo forestal en los ejidos, originan que los productores se queden sin mayor opción de sobrevivencia y en muchos de los casos vendan sus tierras a grandes corporaciones, que le darán usos intensivos, y permanezcan en el campo como jornaleros o emigren a las ciudades a engrosar las filas de subempleados o desempleados.

Por otra parte, la atención a plantaciones comerciales no difiere en mucho de lo ya manifestado, en algunos casos donde se trata de ejidatarios no siempre se aplica el aseguramiento y en las plantaciones privadas la suma obtenida por los daños no alcanza a igualar los ingresos que se habrían obtenido en cosechas normales.

No obstante, los problemas que ya se presentan en el país en las actividades agropecuarias y forestales, de acuerdo a los estudios los impactos serán mayores, para esto en México se prevén políticas que hagan frente al proceso entre las cuales se tienen las llamadas políticas de mitigación que serían reactivas al hecho y de manera proactiva o preventiva sería deseable tener políticas de prevención.

Previsiones internacionales

De acuerdo al Informe Stern[9] la reducción de la despoblación forestal es un medio altamente rentable de reducir las emisiones de gases invernadero.

En dicho documento se manifiesta que de acuerdo a los cálculos efectuados las emisiones resultantes de la despoblación forestal son muy significativas, habiéndose calculado que representan más del 18% de las emisiones globales, porcentaje superior al producido por el sector mundial del transporte.

Para ello se recomienda como necesaria la introducción urgente de medidas que permitan conservar las zonas restantes de bosques naturales. Ello requerirá planes piloto en gran escala para explorar planteamientos eficaces que combinen medidas nacionales y apoyo internacional.

A nivel nacional, la definición de derechos de propiedad de las tierras forestales y la determinación de los derechos y responsabilidades de los terratenientes, comunidades y taladores forestales es un factor clave de toda gestión eficaz de los bosques. Esto debería llevar consigo la participación de las comunidades locales, el respeto de derechos informales y estructuras sociales, trabajar con objetivos de desarrollo y reforzar el proceso de protección forestal.

Los esfuerzos de adaptación de los países en desarrollo deberán acelerarse y recibir apoyo, entre otros, mediante la asistencia internacional.

Adicionalmente en el informe se manifiesta que el cambio climático afectará más tempranamente y con mayor intensidad a los países en desarrollo más pobres, a pesar de que son los que menos han contribuido a causar el problema.

Sus bajos ingresos dificultan el financiamiento a la adaptación, por lo que la comunidad internacional tiene la obligación de prestar apoyo para este proceso. Sin dicho apoyo, existe un grave peligro de que su desarrollo se vea socavado.

Los países en desarrollo deberán determinar por sí mismos su política de adaptación, dentro del contexto de sus propias circunstancias y aspiraciones. Un crecimiento y desarrollo rápidos mejorará la capacidad de adaptación de estos

[9] Stern, W. La Economía del Cambio Climático. UK Government 2006.

Política nacional

A nivel nacional se han considerado en el marco global de la planeación, algunos objetivos denominados de *Sustentabilidad Ambiental* [10] que consideran que de no iniciarse un proceso de adaptación, la vulnerabilidad ante el cambio climático puede ir en aumento, por lo que resulta prioritario crear una cultura preventiva para los proyectos económicos y de desarrollo.

Por tanto, diseñar y desarrollar capacidades nacionales de adaptación es un elemento indispensable y urgente en la planeación del desarrollo. Para ello se promoverá la consideración de los riesgos asociados con el cambio climático en las iniciativas de desarrollo socioeconómico.

Esto requerirá la integración y coordinación de disciplinas, instituciones y grupos de expertos los cuales deberán considerar aspectos tales como los efectos del cambio climático sobre la seguridad alimentaria, las condiciones de pobreza y desigualdad social, así como otros factores que pueden condicionar la capacidad adaptativa.

La evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y las posibilidades de adaptación al cambio climático de los distintos sectores deberán integrarse y adecuarse considerando las características de los distintos ámbitos geográficos regionales o subregionales de México, con el objeto de orientar las estrategias de uso, planificación y gestión del territorio.

En este sentido se buscará preservar y fortalecer las funciones de amortiguamiento que existen en las cuencas hidrológicas y ecosistemas costeros, restaurar cuerpos de agua que permitan mantener las capacidades de almacenamiento de agua, fortalecer al Servicio Meteorológico Nacional, los sistemas de vigilancia epidemiológica y al Sistema Nacional de Protección Civil, desarrollar estrategias de conservación de suelos, entre otras acciones.

Se considera prioritario: impulsar medidas de adaptación a los efectos del cambio climático; para enfrentar estos efectos, será necesario desarrollar capacidades preventivas y de respuesta ante los impactos adversos previsibles. Éstas incluyen la generación de información y conocimiento sobre la vulnerabilidad de distintas regiones y sectores del país, así como de los impactos potenciales, el desarrollo de estrategias específicas y el trabajo coordinado de las distintas instancias del gobierno y la sociedad.

Para lo cual se proponen como estrategias:

a) Promover la inclusión de los aspectos de adaptación al cambio climático en la planeación y quehacer de los distintos sectores de la sociedad.
b) Desarrollar escenarios climáticos regionales de México. Para disponer de información precisa sobre los impactos del cambio climático en el territorio, se requiere sistematizar la información climática, geofísica y oceánica y desarrollar nuevos estudios de clima a escalas nacional y regional. También hace falta mayor y mejor información científica sobre el comportamiento de los ecosistemas ante el cambio climático. Resulta indispensable el uso de información climática en la planeación y en la toma de decisiones sobre acciones preventivas o de emergencia ante un evento extremo ya que esta información,

[10] Poder Ejecutivo. Plan Nacional de Desarrollo 2006 – 2012.

no es sólo útil para prevenir efectos desfavorables, sino también para el aprovechamiento de ciertos eventos favorables.

c) Evaluar los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos. Ya que la vulnerabilidad ante la variabilidad climática y a los efectos del cambio climático tiene que ver con factores como el crecimiento poblacional, la pobreza, las condiciones de salud pública, las características de los asentamientos humanos, la existencia y condiciones de la infraestructura disponible y el deterioro ambiental.

Así, también se manifiesta que se ha mantenido una política de desarrollo nacional consistente con una decidida acción para mitigar la emisión de Gases con Efecto Invernadero (GEI). Esto corresponde con un ambicioso programa de reforma estructural, entre lo que resalta una importante serie de cambios en materia de regulación e instituciones que favorecen un desarrollo ambientalmente amigable ante la apertura comercial.

Principales acciones de mitigación

Para el sector agropecuario y forestal de México se han desarrollado y adaptado algunos programas públicos que impulsan formas de mitigación ante el fenómeno, sin embargo se debe mencionar que aún enmarcadas en el Plan de Desarrollo Nacional, no alcanzan a contar con las particularidades regionales tan necesarias para atender de manera eficiente el fenómeno.

Las principales acciones de mitigación en el sector agrícola están contenidas en los programas que anteriormente se integraban en la llamada Alianza para el Campo, actualmente denominados programas en co-ejercicio, que son impulsados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (Sagarpa), sin el concurso de los gobiernos estatales y mucho menos los municipales, aún cuando en ambos casos los gobiernos locales aportan un porcentaje monetario para hacer un fondo común y ejercer, a través de solicitudes de los productores, dichos recursos.

Es decir, en diferentes dependencias de la Federación se diseñan los programas en forma unilateral, centralizada y con criterios generales, sin considerar las diferencias entre las distintas regiones del país, ni tipologías del productor, y que resultan en la oferta de bienes y servicios aislados que en pocos casos es posible que el productor los incorpore en un proyecto integral.

Adicionalmente, ese mercado de activos y servicios supuestamente a disponibilidad del productor, está distribuido en 58 programas, con responsables, reglas y tiempos diferentes, por lo cual articular proyectos integrales donde se garantice la rentabilidad en principio y la sustentabilidad es una posibilidad negada, por tanto queda limitado, de antemano, un desarrollo regional que considere la vulnerabilidad, en este caso de las zonas costeras.

Resulta de particular relevancia este hecho ya que la política pública de desarrollo agropecuario está estrechamente vinculada al objetivo de seguridad alimentaria que en México se promueve como prioridad desde los años 90, y que sin embargo aún con la promoción de esquemas productivos que la administración pública considera como más eficientes, la balanza

alimentaria del país sigue registrando saldo negativo, lo cual significa que la importación de alimentos es mayor a la exportación de los mismos.

Es importante mencionar que los productos importados sean básicamente grandes cantidades de maíz, trigo y arroz y que en el primer año de apertura comercial con el Tratado de Libre Comercio, tan sólo la importación de maíz haya crecido en 67%, lo cual indica que la productividad promedio del país no alcanza los estándares deseables, por su parte México registra superávits en los productos que no son básicos y provienen de grandes plantaciones comerciales tal como el café.

Esto significa que las políticas de apoyo más eficiente se han dirigido a productos de exportación, que están en manos de particulares y corporaciones y no se vinculan en forma alguna al objetivo declarado de la seguridad alimentaria.

Por otra parte, para la actividad forestal, se tiene un esquema similar a través de la Comisión Nacional Forestal, es en este sector donde se observa una gama más amplia de opciones que se distribuyen en programas orientados a atender los efectos del cambio climático, entre los que destacan:

- Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos.
- Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono, los derivados de la Biodiversidad y para fomentar el establecimiento y mejoramiento de los Sistemas Agroforestales (PSA-CABSA).
- Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (ANP).
- Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA).

Asimismo, también esta instancia maneja un mayor número de actividades de investigación en el sector, entre las que se pueden mencionar:

- La modelación de la deforestación en México e implicaciones para proyectos de captura de carbono.
- Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura.
- Índice de carbono para México.
- Proyecto Manejo Sustentable de Laderas (PMSL).
- Evaluación del potencial de captura de carbono en comunidades indígenas y campesinas del estado de Oaxaca.
- Captura de carbono en los suelos de México y Centroamérica (Bioma A).
- Obtención de factores de emisión nacionales en el sector agropecuario.
- Diseño de una estrategia de restauración ambiental y prevención de incendios.

Sin embargo, el problema resulta similar al mencionado anteriormente, ya que dichos programas emanan de una política pública cuya intención básica es muy importante pero que en la práctica carece de enfoque, direccionalidad y firmeza en la ejecución, así nuevamente los poseedores del recurso se encuentran con una amplia oferta de programas con bienes y servicios cuya diversidad hace muy difícil concatenar las acciones en un proyecto integral a mediano plazo que asegure la resolución de sus problemas y coadyuve a su desarrollo.

Conclusiones

Ante la realidad del cambio climático que se está viviendo es indispensable impulsar en la práctica los objetivos de la política de sustentabilidad; solamente en la medida en que los tomadores de decisiones integren las conclusiones emanadas de los estudios multidisciplinarios y se instrumenten en políticas públicas, con programas integrales que tengan un enfoque claro y se reduzcan los trámites para acceder a los apoyos, se podrán articular las acciones que permitan atender de manera eficiente, las particularidades del desarrollo regional.

Asimismo, habrá que orientar esfuerzos para hacer de la coordinación interinstitucional una realidad y lograr los objetivos de la seguridad alimentaria, ya que con los cambios previstos en el clima, este es uno de los temas prioritarios para países como México, que aún no consolida su desarrollo, ni tampoco ha logrado soberanía en el rubro de la producción de alimentos.

Habrá que impulsar decididamente acciones de investigación regional para contar con información veraz y tener la posibilidad de instrumentar medidas a nivel nacional que incorporen las cualidades de cada zona.

La investigación deberá considerar los ámbitos físicos - ambientales, sociales - humanos y económico – productivos con el fin de tomar medidas pertinentes desde una perspectiva integral.

En el mismo sentido, es primordial también promover mayor investigación en las áreas de economía ambiental por zona, ya que para la población en general y para quienes toman decisiones en especial, es conveniente tener claridad sobre los costos y beneficios que tendrá el llevar a cabo o no diferentes acciones para la producción y la protección del ambiente.

Sería importante de igual manera, que las políticas públicas consideren a los gobiernos y las organizaciones locales, así como las características y necesidades específicas de cada región para que los resultados tengan mayor impacto y se logre un esquema de desarrollo sustentable.

Es imprescindible privilegiar la participación de las comunidades en la toma de conciencia y las acciones a realizar para enfrentar de manera eficaz los efectos del cambio climático.

Asimismo, es conveniente recuperar las experiencias locales en el uso y manejo de los recursos naturales ya que en numerosas ocasiones las prácticas ancestrales son más respetuosas con el ambiente, cuentan con mayor aceptación en las localidades rurales y no generan dependencia de insumos externos.

También es recomendable promover la recuperación de materiales vegetativos criollos ya que tienen mayor capacidad de adaptación a condiciones regionales específicas que las llamadas semillas mejoradas.

Por último, el tema básico que se debe considerar es la educación, ya que en la medida que todos los habitantes del país cuenten con la información necesaria y con datos claros respecto a las consecuencias de este fenómeno será posible obtener el compromiso y la cooperación para mitigar y prevenir los daños asociados al mismo.

Azuz Adeath, I., L. Silva, E. Rivera-Arriaga, A. Ortega y J.C. Chávez, 2010. El turismo y el cambio climático. p. 347-360. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

El turismo y el cambio climático

Isaac Azuz Adeath, Lidia Silva, Evelia Rivera-Arriaga, Alfredo Ortega y Juan Carlos Chávez

Resumen

A nivel global la actividad turística es una importante fuente generadora de riqueza y empleo, con su consecuente aporte a la reducción de la pobreza. Sin embargo, esta industria contribuye con el 5% de las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la transportación masiva de personas alrededor del mundo y del consumo de materia y energía en los centros de hospedaje y recreación. En México esta actividad contribuye aproximadamente con el 8% del Producto Interno Bruto (pib) y los destinos de playa, ubicados en la mayoría de los estados costeros, reciben el 66% de la inversión privada de este sector. En el presente capítulo se presentan algunos elementos que deberán ser considerados por las autoridades competentes y los prestadores de estos servicios, con la intensión de disminuir su contribución al cambio climático y también, para que tomen acciones encaminadas a mitigar y adaptarse a los posibles impactos potenciales del mismo.

Antecedentes

La Segunda Conferencia Mundial sobre Cambio Climático y Turismo realizada en Davos, Suiza en octubre del 2007, convocada por la Organización Mundial del Turismo (OMT), el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (PNUMA), la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y apoyada por el Foro Económico Mundial, puso de manifiesto el interés y preocupación de la comunidad internacional en el binomio: turismo y cambio climático.

La Organización Mundial del Turismo, de la cual forma parte México desde 1975, ha reconocido en diversos foros (*e.g.* UNWTO, 2003, 2007a, 2007b, 2007c), que la actividad turística contribuye con el cambio climático, debido entre otros factores al movimiento masivo de personas, el cual fue a nivel mundial del orden de los 900 millones de arribos en el 2007, fundamentalmente por medio de dos mecanismos:

a) Emisiones de gases de efecto invernadero, asociadas al uso de medios de transportes terrestres y aéreos por parte de los turistas.
b) Altos consumos de energía, asociados al uso de las facilidades hoteleras como: aires acondicionados, calefacciones, secadoras de pelo, bombas para el mantenimiento de albercas, iluminación, entre otros.

Tal como lo establece Frangialli (2007a), el turismo no tan solo es un generador del cambio climático, sino que también reciente de manera directa sus efectos, a través del impacto en las economías, sobre todo en los países altamente dependientes del mismo, del aumento acelerado del nivel del mar, de la desertificación, de la pérdida de cobertura vegetal, del derretimiento de las nieves y glaciares, de la pérdida de diversidad biológica y del blanqueamiento de los corales.

La Declaración de Davos (2007), establece una serie de compromisos por parte de los países firmantes, entre otras cosas, establece un marco de referencia para la acción al 2012 en la industria turística, con base en el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC) y el Protocolo de Kioto, que permita implementar acciones concretas en el sector, para mitigar y adaptarse al cambio climático, empleando mecanismos técnicos, financieros y de capacitación en los países menos desarrollados, que apoyen a los operadores y a la actividad turística sustentable, con políticas, estrategias y planes de acción tendientes a reducir y mitigar los efectos del cambio climático.

La propia Organización Mundial del Turismo acepta que la actividad turística (*e.g.* transportación y estancias) contribuye con 5% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Sin embargo, también hace notar que el turismo genera riqueza, crea empleo y contribuye a reducir la pobreza (Frangialli, 2007b).

La OMT ha dado pasos decididos para disminuir su contribución al cambio climático; ha especificado una serie de estrategias (*e.g.* instrumentos voluntarios, económicos y normativos) encaminadas a reducir el uso de energía, hacer un uso más eficiente de la misma, usar más energías renovables y establecer sumideros para el secuestro de carbono (UNWTO, 2007).

En el año 2005, México ocupó el séptimo lugar mundial por el numero de llegadas de turistas internacionales, las cuales ascendieron a 21.9 millones. Los ingresos derivados de las

personas que visitaron el país pasaron de 3 200 millones de dólares en 1980 a 11 800 millones en el 2005, dando trabajo la actividad aproximadamente a 5.4% del personal ocupado del país (DATATUR-Sectur, 2009).

Entre septiembre del 2007 y septiembre del 2008, la inversión privada en el sector turismo de México, creció aproximadamente 30% (Sectur, 2008). Dicha inversión se centró fundamentalmente en los estados mexicanos con litoral (aproximadamente 95%), de manera particular, Quintana Roo y Nayarit concentraron cerca del 50% de dicha inversión. El comportamiento de esta variable en los estados costeros se muestra en la figura 1.

De acuerdo con información de la Secretaría de Turismo de México (Sectur, 2008), en septiembre del 2008, se habían invertido en el país 830 millones de dólares en hoteles, siendo 69% de dicha inversión en destinos de playa.

Por otra parte, la información económica del sector turismo, recabada en el Censo Económico del 2004 (INEGI, 2009), se presenta en la figura 2. Dicha figura muestra un comparativo de tres variables: Unidades Económicas (UE), Personal Ocupado (PO) y Remuneraciones (REM), respecto al valor medio nacional, exclusivamente para el sector turismo en los estados costeros.

La figura 2 muestra algunos aspectos interesantes, por ejemplo: los estados costeros que mayor número de unidades económicas tienen dedicadas al sector turismo son Veracruz, Tamaulipas, Jalisco y Michoacán. Quintana Roo, a pesar de no tener un número muy elevado de unidades económicas, tiene el mayor número relativo de personal ocupado del sector. Chiapas y Michoacán, a pesar de tener un número relativo de unidades económicas y personal ocupado por arriba de la mediana nacional, las remuneraciones derivadas de la actividad turística están

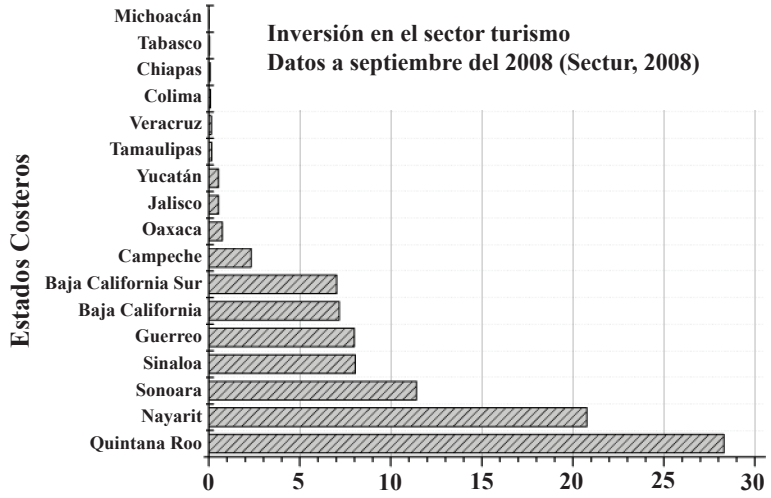


Figura 1. Inversión turística privada en los estados costeros mexicanos al mes de septiembre del 2008. Gráfica de los autores a partir de datos de Sectur (2008).

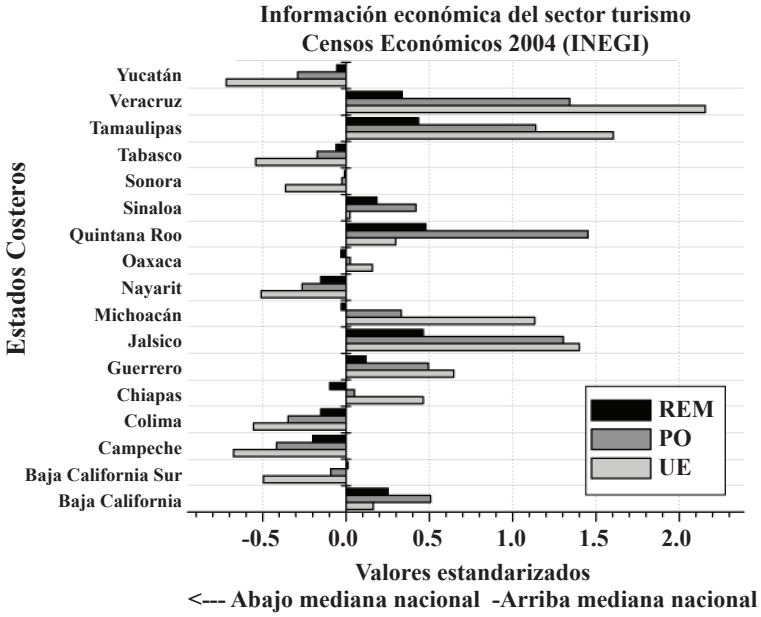


Figura 2. Información económica del sector turismo para los estados costeros de México. Grafica de los autores a partir de información del Censo Económico 2004 (INEGI, 2009).

por debajo de la mediana nacional. En contraste, Baja California Sur, a pesar de tener un número de UE y PO inferior a la mediana nacional, las remuneraciones derivadas están por encima de la misma.

Es importante señalar que no toda la actividad turística de los estados costeros se centra en la zona costera, como ejemplo se podrían mencionar el caso de Michoacán, donde a pesar de tener un número importante de UE dedicadas al turismo, tiene una zona costera poco desarrollada.

Datos demográficos recientes, confirman que los desarrollos turísticos establecidos en la zona costera pueden funcionar como polos de atracción de población.

La tabla 1, presenta los municipios con frente litoral que mayores crecimientos poblacionales experimentaron en el periodo 2000-2005, para cada estado costero, y el cambio que experimentaron en el Índice de Marginación (Conapo, 2000 y 2005). Cambios positivos en el Índice de Marginación significan que empeoraron las condiciones durante el periodo de análisis, mientras que negativos significan mejoras en el nivel de marginación. En el estado de Michoacán, ningún municipio costero registró un aumento poblacional, debido a los procesos de migración.

Se debe observar que en aquellos municipios que experimentaron el mayor crecimiento porcentual (*e.g.* Los Cabos Baja, California Sur; Benito Juárez en Quintana Roo y Bahía de Banderas en Nayarit) se ubican importantes zonas de desarrollo turístico (renglones sombreados).

Tabla 1. Crecimiento poblacional en los municipios costeros con frente litoral y cambio en el "Índice de Marginación" durante el periodo 2000-2005. Se presenta la información del municipio que mayor crecimiento absoluto presentó.

Estado	Municipio	Crecimiento absoluto	Porcentaje de crecimiento	Cambio nivel de marginación	Grado de marginación 2005
Baja California	Tijuana	199 880	16.51	0.0341	Muy Bajo
Quintana Roo	Benito Juárez	153 158	36.48	0.1596	Muy Bajo
Sonora	Hermosillo	92 009	15.09	0.0394	Muy Bajo
Baja California Sur	Los Cabos	58 693	55.65	0.0703	Muy Bajo
Veracruz	Veracruz	54 933	12.01	0.0382	Muy Bajo
Sinaloa	Culiacan	48 193	6.46	-0.0165	Muy Bajo
Tamaulipas	Matamoros	44 016	10.53	0.0524	Muy Bajo
Jalisco	Puerto Vallarta	35 640	19.29	0.0391	Muy Bajo
Campeche	Carmen	27 912	16.22	-0.0158	Bajo
Nayarit	Bahía de Banderas	23 931	40.01	-0.0362	Muy Bajo
Colima	Manzanillo	12 699	10.15	0.0092	Muy Bajo
Chiapas	Tapachula	10 746	3.96	0.1146	Medio
Tabasco	Comalcalco	9 136	5.55	-0.2613	Medio
Guerrero	José Azueta	9 061	9.48	0.0675	Bajo
Oaxaca	Juchitán de Zaragoza	7 357	9.37	0.0387	Medio
Yucatán	Tizimín	5 449	8.50	-0.0584	Alto
Michoacán	Ninguno	n.a	n.a.	n.a.	n.a.

Asimismo, es importante resaltar que en la mayoría de los municipios costeros analizados, el grado de marginación es muy bajo (10 de 16); sin embargo, en 11 de los 16, las condiciones empeoraron ligeramente entre el año 2000 y el 2005 (valores positivos).

El turismo en México y el cambio climático

Resulta preocupante que en la Secretaría de Turismo (Sectur) de México, no exista ninguna estrategia clara para afrontar el cambio climático.

En el "Estudio de Gran Visión del Turismo en México: Perspectiva 2020" (Sectur, 2000), se menciona el término "cambio climático" una sola vez, en el contexto de los problemas ambientales globales, sin darle mayor énfasis ni proponer estrategias acordes para el país.

También resulta sintomático de la desvinculación entre dependencias del gobierno federal, el que no haya participado la Sectur en la elaboración de la "Estrategia Nacional de Cambio Climático. México 2007" (CICC, 2007), ni se encuentre incluida dentro de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático de México.

Es hasta el Plan Sectorial 2007-2012 que la Secretaría de Turismo propone como Línea Acción 2.1.6 la *promoción de acciones de adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático en los destinos turísticos principalmente en las costas* (PS-Sectur, 2007).

En este punto resulta importante definir, en primer lugar ¿cuáles serán los efectos del cambio climático que tendrán impacto en la actividad turística de México?

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, establece en su último informe (IPCC, 2007), entre otros puntos fundamentales que:

- El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento promedio mundial del nivel del mar.
- El calentamiento antropogénico de los tres últimos decenios ha ejercido probablemente una influencia discernible a escala mundial sobre los cambios observados en numerosos sistemas físicos y biológicos.
- La alteración de la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, sumada al aumento del nivel del mar, tendrán previsiblemente efectos extremadamente adversos sobre los sistemas naturales y humanos.
- La incorporación de carbono de origen humano en los océanos los ha acidificado, los efectos de esta acidificación sobre la biósfera marina todavía no están monitoreados de manera generalizada, pero se espera que tenga un efecto negativo sobre los organismos marinos que producen caparazón y sobre las especies que dependen de ellos.
- El calentamiento de origen humano y el aumento del nivel del mar proseguirán durante siglos debido a la magnitud de las escalas de tiempo asociadas a los procesos y retroefectos climáticos, incluso aunque se estabilizaran las concentraciones de (GEI).
- El calentamiento antropogénico podría producir impactos abruptos o irreversibles, en función de la rapidez y magnitud del cambio climático.

En este sentido, la actividad turística se verá afectada, en primer lugar por los cambios en la temperatura global del aire. Dichos cambios pueden ocasionar alteraciones en las condiciones naturales de cultivo de productos característicos de los estados costeros (*e.g.* café, cocos, frutas tropicales, etc.) que pudieran ser de interés para los turistas, tanto desde una perspectiva puramente paisajística (*e.g.* campos de cultivo de café o cocotales), como desde el punto de vista económico (*e.g.* aumento en el costo de productos, disminución de variedades, etc.) o cultural. Por otra parte, se deberá considerar un mayor gasto de energía en las instalaciones y vehículos, asociado al uso de aires acondicionados, por periodos de tiempo más largos.

El aumento en la temperatura global o regional del océano tendría un alto impacto sobre la distribución y diversidad de especies de flora y fauna marina con la consecuente afectación, por ejemplo, de zonas turísticas dedicadas al buceo, la observación de paisajes subacuáticos, así como a la pesca deportiva.

De mayor importancia para la actividad en periodos de tiempo cortos, resulta el impacto ocasionado por las modificaciones en los patrones de los fenómenos meteorológicos extremos (*e.g.* intensidad y frecuencia) y el aumento acelerado del nivel del mar en periodos más largos.

El posible aumento en la energía del oleaje, asociado a la presencia de sistemas tropicales de mayor intensidad, producirá un transporte sedimentario más dinámico, con el consecuente incremento en la erosión costera, la cual pondría en riesgo gran parte de la infraestructura costera que se ubica en las zonas de playa, e incluso la permanencia de este rasgo de la morfología costera (*e.g.* playas).

Si además de aumentar la intensidad de los sistemas tropicales, su frecuencia de ocurrencia se incrementa, los perfiles de playa tendrían menos tiempo para establecer las condiciones de equilibrio naturales y esto traería como resultado una mayor vulnerabilidad de la infraestructura costera.

Por otra parte, la incidencia en territorio nacional de un mayor número de sistemas tropicales y con mayor frecuencia, repercutirá en los niveles de lluvia y escorrentía, pudiendo producir inundaciones en las zonas bajas, con los conocidos impactos sobre la infraestructura existente y la población.

Adicionalmente, la mayor escorrentía asociada a los procesos pluviales extremos, tendría asociados dos impactos colaterales que repercutirían en las condiciones costeras. Por una parte el aporte de contaminantes y basura de la cuenca alta hacia las zonas bajas se incrementaría (impactando la salud del ecosistema, de la población civil y la calidad paisajística), y por la otra, la pérdida de suelo fértil de la cuenca alta tendría impactos en las economías locales que se sustentara en la agricultura y la ganadería.

En términos de salud pública, el cambio climático tiene vertientes asociadas al desarrollo turístico. La Organización Mundial de la Salud ha reconocido que este fenómeno puede modificar los límites geográficos y estacionalidad de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores (*e.g.* malaria y denge) y por alimentos (*e.g.* salmonelosis), cuya frecuencia es máxima en los meses más cálidos (OMS, 2008). Es conocido que estos padecimientos son temidos por los turistas que visitan las zonas costeras, y al incrementarse su frecuencia de ocurrencia, pudiera tener un impacto económico negativo por la disminución de visitantes, además de los costos económicos asociados.

En el caso particular de México, desde los años 90, se reconocía que el incremento del turismo nacional e internacional y el auge de los centros de playa, habían transformado el ambiente de las zonas tropicales del país, favoreciendo y creando focos de reproducción del vector del dengue (Narro-Robles y Gómez-Dantés, 1995).

Datos recientes muestran la gravedad del problema. La figura 3 muestra el porcentaje de casos (respecto al total nacional) de paludismo (*falciparum y vivax*) y dengue (normal y hemorrágico), que se han presentado en los estados costeros.

Considerando ambos vectores (paludismo y dengue), los estados costeros que mayor número de casos han registrado durante el periodo de análisis son: Chiapas (23.5%), Veracruz (21.6%) y Sinaloa (10%). En el caso del paludismo, Chiapas, Oaxaca y Sinaloa son los estados más afectados y concentran un poco más del 80% de los casos reportados. En el caso de Chiapas y Sinaloa la información histórica muestra una tendencia decreciente. Respecto al dengue, Veracruz, Guerrero, Sinaloa y Colima concentran aproximadamente 60% de los casos que se

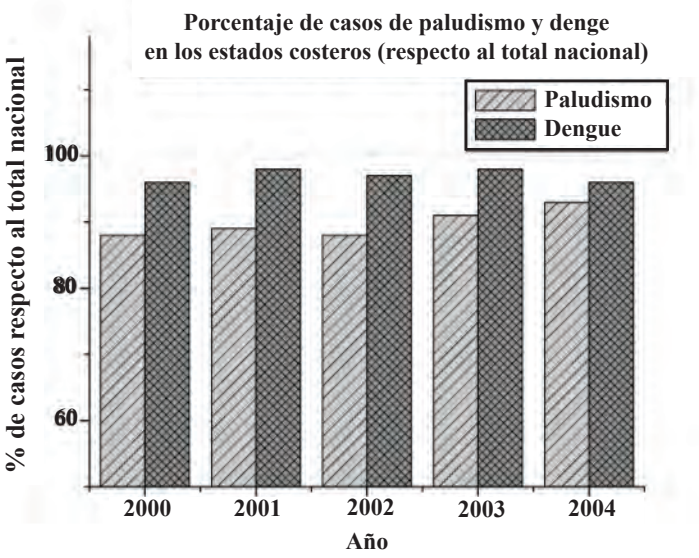


Figura 3. Porcentaje respecto al total nacional, de casos de paludismo y dengue que se han presentado en los estados costeros de México durante el periodo 2000-2004. Grafica de los autores a partir de información de la Secretaría de Salud (2009).

han presentado en los estados costeros. Lo limitado de la información no permite establecer tendencias claras, pero se observan pulsos, posiblemente estacionales en la ocurrencia del padecimiento.

La carencia de una estrategia integral de desarrollo del sector turismo y la poca importancia que le ha dado al fenómeno del cambio climático en sus procesos de planeación y promoción, generan en la actualidad contradicciones, conflictos, pérdidas económicas, riesgos sociales e incluso desastres que deben ser atendidos con prontitud.

Por ejemplo, la figura 1 y la tabla 1 muestran respectivamente que por una parte Quintana Roo y Nayarit son los estados que mayor inversión (y por lo tanto promoción) han recibido, y por la otra, dichos estados al igual que Baja California Sur tienen municipios costeros con las tasas de crecimiento poblacional relativas más altas. Sin embargo, Baja California Sur y Quintana Roo son los estados costeros que históricamente han sido afectados por un mayor número de ciclones.

De los 20 huracanes más intensos que han impactado a México durante el periodo de 1970 al 2006, 10 de ellos lo han hecho en Baja California Sur, Quintana Roo o Nayarit (Hernández-Unzón, 2007). Resulta sorprendente que ni Baja California Sur ni Quintana Roo hayan recibido apoyos económicos del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN, 2009) durante el periodo 2004-2009.

Durante el 2007 se presenta en el Pacífico un huracán intenso "Henriette" (Categoría 4-5) que impacta Baja California Sur y Sonora. En la vertiente del Atlántico "Dean" (Categoría 5) con rachas de 350 km/h impacta los estados costeros de Quintana Roo, Campeche y Veracruz.

La temporada ciclónica en el Atlántico para el año de referencia fue por arriba de lo normal (Hernández-Unzón, 2008).

Además del riesgo para la población civil, los costos económicos de mantener segura la infraestructura costera ubicada en zonas de alto riesgo ciclónico, son lógicamente elevados y se incrementarán al paso del tiempo.

En un estudio presentado por Rivera-Arriaga *et al.* (2004), se analizó el impacto económico que ocasionó el huracán Isidoro al pasar por el estado de Campeche en el verano del 2002. Los datos presentados por la Secretaría de Desarrollo Social del estado de Campeche reportaron una cantidad de aproximadamente 1 430 millones de pesos en daños ocasionados a 11 sectores consultados. Por otra parte, el estudio de campo realizado por los investigadores mostró, a partir de una serie de entrevistas y encuesta que el sector de servicios sufrió pérdidas estimadas en 2 600 millones de pesos.

Los efectos directos e indirectos de los sistemas tropicales que impactan regularmente las costas mexicanas, pueden crear problemas de larga duración que afecte al sector turismo. Un claro ejemplo de este tipo de problemas serían los procesos de erosión que vienen ocurriendo en la zona de Cancún. El mar y la playa son los recursos naturales más buscados y apreciados por los turistas que visitan este destino del estado de Quintana Roo, sin embargo la erosión costera no tan solo ha reducido el ancho de las playas (pérdida de material sedimentario,) sino que ha puesto en riesgo la infraestructura adyacente. Reportes recientes de prensa (diciembre del 2008) publicados en la páginas oficiales de las Secretarías de Turismo y de Medio Ambiente y Recursos Naturales, hablan de una inversión de 800 a 1 000 millones de pesos para recuperar las playas.

A partir del análisis de los recursos otorgados en el periodo 2004-2008 por el Fondo de Desastres Naturales (Fonden, 2009), el cual es un instrumento financiero dentro del Sistema Nacional de Protección Civil, que apoya a las entidades federativas, en la atención y recuperación ante fenómenos naturales; y considerando exclusivamente los eventos en los cuales se reportaba explícitamente el impacto de algún sistema tropical ("ciclón tropical", "tormenta tropical", "huracán") sobre los estados costeros, se calculó un gasto superior a los 17 000 millones de pesos.

Dichos recursos se canalizaron fundamentalmente a través de secretarías federales y estatales relacionadas con: medio ambiente, comunicaciones y transportes, salud, educación y desarrollo social. Para el ejercicio fiscal 2008, los reportes presentados por el Fonden (2009), considerando todos los estados y eventos (no tan solo costeros ni sistemas tropicales), indican que aproximadamente 84% del monto total se destinó a Sedesol (urbano y vivienda) y a SCT (federal y estatal), lo que conduce a suponer que los mayores daños se presentaron en la infraestructura existente.

Acciones de planeación y medidas de mitigación

La información presentada muestra de manera clara que el desarrollo turístico en México, no se ha dado de manera ordenada, y esto ha traído como consecuencia afectaciones ambientales, sociales y económicas, que repercuten de manera directa o colateral sobre la propia actividad. Por diversos mecanismos, el cambio climático podría acrecentar en el futuro inmediato estos problemas, por lo que es necesario tomar una serie de acciones, entre las cuales se proponen:

- La planeación del desarrollo urbano en zonas costeras debe seguir de manera rigurosa el principio precautorio, en este caso con un carácter adaptativo a las condiciones cambiantes del medio, asociadas a los efectos del cambio climático (*e.g.* modificaciones en las temperaturas del aire, aumento acelerado del nivel del mar e incremento en la frecuencia en intensidad de eventos meteorológicos extremos).
- En zonas de alta vulnerabilidad, donde exista infraestructura turística, se deberán contemplar y aplicar medidas a mediano plazo para su reubicación.
- En zonas críticas donde exista infraestructura turística que no pueda ser reubicada, se deberán tomar medidas para protegerla *(e.g.* creando infraestructura de protección), tomando en cuenta en todo momento la dinámica natural de la zona y los procesos y recursos ambientales presentes.
- Los planes de protección civil, se deberán elaborar tomando en consideración zonificaciones que consideren el nivel de riesgo y vulnerabilidad de la infraestructura y la población.
- Se deberá realizar una campaña preventiva/educativa que busque cambiar el concepto de "desastre natural", por el de fenómeno natural que puede producir impactos negativos sobre actuaciones humanas mal planeadas.
- En la definición de los Programas Estatales de Cambio Climático se deberán involucrar de manera decidida las autoridades turísticas federales, estatales y de los municipios costeros, las distintas cámaras empresariales que agrupan a hoteleros y prestadores de servicios turísticos, organizaciones de la sociedad civil involucradas con el sector y a todos los usuarios potenciales.

Por otra parte, es necesario que los desarrolladores turísticos contemplen en sus planes de actuación, medidas que ayuden a controlar y a disminuir el calentamiento global, y que las autoridades regulen estas actividades de manera rigurosa, con el fin de lograr un desarrollo más sustentable de la actividad.

En este contexto se proponen una serie de sugerencias para que los desarrollos turísticos, tanto futuros como los actuales, sean más sustentables ambientalmente hablando. Para que estas sugerencias sean provechosas, deberían estar legisladas a nivel de Normas Oficiales, que fuesen vinculantes y obligatorias.

Fase de construcción

Durante esta fase, tanto para reducir la "Huella Ecológica", como para reducir la Emisión de Gases Invernadero (GEI), se proponen las siguientes medidas:

1. Construir básicamente con materiales propios de las localidades circundantes.
2. En caso de utilizar materiales de origen vegetal, tales como: madera, troncos, hoja de palma, etc., estos deben contar con algún "Certificado" que asegure que provienen de "Plantaciones Sustentables", las cuales, una vez normadas, pudieran recibir apoyos económicos del gobierno (conservación de servicios ambientales).
3. El diseño del desarrollo turístico debe ser elaborado con una visión de optimización, tanto para la energía térmica como para la iluminación, con el objetivo de que desde la orientación de las edificaciones, se reduzca la necesidad de la utilización de aires acondicionados, lámparas y focos para iluminación.
4. La construcción debe desarrollarse con materiales lo más térmicamente aislante posible.
5. El diseño arquitectónico y paisajístico de las edificaciones deberá tomar en cuenta el medio ambiente circundante y, en el caso de edificaciones cercanas al mar, elementos tanto estructurales como de ornato, que resistan los posibles vientos y oleaje de los sistemas tropicales.
6. Toda obra de protección costera que se realice en instalaciones turísticas (*e.g.* hoteles, marinas, malecones, etc.), deberá tomar en consideración la dinámica litoral (*e.g.* transporte de sedimentos) y el aumento acelerado del nivel del mar en su diseño. Será necesario usar valores extremos en el diseño y no valores promedio.

Fase de operación

Durante esta fase, las siguientes recomendaciones pretenden contribuir a reducir la "Huella Ecológica", y a disminuir la "Emisión de Gases Invernadero":

1. Las piscinas deben de calentarse con calentadores solares.
2. Las materias primas y los alimentos para consumo en los restaurantes debe de provenir de productores locales.
3. Los acondicionadores de aire deben ser de alta eficiencia.
4. Se deberá eliminar de los criterios que establecen el nivel de los hoteles (*e.g.* estrellas, diamantes, etc.), la existencia de secadoras de pelo en los baños.
5. Se deberán fomentar los desplazamientos cortos a pie (estableciendo y adecuando rutas con alto valor paisajístico) o en bicicleta (donde las condiciones físicas del terreno lo permitan) creando recorridos en los que se coordinen varias instalaciones o zonas hoteleras.
6. Todos los prestadores de servicios turísticos que tengan vehículos de autotransporte, deberán fomentar la creación de criterios de regulación de emisiones de gases vehiculares, del tipo "verificación turística" o "certificación de vehículo de bajas emisiones".

Conclusiones

El turismo es una importante fuente de recursos económicos para el país. Esta actividad se da fundamentalmente en las zonas costeras y de playa de México por sus excelentes características (*e.g.* clima, color del mar, ancho de las playas, textura de la arena, paisajes naturales costeros y subacuáticos, biodiversidad marina, etc.) y belleza natural.

Los estados costeros en los que más se ha desarrollado la actividad, presentan una alta tasa de crecimiento poblacional, lo cual implica la necesidad creciente de contar con infraestructura y dotar de servicios a los nuevos pobladores. En general, los niveles de marginación de los municipios costeros que mayor turismo de playa reciben son muy bajos. Para que estas bondades se mantengan en el largo plazo, los Planes de Desarrollo y Atlas de Riesgo (estatales y municipales) deberán contemplar los impactos del cambio climático.

Muchos de estos estados y municipios, año con año son afectados por el impacto de sistemas tropicales, con el consecuente costo económico, social y ambiental. Si la ocurrencia e intensidad de estos fenómenos meteorológicos extremos, se incrementa, como consecuencia del cambio climático, el costo de mantener infraestructura y servicios turísticos en zonas altamente vulnerables, será sumamente alto y posiblemente insostenible, con la consecuente pérdida de bienes materiales y ambientales que impediría sustentar un desarrollo de largo plazo.

Como se ha visto, el cambio climático puede afectar de varias maneras la actividad turística que se desarrollar en las costas de México, su impacto aumentará al paso del tiempo, y hasta el momento, no se vislumbran acciones claras y contundentes de las autoridades del sector, ni de los promotores, desarrolladores y prestadores de servicios, encaminadas a la prevención o mitigación de dichos efectos.

No se debe olvidar nunca que sin costas, no existirá turismo, ni desarrollo económico, ni aumento en la calidad de vida de los pobladores costeros.

Post scriptum

Durante el segundo trimestre del año 2009, el país resintió los efectos adversos de la crisis económica mundial y de la aparición del virus de influenza A(H1N1). Los impactos económicos negativos sobre el sector turístico de los estados costeros han sido muy fuertes. Estos efectos no fueron contemplados en este estudio por que había sido concluido con anterioridad.

Literatura citada

CICC, 2007. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, Semarnat, México. 157 p.

DATATUR-Sectur, 2009. Indicadores Macroeconómicos del Turismo. Estadísticas del Sector Turismo (DATATUR). Secretaría de Turismo. [http://datatur.sectur.gob.mx/jsp/indicadores_macro_indmac_v1.jsp]. Fecha de consulta: 14 de enero del 2009.

Declaración de Davos, 2007. Davos Declaration. Climate Change and Tourism Responding to Global Challenges. Davos, Switzerland, 3 October, 2007. UNWTO. 4 p. [http://www.unwto.org/climate/index.php]. Fecha de consulta: 14 de enero del 2009.

Frangialli, F., 2007a. Climate Change – Reality Check and Opportunity for Tourism. UNWTO Secretary-General. 3 p. UNWTO Information Exchange Service. [http://www.unwto.org] Fecha de Consulta: 10 enero 2009.

Frangialli, F., 2007b. Declaración de Bali. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Intervención del Secretario de la Organización Mundial del Turismo. [http://www.unwto.org] Fecha de Consulta: 10 enero 2009.

Fonden, 2009. Fonden Reconstrucción. Recursos autorizados para reconstrucción por declaratoria de desastres. Fondo de Desastres Naturales (Fonden). Sistema Nacional de Protección Civil. [http://www.proteccioncivil.gob.mx]. Fecha de Consulta: 14 enero 2009.

FOPREDEN, 2009. Apoyos otorgados 2004-2009. Fondo para la Prevención de Desastres Naturales. Sistema Nacional de Protección Civil. [http://www.proteccioncivil.gob.mx]. Fecha de Consulta: 14 enero 2009

Hernández-Unzón, A., 2007. Ciclones tropicales que impactaron directamente a México durante el período de 1970 a 2006. Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional. Documento en línea [http://cna.smn.gob.mx/] Fecha de Consulta: 16 enero 2009.

Hernández-Unzón, A., 2008. Resumen de la temporada de ciclones tropicales 2007. Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional. Documento en línea [http://cna.smn.gob.mx/] Fecha de Consulta: 16 enero 2009.

INEGI, 2009. Censo Económico 2004. Información en Línea [http://www.inegi.gob.mx]. Fecha de consulta: 18 de noviembre del 2008.

IPCC, 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

Narro-Robles, J., y H. Gómez-Dantes, 1995. El dengue en México: un problema prioritario de salud pública. *Salud Pública de México*, 37: 12-20.

OMS, 2008. Cambio climático y salud humana. Riesgos y respuestas. OMS-OMM.PNUMA. Organización Mundial de la Salud (OMS), 37 p.

PS-Sectur,2007. Programa Sectorial de Turismo 2007-2012. Secretaría de Turismo. México. 72 p.

Rivera-Arriaga, E., G. Palacio, G. Villalobos, R. Silva, y P. Salles, 2004. Evaluación de Daños en las Zonas Costeras de la Península de Yucatán por el Huracán "Isidoro". Desarrollo de Propuestas de Investigación y Mitigación en Manejo Integrado de Recursos Costeros. Sección Campeche. Universidad Autónoma de Campeche. 158 p.

Sectur, 2000. Estudio de Gran Visión del Turismo en México: Perspectiva 2020. Reporte Analítico. Secretaría de Turismo. Centro de Estudio Superiores en Turismo, Ciudad de México, junio del 2000. 174 p.

Sectur, 2008. La inversión privada identificada en el sector turístico. Padrón Nacional de Proyectos de Inversión. Boletines de Inversión Turística Privada. Secretaría de Turismo. Septiembre del 2008. [http://www.sectur.gob.mx/wb2/sectur/sect_8827_boletin_de_inversion]. Fecha de consulta: 15 de enero del 2009.

UNWTO, 2003. 1st International Conference on Climate Change and Tourism. Djerba, Tunisia. April, 2003. United Nation World Tourism Organization.

UNWTO, 2007. Cambio Climático y Turismo. Responder a los retos mundiales. Versión en Español. [http://www.unwto.org/climate/support/en/support.php]. Fecha de consulta: 26 de enero del 2009.

UNWTO, 2007a. 2nd International Conference on Climate Change and Tourism. Davos, Switzerland. October, 2007. United Nations World Tourism Organization.

UNWTO, 2007b. Minister´s Summit on Climate Change and Tourism. London, United Kingdom. November, 2007. United Nations World Tourism Organization.

UNWTO, 2007c. Climate Change and Tourism. Responding to Global Challenges. Side Event at UNFCCC COP-13 Conference on Climate Change. Bali, Indonesia. December, 2007. United Nations World Tourism Organization.

Sosa Ferreira, A.P., 2010. Cambio climático y turismo: Visión general institucional. p. 361-380. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Cambio climático y turismo: visión general institucional

Ana Pricila Sosa Ferreira

Resumen

El fenómeno del cambio climático y sus repercusiones tienen implicaciones en todas las áreas geográficas y temáticas, y se requiere por lo tanto de un análisis y seguimiento en diferentes ámbitos y desde diversas perspectivas disciplinarias para la comprensión y acción en la economía, la sociedad y el medio ambiente. El objetivo de este trabajo es realizar un primer acercamiento a las recomendaciones y aportaciones de instituciones gubernamentales sobre el cambio climático, en el campo del turismo. Se ha optado por revisar el caso de la Organización Mundial del Turismo (omt o wto) y de la Semarnat bajo el supuesto de que, al tratarse de instancias gubernamentales oficiales, una internacional y otra nacional, sus planteamientos supondrían un compromiso gubernamental y contarían con un grado de legitimidad hacia el sector privado y el social; es decir, pueden representar una plataforma de la cual partir. Se parte de los conceptos sobre el tema del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, ipcc (2007a), de la propia omt (wto, 2003 y 2008) y de la cepal-bid (2000), sobre cambio climático, vulnerabilidad y adaptación y su relación con el turismo.

Introducción

El fenómeno del cambio climático y sus repercusiones tienen implicaciones en todas las áreas geográficas y temáticas, y se requiere por lo tanto de un análisis y seguimiento en diferentes ámbitos y desde diversas perspectivas disciplinarias para la comprensión y acción en la economía, la sociedad y el medio ambiente. Como ya ha sido señalado por el Panel de Expertos (IPCC, 2007a) y por los grupos de trabajo e investigadores abocados al tema, todas las áreas y ámbitos requieren analizar tanto su aportación a las emisiones de gases invernadero y los mecanismos que pueden ser aplicados para reducirlas, así como establecer su vulnerabilidad y las medidas de adaptación que corresponden, además de realizar el análisis económico de los costos de la inacción, es decir de no aplicar medidas sino hasta que sea inevitable abordar los problemas generados. El turismo[1] es una de las áreas que requieren un análisis integral y completo. Por sus característica, que involucra relaciones sistémicas con distintas actividades económicas y diversos actores políticos, económicos y sociales (Jiménez, 2007); así como por sus implicaciones geográficas de relación de las personas en el espacio y con el espacio geográfico (Hiernaux, 2007), y por el uso que hace del patrimonio natural y cultural y su relación directa con el clima, requiere de un examen cuidadoso en la perspectiva del cambio climático. Por ello, las instituciones nacionales e internacionales, gubernamentales, sociales y privadas dirigidas al turismo, se han abocado al estudio del tema.

Este trabajo resume algunas propuestas sobre el cambio climático y turismo, centrándose en las aportaciones en el plano internacional de la Organización Mundial del Turismo (OMT) y regional del Caribe de la Asociación de Hoteles del Caribe. Igualmente, de la Estrategia y el Programa de la Semarnat en México (Semarnat, 2007b), haciendo referencia a otros estudios. Para ello se ha realizado una investigación bibliográfica y documental. El objetivo es realizar un primer acercamiento a las recomendaciones y aportaciones institucionales sobre el tema en este campo en expansión que es el turismo. Se ha optado por estas perspectivas institucionales bajo el supuesto de que ese carácter implicaría que sus planteamientos supondrían un compromiso gubernamental y un respaldo de este tipo para la iniciativa internacional y contarían con un grado de legitimidad hacia el sector privado y el social; es decir, representaría una plataforma de la cual partir.

[1] El concepto de turismo aún se encuentra en discusión (Hiernaux, 2007). Considerarlo una actividad económica parece por lo menos inexacto, en tanto es resultado de la interacción de diversas actividades económicas (transporte, comunicaciones, comercio de servicios). Para la Organización Mundial del Turismo (1999) es el desplazamiento de personas fuera de su lugar habitual de residencia con fines de descanso, ocio o trabajo, por más de 24 horas y menos de un año. Para este trabajo, se considera al turismo como un fenómeno que involucra a diversos actores, actividades económicas y áreas geográficas en una relación sistémica (Jiménez, 2007).

En este texto son retomados los conceptos generales sobre el tema, aceptados por las instituciones mencionadas:

> "*El cambio climático se refiere a una variación estadísticamente significativa en el estado o bien la media del clima o en de su territorio (micro-local) o temporal (estacional) de la variabilidad, que persiste por un período prolongado (normalmente, décadas o más).*" El cambio climático puede deberse a procesos naturales internos o los forzamientos externos (*e.g.* la fluctuación en la energía solar), o los cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra. (OMT, 2007)

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), declaró que "*el calentamiento del sistema climático es inequívoco*." La temperatura media del planeta ha aumentado aproximadamente 0.76°C entre 1850-1899 y 2001-2005. De acuerdo al IPCC, los aumentos en las temperaturas promedio del mundo, en las diversas regiones. durante el siglo XX fueron provocados en más de un 90% de probabilidad, por las actividades humanas que aumentan la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI). Las afectaciones se extienden a aspectos como el clima, el calentamiento oceánico, temperaturas medias y extremas, los patrones del viento, además del deshielo en los glaciares. La temperatura de calentamiento de la superficie del océano ha contribuido al aumento del nivel del mar de1.8 mm por año desde 1961 hasta 2003, y aproximadamente 1 mm por año desde 1993 hasta 2003. (IPCC, 2007b).

Los riesgos que corren los sectores económicos y ambientales provenientes de la problemática del cambio climático, que son presentados para el siglo XXI, son considerados de gran importancia en los recientes debates de política internacional. El IPCC concluyó que el cambio climático obstaculizaría la capacidad para lograr un desarrollo sostenible para mediados de siglo. El Informe Stern (Stern, 2006) sobre la economía del cambio climático constató que los costes de tomar medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero ahora, son mucho menores que los costos de las perturbaciones económicas y sociales del cambio climático sin paliativos.

> "*La mitigación del cambio climático se refiere a los cambios tecnológicos, económicos y sociales, así como las sustituciones para reducir las emisiones. La vulnerabilidad es la probabilidad de que una comunidad, expuesta a una amenaza natural, pueda sufrir daños humanos y materiales según el grado de fragilidad de sus elementos: infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta*". La suma de la amenaza natural y la vulnerabilidad, determinan el riesgo. (CEPAL-BID, 2000).

Las medidas de adaptación incluyen las dirigidas a reducir la vulnerabilidad, la previsión de las amenazas de fenómenos naturales que ya se observan, así como también las medidas que anticipan los efectos señalados del cambio climático (Semarnat, 2008).

Cambio climático y turismo: la visión institucional

En este apartado se resumen los planteamientos sobre turismo presentados fundamentalmente por la OMT y Semarnat. En el primer caso, por tratarse del organismo gubernamental mundial con reconocido prestigio en el sector turístico nacional y mundial respecto de sus análisis y del que México es miembro y signatario de sus acuerdos. La Semarnat expresa la posición oficial del gobierno mexicano y se espera que las iniciativas en el tema se inscriban en el marco que ha construido; además de que en algunas líneas implica decisiones que implican directrices vinculantes. Aunque existen otros análisis interesantes, este documento se centra en las propuestas oficiales mencionadas.

La Segunda Conferencia Internacional sobre Cambio Climático y Turismo celebrada en Davos (Suiza) en octubre de 2007, fue realizada con la finalidad de examinar el caso del turismo desde la perspectiva del cambio climático. Esta reunión llegó a las siguiente conclusiones:

> *El clima es un recurso esencial para el turismo (como motivación histórica principal de los viajes), por lo que es un sector muy sensible a los efectos del cambio climático y del calentamiento global, muchos de los cuales se están experimentando ya. Al mismo tiempo, los estudios realizados estiman que el turismo contribuye en cerca de 5% a las emisiones mundiales de* CO_2 (Declaratoria Davos, 2007).

La declaración de Davos, en consecuencia, reconoce la evidencia de que el cambio climático tiene una fuerte relación con el turismo. Establece además que debido a esto existe la necesidad de una estrategia a largo plazo para que el sector reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero, de forma paralela al compromiso y avance de los demás sectores económicos. Señala que es urgente aplicar un conjunto de políticas para alentar el turismo sostenible y formas de viaje que tenga en cuenta las respuestas al cambio climático.

En este sentido, dentro de la Reunión, la Organización Mundial del Turismo (OMT), se comprometió a seguir realizando iniciativas en el sector turístico como parte del esfuerzo de las Naciones Unidas por crear un marco común que permita enfrentar el reto del cambio climático, en estrecha colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial, y consultando a la CMNUCC (Comisión Meteorológica de Naciones Unidas para Cambio Climático)(Declaratoria Davos, 2007; WTO, WMO, UNEP, 2008). El compromiso es reducir la emisión de gases de efecto invernadero para poder crecer de forma sostenible, cumpliendo con la aplicación de medidas de mitigación de las emisiones de GEI, derivadas especialmente de las actividades de transporte y alojamiento (la primera de ellas, la de las mayores aportaciones); y por otra parte adaptar las empresa y los destinos turísticos al cambio de las condiciones climáticas.

Para la OMT se deben diversificar los productos en función de los factores climáticos, para reposicionar los destinos y sus sistemas de apoyo, así como para favorecer la oferta y la demanda en todas las estaciones del año.

Respecto a los destinos de costas e islas, los panelistas de la segunda conferencia internacional del cambio climático y turismo concluyen que éstos son altamente vulnerables a los

impactos directos e indirectos del cambio climático, dado que la mayoría de la infraestructura esta situada a poca distancia de la costa. Esta alta vulnerabilidad, es acompañada por una baja capacidad de adaptación, especialmente en los pequeños estados insulares y los destinos costeros de los países en desarrollo (Declaratoria Davos, 2007).

No obstante, esta perspectiva señala que los impactos del cambio climático y el calentamiento global no solamente presentan riesgos, sino podrían traer oportunidades. Por ejemplo, en destinos tradicionales de playa, de verano, como el Mediterráneo, las temporadas medianas podrían alargarse, y la temporada de invierno podría ser más atractiva para los turistas, proporcionando oportunidades para reducir la estacionalidad y ampliar el producto turístico. Las zonas costeras del norte podrían beneficiarse de veranos más cálidos, atraer más turistas y prolongar la temporada de verano. Los residentes de zonas tradicionalmente frías podrían reducir sus viajes a zonas tropicales ante los cambios que pueden hacer más hospitalario el clima de sus países y regiones. Por tanto, el trabajo de adaptación debería de ser desarrollado en los destinos, de acuerdo a las condiciones y características de cada caso.

A continuación se resumen las principales propuestas de la OMT y otros estudios, además de lo expuesto para el tema turismo por la Semarnat, especialmente para el tema de costas y adaptación.

Cambio climático: la propuesta de la OMT

La OMT retoma las conclusiones del Panel Intergubernamental para Cambio Climático y la propia Reunión de Davos, aplicando sus consideraciones al caso del turismo. La manera de abordar el tema por parte de esta institución es completo e integral. Si partimos de la problemática general planteada por el IPCC, se examina la dimensión de las implicaciones para el turismo de la siguiente manera:

> "*Nuestros estilos de vida, la economía, la salud y el bienestar social se ven afectados por el cambio climático, y aunque las consecuencias variarán sobre una base regional, todas las naciones y los sectores económicos tendrán que lidiar con los desafíos del cambio climático a través de la adaptación y la de mitigación. El turismo no es la excepción y en las próximas décadas, el cambio climático se convertirá en un problema cada vez más crucial que afecta el desarrollo del turismo y su gestión*" (WTO, 2008).

El sector turístico debe afrontar el reto del cambio climático en el contexto de la agenda internacional del desarrollo sostenible, es decir, en coordinación con los esfuerzos internacionales, principalmente de la ONU. El reto principal es el desarrollo de una estrategia política acorde con el crecimiento previsto del turismo para las próximas décadas, que implicarán un mayor consumo de energía e incremento las emisiones de gases de efecto invernadero, a fin de permitir el crecimiento del turismo, al mismo tiempo contribuir a la mitigación de la pobreza y hacer aportaciones relevantes en la consecución de los objetivos del Milenio de Naciones Unidas, pero cumpliendo al mismo tiempo con lo que le corresponde para reducir su participación en las emisiones.

Bajo estas consideraciones y una vez que resume los principales impactos que se esperan en las principales regiones del mundo, la OMT retoma el planteamiento ya iniciado durante la reunión de Davos, para examinar las áreas a través de las cuales el turismo realiza las principales aportaciones a las emisiones de gases con efecto invernadero. Encuentra que son el transporte y el alojamiento, pero esencialmente es el primero, el responsable de las mayores aportaciones, por lo que debe tratar de reducir esas emisiones, en cumplimiento de los compromisos internacionales para reducir a más de la mitad de los niveles de 2000, a mediados de siglo.

En el funcionamiento del sistema turístico, el transporte es causante de alrededor de 75% de las emisiones de CO_2 generadas por el conjunto de esta actividad, en donde la aviación aporta la mayor parte de ella (40%). Aunque el transporte de turismo tiene una participación relativamente pequeña en las actuales emisiones globales, hay una necesidad de desarrollar medidas eficaces de mitigación, teniendo en cuenta su dinámico crecimiento. La medición exacta de las emisiones de CO_2 generadas por el transporte de turismo total mundial, o por lo menos la relativa al tráfico aéreo, no se ha medido con exactitud. Se dispone solamente de las cifras del número estimado de viajes (860 millones) y el número de kilómetros de pasajeros (4 billones). Aún se está trabajando para obtener los datos de viajes turísticos por regiones e intrarregionales. Por otro lado, la medición del transporte terrestre resulta todavía más complicada, ya que no se cuenta con la información sobre viajes con fines turísticos, diferenciados de los demás viajes, más que en algunas regiones. La UE-25 más Noruega y Suiza, por ejemplo, establecieron que las emisiones de CO_2 para el turismo nacional e internacional (en coche, tren, autocar y aire), asciende a 250 millones de toneladas de CO_2. Asimismo, indica que 55% de las emisiones del transporte de turismo por europeos son causados por 20% de los viajes basados en el transporte aéreo. De acuerdo a las tendencias de la actividad, se espera que las emisiones de CO_2 procedentes del transporte de turismo en Europa aumenten en un 85% entre 2000 y 2020 (OMT, 2007).

> "*Al respecto, uno de los retos señalados es la medición de los efectos del cambio climático (CC) y de las mismas acciones de mitigación, puesto que, por ejemplo, no es posible aún determinar la proporción exacta de los viajes aéreos internacionales que corresponden a turismo, aún cuando se haya avanzado en la medición de viajes-km-personas. En el uso del transporte terrestre resulta aún más complejo*" (Gossling, 2006).

Respecto del alojamiento, la medición se establece por ahora fundamentalmente con base en el consumo energético, pero también en este caso es necesario mejorar la medición.

Por otro lado, la industria de la hotelería, representa el 20% del total de las emisiones provocadas por la actividad turística, es un gran consumidor de energía y contribuye al cambio climático global (Davos, 2007).

La OMT realiza igualmente una revisión de las amenazas de los efectos del cambio climatico sobre las diferentes áreas y regiones turísticas. Para el tema de este trabajo, resultan relevantes los señalamientos con relación a las regiones insulares y costeras. El Gran Caribe es señalado como una de las regiones de mayor riesgo, fundamentalmente debido al incremento de los huracanes y tormentas tropicales, así como por las proyecciones de elevación del nivel del

mar. Los destinos del Caribe, que se caracterizan por presentar una gran concentración de sus economías en el turismo y también una concentración de sus asentamientos humanos en las costas, presentan un alto grado de exposición ante los cambio esperados y por tanto una alta vulnerabilidad.

Según el IPCC, es muy probable que las temperaturas extremas, olas de calor y fuertes precipitaciones continúen siendo cada vez más frecuentes. Es probable que los futuros ciclones tropicales (tifones y huracanes) sean más intensos, con velocidades del viento mucho más grandes y precipitaciones más fuertes asociados con un aumento de las temperaturas superficiales del mar tropical. La extensión de las regiones que será la principal afectada por estos sucesos extremos contiene a muchos de los principales destinos turísticos, en ellos se destaca la necesidad de información y preparación para los desastres naturales a nivel local mediante la capacitación sistemática y las estrategias para la gestión del riesgo de desastres.

En este sentido, los destinos turísticos de islas y costas requieren especial atención. El nivel del mar es probable que aumente durante el siglo, afectando las islas pequeñas del Mar Caribe, el Océano Índico, el Pacífico norte y el sur de los océanos. Las lluvias en verano en el Caribe disminuirán en las proximidades de las Antillas Mayores, pero se presentarán cambios en el comportamiento del invierno. La precipitación anual es probable que aumente en el norte del Océano Índico con los posibles aumentos en las proximidades de las islas Seychelles, en diciembre, enero y febrero, y en las proximidades de las Maldivas en junio, julio y agosto. La precipitación anual podría aumentar en el ecuador Pacífico, mientras que pude esperarse una disminución, de acuerdo a los modelos, para el este de la Polinesia Francesa en diciembre y enero. (WTO-WMO-UNEP,2008; Simpson *et al.*, 2008)

Acciones y medidas de mitigación del turismo para el cambio climático

La mitigación del cambio climático se refiere a los cambios tecnológicos, económicos y sociales, así como las sustituciones para reducir las emisiones. Éstas no pueden ser alcanzadas por la reestructuración tecnológica por sí sola, sino que también requiere de cambios estructurales, lo que constituye un proceso más complejo. Las emisiones relacionadas con el turismo están creciendo rápidamente, por lo que la mitigación debe confrontar el impulso al crecimiento de las últimas décadas, relacionado con el deseo de las personas de descansar y explorar; además de hacer compatible la reducción de las emisiones de CO_2 con el papel que debe jugar el turismo para el desarrollo y en la reducción de la pobreza. Las políticas de mitigación del cambio climático en el turismo tienen que encontrar un equilibrio entre tales objetivos que pueden contraponerse, previendo las consecuencias locales, nacionales y mundiales, del cambio climático y de las medidas para mitigarlo.

Las estrategias de mitigación para hacer frente a las emisiones de GEI procedentes del turismo, propuestas y/retomadas por la OMT son:

1. Reducir el consumo de energía, principalmente del transporte (mayor uso del transporte público, uso del ferrocarril y otras opciones en sustitución del coche y aviones en la elección de destinos menos lejanos), así como cambiar algunas prácticas de viaje, por ejemplo, uso de videoconferencia para el turismo de negocios.
2. Mejorar la eficiencia energética: uso de tecnologías nuevas e innovadoras, llevar a cabo la misma operación con una entrada de menor energía.
3. Aumentar el uso de energías renovables o neutras de carbono: la sustitución de combustibles fósiles por otras fuentes de energía más limpias (por biomasa, hidráulica, eólica y solar).
4. El secuestro de CO_2 a través de los sumideros de carbono: el CO_2 puede ser almacenado en la biomasa (*e.g.* a través de la forestación y la reforestación), en los acuíferos o los océanos, y en sumideros geológicos (*e.g.* yacimientos de gas). Indirectamente, esta opción puede tener importancia para el sector del turismo, teniendo en cuenta que la mayoría de los países en desarrollo y los pequeños estados insulares que dependen del transporte aéreo para sus economías impulsadas por el turismo tienen la diversidad biológica necesaria de biomasa para el almacenamiento de CO_2. El turismo orientado hacia el medio ambiente puede desempeñar un papel clave en la conservación de estas áreas naturales (Becken y Hay, 2007).

El desarrollo tecnológico es clave como herramienta, pero es incapaz de resolver el problema del cambio climático por sí sola. Por lo tanto, en el sector del transporte es necesario aplicar una combinación de medidas, incluidas las mejoras tecnológicas, medidas reglamentarias y de mercado, así como los cambios de comportamiento. Esto debe considerar siempre que, si bien algunas acciones para reducir el impacto del turismo en el cambio climático pueden afectar o reducir la llegada de turistas, las medidas deben ser consideradas cuidadosamente para garantizar que los objetivos de reducción de la pobreza no son puestos en peligro (Davos, 2007).

Diferentes sectores de la industria turística: vulnerabilidad y medidas de adaptación hacia el cambio climático

El tema de cambio climático, así como la vulnerabilidad y requerimientos de adaptación son del todo relevantes en la perspectiva de la viabilidad del turismo. Las instituciones internacionales y nacionales han establecido pautas sobre ello.

> "*La vulnerabilidad es la probabilidad de que una comunidad, expuesta a una amenaza natural, pueda sufrir daños humanos y materiales según el grado de fragilidad de sus elementos: infraestructura, vivienda, actividades productivas, sistemas de alerta, grado de organización*." (CEPLA-BID, 2000).

Las medidas de adaptación deben incluir la previsión de las amenazas de fenómenos naturales que ya se observan y también las medidas que anticipan futuros cambios climáticos.

Los destinos costeros e insulares son muy vulnerables a los impactos directos e indirectos del cambio climático (*e.g.* tormentas y fenómenos climáticos extremos, erosión costera, los daños físicos a la infraestructura, la elevación del nivel del mar, inundaciones, escasez de agua y contaminación del agua), dado que la mayoría de la infraestructura se ubica a poca distancia de la costa. Esta alta vulnerabilidad, a menudo es acompañada por una baja capacidad de adaptación, especialmente en los pequeños estados insulares y los destinos costeros de los países en desarrollo. La fuerte estacionalidad del turismo de playa debe tenerse en cuenta, ya que puede ser aún más marcada por el cambio climático.

Algunos de los daños a los cuales están expuestas estas regiones son:

- La erosión de la línea costera y el daño a la infraestructura turística.
- Efectos de los huracanes y tormentas extremadamente fuertes, como los ocurridos en el Caribe.
- Efectos del aumento en el nivel del mar.
- Las circulaciones oceánicas, las cuales tienen que ver con las corrientes oceánicas y las corrientes de los vientos, además del blanqueamiento de los arrecifes de coral y daño de los ecosistemas terrestres y marítimos (Becken y Hay, 2007).

La Organización Mundial del Turismo, señala que los destinos costeros requieren analizar el peligro de los eventos extremos, la elevación del nivel del mar y la afectación de ecosistemas costeros como arrecifes, manglares y playas, para diseñar sus planes de adaptación. Este organismo internacional ha analizado la capacidad de adaptación de los integrantes del sistema turístico encontrando que los turistas presentan una alta capacidad de adaptación, las agencias una mediana capacidad y los servicios de hospedaje tiene la más baja capacidad de adaptación (WTO-WMO-UNEP, 2008). Propone igualmente, lo que le corresponde a cada sector (operadores, asociaciones de prestadores de servicios, gobierno y comunidad, y sector financiero) en lo relativo a adaptación en los campos técnicos de administración, gestión, políticas, investigación, educación y conducta responsable.

Las siguientes tablas resumen la propuesta básica de adaptación y mitigación en turismo.

Tabla 1. Medidas de adaptación por sectores, de acuerdo a la OMT: Portafolio de adaptaciones climáticas utilizados por los sectores interesados en el turismo.

Adaptación	Operadores de turismo/ negociadores	Asociaciones de la industria del turismo	Gobierno y comunidad	Sector financiero (Inversionistas/ aseguradoras)
Técnico	Toma de muestras de nieve. Contorneado de pendientes. Sistemas de recogida y reciclaje de agua de lluvia.	Instalación de sistemas de alerta temprana, para la operación turística. Desarrollo de páginas web para dar información sobre prácticas de adaptación.	Reserva de plantas de desalinización. Estructura de comisiones para el consumo de agua. Pronostico del tiempo, y sistema de alerta temprana.	Requerimiento de diseño de construcciones y uso o materiales bajo estándares como condición para asegurados. Proporcionar información de materiales a los clientes.
Directivo	Planes de Conservación del agua. Cierres por temporada baja. Diversificación de producto y mercado. Diversificación regional en operación de negocios. Redirigir a los clientes lejos de los destinos de impacto.	Reportes de la condición de la nieve a través de los medios. El uso a corto plazo de los pronósticos estacionales, para la planeación del marketing. Programas de entrenamiento en adaptación del cambio climático. Fortalecimiento de la gestión ambiental a través de empresas.	Planes de gestión de impactos. Convenios/ seguros en la interrupción de eventos. Subsidio de negocios para este tema.	Ajuste a las primas de seguros. Redefinir las políticas de seguro. Restringir los préstamos de negocios con operaciones de alto riesgo.
Políticas	Garantías por interrupción a causa de huracanes. Cumplimiento de las regulaciones.	Cabildeo político para compromisos de reducción, de emisiones y adaptación de GEI. Búsqueda de fondos para la implementación de proyectos de adaptación.	Gestión de planes para las costas. Reglamentos de construcción.	Consideración del cambio climático en los riesgos de crédito y asesorías en proyectos de finanzas.
Investigación	Ubicación de sitios (*e.g.* de riesgo, (laderas expuestas, elevaciones)	Evaluar el nivel de conocimiento de las empresas y los turistas sobre el tema.	Programas de monitoreo (predecir blanqueamiento de coral, riesgos de avalancha, etc.).	Exposición de eventos de extremos riesgo.

Tabla 1 (continuación). Medidas de adaptación por sectores, de acuerdo a la OMT: Portafolio de adaptaciones climáticas utilizados por los sectores interesados en el turismo.

Adaptación	Operadores de turismo/ negociadores	Asociaciones de la industria del turismo	Gobierno y comunidad	Sector financiero (Inversionistas/ aseguradoras)
Políticas	Garantías por interrupción a causa de huracanes. Cumplimiento de las regulaciones.	Cabildeo político para compromisos de reducción, de emisiones y adaptación de GEI. Búsqueda de fondos para la implementación de proyectos de adaptación.	Gestión de planes para las costas. Reglamentos de construcción.	Consideración del cambio climático en los riesgos de crédito y asesorías en proyectos de finanzas.
Investigación	Ubicación de sitios (*e.g.* de riesgo, (laderas expuestas, elevaciones)	Evaluar el nivel de conocimiento de las empresas y los turistas sobre el tema.	Programas de monitoreo (predecir blanqueamiento de coral, riesgos de avalancha, etc.).	Exposición de eventos de extremos riesgo.
Educación	Educación sobre la conservación del agua, para empleados y huéspedes.	Campañas públicas de educación.	Campañas de conservación del agua. Campañas de los riesgos de la radiación UV.	Educar/informar a los clientes existentes y potenciales.
Comportamiento	Cámaras para informar en tiempo real de las condiciones de la nieve. Programas de compensación para la emisión de GEI.	Programas de compensación para la emisión de GEI. Iniciativas de conservación del agua.	Recuperación en casos de eventos extremos.	Buenas prácticas en casa.

Fuente: Conclusiones de la Segunda Conferencia Internacional sobre Cambio Climático y Turismo Davos, 2007

Tabla 2. Medidas de mitigación, por sub-sectores turísticos.

Transportación	Tour operadoras	Establecimientos de hospedaje
Crear un fondo para la renovación de la flota.	Desarrollar e implementar los llamados "productos de movibilidad blanda" como transportes de baja emisión de carbonos.	Conservación de la energía en los establecimientos de hospedaje, por medio de diversas técnicas. Uso de nuevas tecnologías.
Proporcionar incentivos para el aumento del índice de desarrollo tecnológico.	Mejorar y desarrollar la colaboración entre los operadores turísticos y los ferrocarriles, especialmente en los sistemas de reserva.	Uso de combustibles alternativos (biodiesel) y fuentes renovables de energía.
Aumentar la eficiencia en la gestión de los sistemas de enrutamiento y tráfico aéreo.	Integrar criterios del cambio climático con iniciativas ya existentes en la industria del tour operador, tales como las iniciativas de los tour operadores.	Gestión integrada de las emisiones de GEI. Una gestión ambiental mas amplia, designadas en la gestión de sistemas de gestiones ambientales.
Desarrollar e instalar guías globales, específicamente para el uso de las empresas.	Mejorar los sistemas de reserva por computadora y sistemas de distribución global, para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero, a fin de permitir que las agencias de viajes proporcionen productos de movilidad blanda.	Elevar la concientización entre los consumidores sobre el reciclaje.
Fomentar las asociaciones entre el transporte y diferentes actores del sector turismo, con el objetivo de reducir las emisiones, a través de la optimización de la cadena de valor.	Adaptación de la promoción nacional, regional y local, de los planes de comercialización, a fin de dirigir los esfuerzos de comercialización hacia los mercados de menos intensividad de carbono.	Desarrollar un Código de Ética Medioambiental.
Promover el uso del transporte público mediante acciones integradas para impulsar el tren y autobús en los países desarrollados. Además de mejorar y proteger el sistema de ferrocarril el cual sigue siendo muy utilizado.	Promover el turismo a corta distancia, entre países vecinos, turismo domestico, específicamente entre los países menos desarrollados, cerca de las fronteras.	Capacidad de construcción, relacionado con el cambio climático y el medio ambiente, por medio de la educación de gerentes de los hoteles, relacionados con la arquitectura, construcción e ingeniería.

Tabla 2 (continuación). Medidas de mitigación, por sub-sectores turísticos.

Transportación	Tour operadoras	Establecimientos de hospedaje
Mejorar la concientización de los consumidores y la transparencia mediante la emisión de boletos de transporte y folletos de producto.	Desarrollar productos con mayor durabilidad en la estancia, especialmente para los destinos de larga y mediana distancia.	El desarrollo de una red de puntos clave, del cambio climático en el sector de alojamiento, para así promover las actividades propuestas en el informe y la declaración de Davos.
Crear un estándar para el etiquetado de la huella de carbono en todos los productos turísticos, como transporte, hospedaje, actividades, etc.	Apoyar a los destinos para la introducción de medidas de adaptación y mitigación.	La inclusión de la eficiencia energética, y el uso de energías renovables, como apoyo en las políticas nacionales y el desarrollo de planes (Agenda 21).
Participación de los destinos a través de acciones para crear y mejorar el acceso al transporte de bajo carbono.	Usar la industria del turismo, como entrada para estrategias más ambiciosas de mitigación. nacionales y regionales	Desarrollo de vínculos con las políticas internacionales, la cooperación y los estándares.

Fuente: Segunda Conferencia Internacional sobre Cambio Climático y Turismo: Respondiendo a los cambios globales, impactos y adaptación en los destinos. Davos, 2007.

México: Estrategia Nacional de Cambio Climático

México es altamente vulnerable a condiciones climaticas extremas, por lo tanto es necesario contar con mejor información y capacidad de pronóstico a escalas regional y local, así como valoraciones dinámicas del riesgo. Así lo señalan la Estrategia Nacional para el Cambio Climático y otros documentos de la Semarnat (Landa *et al*., 2008). Se parte del conocimiento de los peligros climáticos, del análisis de las condiciones de vulnerabilidad nacional y de diferentes experiencias vinculadas con la adaptación y el manejo de recursos hídricos, para plantear líneas de acción orientadas hacia la construcción de capacidades de adaptación en México.

Se reconoce que la construcción de estas capacidades depende de las decisiones que se tomen desde hoy en el campo tecnológico, social, económico y ambiental; en la definición de medidas de adaptación, en el uso de herramientas para planear con incertidumbre, y en el desarrollo de mejores condiciones reactivas y preventivas ante eventos extremos (Semarnat, 2008).

Durante el año 2000 México contribuyó con alrededor de 1.5 % de las emisiones anuales globales de gases de efecto invernadero, ubicándose en la posición número 13 entre los 25 mayores emisores del mundo. La contribución histórica de México, durante el periodo 1950-2000, lo coloca en la posición número 15 por emisiones derivados de la quema de combustibles fósiles y de procesos industriales, y en la posición número 16 por deforestación (Galindo, 2009).

La realización de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC), menciona posibilidades y rangos de reducción de emisiones de GEI, propone estudios para definir metas de miti-

gación, identifica las fortalezas y define las necesidades del país para avanzar en la construcción de capacidades de adaptación.

Los elementos para la adaptación contenidos en la ENACC tienen entre sus retos: a) implementar sistemas de información y alerta temprana, b) ajustar tratamientos de agua a las condiciones climáticas, c) establecer corredores biológicos, d) renovar la experiencia adquirida por grupos vulnerables frente a la variabilidad climática; para su aplicación en el planeamiento de políticas de adaptación al cambio climático, articular la política nacional para el desarrollo sustentable de océanos y costas con el fortalecimiento de capacidades nacionales frente al cambio climático, entre otros (Semarnat, 2008).

Las líneas de acción para la adaptación que propone la ENACC sostienen que se debe promover acciones de reducción de vulnerabilidad, disminución del riesgo y generación de estrategias de adaptación en los planes de desarrollo regional, estatal y municipal, al mismo tiempo que se trata de promover el uso de seguros como instrumentos de disminución de la vulnerabilidad en diferentes sectores.

Con relación al turismo la Estrategia Nacional y el Programa Nacional de Cambio Climático reconocen que será uno de los sectores más afectados en México por la variabilidad del clima. Plantean que para su adaptación será necesario profundizar los conocimientos sobre la vulnerabilidad del sector turismo ante los impactos adversos de la variabilidad climática y del cambio climático. Para empezar se debe elaborar y poner en operación un sistema de pronóstico climático regional de mediano plazo para zonas vulnerables de destino turístico, elaborar mapas de vulnerabilidad y riesgo ante el cambio climático para destinos turísticos prioritarios, y en relación al transporte aéreo marítimo y de comunicaciones se debe fortalecer capacidades de adaptación y reducir la vulnerabilidad de infraestructura portuaria ante la variabilidad natural del clima y el cambio climático.

Respecto a las zonas costeras el Programa Nacional tiene como principales objetivos para promover la adaptación: definir y mantener las capacidades de disminución de riesgos y amortiguamiento de impactos de los ecosistemas acuáticos continentales, costeros y marinos, ante los efectos del cambio climático y preservar la integridad de las zonas costeras y marinas como medida de amortiguamiento ante impactos adversos y como depósitos y sumideros de CO_2.

Para lo cual se necesita restaurar y reforestar determinado numero de hectáreas de ecosistemas costeros como el manglar y la duna, elaborar proyectos de recuperación y restablecimiento de flujo y caudal ecológico, entre otros.

El texto publicado por la Semarnat "La Economía del Cambio Climático en México " (Galindo, 2009), fue realizado con el objetivo de "*... identificar, analizar y cuantificar, los costos económicos del cambio climático para México y, con base en estos resultados, proponer y recomendar diversas medidas de política pública tanto en adaptación como de mitigación*". Una de sus principales conclusiones es que "*La construcción de una estrategia de adaptación y mitigación al cambio climático en México, debe reconocer la necesidad de utilizar diversos instrumentos en forma continua con una visión a largo plazo*", indicando, por ejemplo que es importante construir una estructura de precios relativos consistente con un desarrollo sustentable. Es decir, "*los precios*

relativos deben reflejar adecuadamente la presencia de las externalidades negativas que produce el consumo de ciertos bienes; reconociendo incluso la importancia de valuar adecuadamente aspectos que actualmente están fuera del mercado como la biodiversidad". Con ello se avanzaría para que los precios incidieran en una mejor administración de los recursos y para apoyar la innovación y la difusión tecnologías.

Respecto de los impactos del CC sobre el turismo, este texto señala que el sector turismo es un factor fundamental para el crecimiento económico de diversas regiones del país y tiene además, un impacto significativo; asimismo, una parte importante de este turismo tiene efectos sobre los ecosistemas que son relevantes para enfrentar los efectos del CC. Para el primer aspecto, encuentra (a través de la medición por medio de un modelo que utiliza el PIB de EU) que los impactos climáticos sobre la demanda turística reducen su propio ritmo de expansión. Ello en todo caso debe amortiguarse buscando diversificar los destinos turísticos. Respecto de la afectación a los ecosistemas clave, que deriva de la actividad, la recomendación es incorporar a los precios relativos las externalidades negativas, mencionadas anteriormente. Es decir, desde el punto de vista económico se requiere cuantificar los posibles impactos sobre los ecosistemas e incorporar estos costos a la propia actividad (productores-comercilizadores-consumidores en el turismo)

Cabe señalar que por su carácter sistémico, el turismo no guarda relación solamente en un sentido con el cambio climático, puesto que tiene que ver con transporte, comercio, finanzas, agricultura, construcción, salud y desarrollo urbano. El turismo se ve afectado a través todos estos campos y por tanto el examen de su vinculación con CC, también debe considerarlo.

Finalmente, en esta sintética revisión de las consideraciones institucionales sobre CC, turismo y costas, cabe referirse al Programa Especial sobre Cambio Climático, de alcance nacional, publicado por Semarnat, que define los objetivos líneas de acción y metas en el tema, así como los responsables de su coordinación. Son tres objetivos con sus estrategias y metas correspondientes (tabla 3).

Como puede observarse, las metas establecidas están dirigidas a la mitigación que es el segundo apartado de estrategias y metas, a pesar de que la estrategia respectiva se refiere a diseño de medidas de adaptación. El siguiente apartado, que aborda la adaptación, está organizado a partir de ecosistemas y por actividades (tabla 4).

Para el tema de adaptación se incorpora un enfoque que se dirige a estudiar los posibles impactos del CC, con el fin de definir las acciones de adaptación. Es decir, se atiende el nivel de investigación, de su relación con la definición de políticas públicas y de atención a los turistas y a la población residente en los destinos. Aunque no es incorporada el área de la difusión y comunicación hacia población, turistas y empresa turísticas; el apartado del Programa Especial dedicado a la información y difusión contempla metas en este sentido, al mismo tiempo que amplía y detalla lo relativo a la investigación y análisis de la vulnerabilidad de zonas y grupos de población.

Cabe señalar que los objetivos del Programa Especial de CC relativos a las costas son los siguientes:

Tabla 3. Objetivos, metas y y líneas de acción sobre turismo considerados en el Programa Especial de Cambio Climático (mitigación).

Objetivos	Estrategias	Líneas de acción y responsables	Metas	Responsables
Reducir la demanda de energía y agua asociada al turismo.	Diseñar medidas de adaptación para consolidar e incrementar el turismo, considerando los efectos del cambio climático.	Sectur, Sedesol y CNA. Promover planes de manejo urbano y de cuenca para reducir la demanda de agua en destinos turísticos prioritarios.	48. Elaborar y publicar un convenio para estimular la reducción de la demanda de energía, entre 2008 y 2012.	Sectur, y Sener-CONUEE
			49. Elaborar 1 programa de reconocimiento y certificación de mejores prácticas ambientales de los prestadores de servicios turísticos, entre 2008 y 2012.	Sectur, Semarnat y Profepa
			50. Elaborar dos estudios sobre la contribución de emisiones de GEI del sector turístico y del potencial de participación en los mercados de carbono, entre 2008 y 2012.	Sectur
			51. Establecer tres convenios en materia de mitigación con cámaras y organizaciones privadas del sector, entre 2008 y 2012.	Sectur
			52. Realizar una campaña de difusión sobre cambio climático y mitigación en el sector, entre 2008 y 2012.	Sectur
Estimular la sustitución y complementariedad de las fuentes de energía convencionales por fuentes renovables en hoteles .	Desarrollar mecanismos y estrategias de mercado que reconozcan y estimulen el uso de energías renovables en hoteles.	Sectur, Semarnat, Sagarpa, Sener-CONUEE. Promover estrategias y productos que le den valor agregado a los hoteles que utilicen energías renovables. Fomentar que el turismo de naturaleza utilice energías renovables. Fomentar el uso de energías renovables en instalaciones hoteleras.	M.53 Elaborar un programa de eficiencia energética y energía renovable para reducir las emisiones de GEI en el sector turismo, entre 2008 y 2012.	Sener-CONUEE y Sectur

Tabla 4. Objetivos, metas y y líneas de acción sobre turismo considerados en el Programa Especial de Cambio Climático (Adaptación).

Objetivos	Estrategias	Líneas de acción y responsables	Metas	Responsables
Profundizar los conocimientos sobre la vulnerabilidad del sector turismo ante los impactos adversos de la variabilidad climática y del cambio climático.	Evaluar los efectos del cambio climático en la actividad turística.	Promover estudios que permitan establecer los impactos territoriales, sociales y económicos en el sector asociados a los escenarios de cambio climático así como desarrollar propuestas de política pública para prevenir y disminuir sus impactos. Participar en los programas de investigación, sobre las causas y efectos de los fenómenos naturales, el perfeccionamiento de monitoreo y alerta a la población residente y visitante en los destinos turísticos más vulnerables del país.	A.116 Promover un acuerdo de coordinación concurrente con la Coordinación General de Protección Civil.	Sectur y Segob
			A.117 Elaborar y poner en operación un sistema de pronóstico climático regional de mediano plazo para zonas vulnerables de destino turístico.	Sectur
			A.118 Elaborar ocho estudios que promuevan programas de adaptación y sistemas de alerta temprana para destinos turísticos.	Sectur y Semarnat-INE
			A.119 Elaborar ocho mapas de vulnerabilidad y riesgo ante el cambio climático para destinos turísticos prioritarios.	Sectur y Sedesol
			A.120 Establecer un fondo sectorial con Conacyt para el fomento de la investigación aplicada en el sector del turismo: desarrollo regional e impacto del cambio climático.	Sectur y Conacyt

Fuente: Elaborado con base en los datos de Comité Intersecretarial de CC, Programa Especial de CC, Anexos.

- Definir y mantener las capacidades de disminución de riesgos y amortiguamiento de impactos de los ecosistemas acuáticos continentales, costeros y marinos, ante los efectos del cambio climático.
- Preservar la integridad de las zonas marinas y costeras como medida de amortiguamiento ante impactos adversos y como depósitos y sumideros de CO_2.

Puede concluirse, que existe un marco institucional internacional y nacional general para el tema de cambio climático y turismo, mismo que establece con cierto nivel de detalle, las consideraciones más importantes sobre mitigación y adaptación, además de emitir directrices,

estrategias, acciones y metas gubernamentales, para el caso de la administración pública de México. Este puede constituir un punto de partida y referente para el abordaje del tema del turismo frente al cambio climático por parte de los diferentes actores y sectores que participan en el sistema turístico.

Como ha podido verse, las propuestas de la OMT y otras son más integradoras, incorporando un esquema sectorial, (áreas que integran el sector turismo y relacionadas) paralelamente al enfoque de regiones naturales (ecosistemas); además de integrar también a los actores y vinculando la población, la administración y las actividades económicas (tanto para mitigación como para adaptación). Por el contrario, en los documentos oficiales mexicanos los planteamientos son sectoriales, lo que segmenta los temas, actores y área de actuación. Esto resulta coherente con los respectivos objetivos de cada enfoque. La OMT tiene como meta brindar a los diversos actores del turismo o vinculados al mismo, orientaciones para su participación en la mitigación y adaptación; por lo que requiere una diferenciación sectorial (dentro del sistema turístico) y por regiones naturales (ecosistemas) pero también una integración de temas y actores. La Semarnat coordina la política nacional, lo que define su nivel general y su clasificación en visiones sectoriales.

Cabe señalar que de forma paralela, la producción académica enriquece gradualmente estas consideraciones (Berritella *et al.,* 2004 ; Hamilton, 2005); así como algunos organismos empresariales, como la Asociación de Hoteles del Caribe (CHTA, 2009) que elaboran estrategias derivadas de las internacionales generales y otras. Al mismo tiempo, la sociedad civil organizada, desde diversas perspectivas aporta sus enfoques, coincidentes o diferenciadas de las institucionales. Una de las propuestas delineadas por las ONG, bajo la convicción de que es el modelo de consumo lo que ha generado el tipo y ritmo de uso de recursos y energía, pretende incidir en las pautas de consumo, turístico en este caso. El argumento es que solamente las acciones que incidan en lo estructural tendrán un efecto con un peso específico, de forma que el logro a alcanzar es la redirección del consumo turístico para: a) privilegiar viajes de corto recorrido y, b) de manera sustancial, redireccionar el consumo hacia productos locales por parte de los turistas y las empresas turísticas. Esto último es también una tendencia entre las propuestas del ámbito institucional internacional oficial.

En todo caso, puede afirmarse que se cuenta con una plataforma, un punto de partida con el respaldo del compromiso gubernamental internacional, para el estudio más detallado y el avance en la aplicación de medidas de mitigación y de adaptación de los actores y componentes del turismo.

Literatura citada

Becken, S., y J. Hay, 2007. Tourism and Climate Change – Risks and Opportunities, Channel View Publications, Cleveland.

Bell, G. D. et al., 2006b. The Record Breaking 2005 Atlantic hurricane season: State of the climate in 2005. *Bull. Amer. Meteor. Soc*., 87: 33-37.

Berritella, M., A. Bigano, R. Roson, y R. Tol, 2004. A General Equilibrium Analisys of Climate Change impacts onTourism. UNESCO-IAEA- Ecological and Enviromental Economics. EEE Working Papers No 17.

CEPAL-BID (ECLAC-IDB), 2000. A matter of development:how to reduce vulnerability in the face to natural disasters. CEPAL-BID, México

CHTA, 2009. Energy Reduction program. http: // www.caribbeanhotelassociation.com/downloads/CAST_EOI-CHENACT.pdf.

Davos, 2007. Conclusiones del panel de sesiones, de la Segunda Conferencia Internacional de Cambio Climático y Turismo, En respuestas de mitigación en los subsectores del turismo/transportación. Davos Suiza 1-3 de octubre 2007.

Dubois, G., y J.P. Ceron, 2006. Tourism/leisure greenhouse gas emissions forecasts for 2050: Factors for Change in France. *Journal of Sustainable Tourism*, 14 (2): 172–191.

Frangialli, F., 2007. Tourism Development and Climate Change: Understanding, Anticipating, Adapting, Participating in the Common Effort, (Background Paper). UNWTO, Madrid.

Hamilton, J., D. Maddison, y R. Tol, 2005. Climatic Change and International Tourism, an Simulation Study. Elsevier-Global Enviromental Change , No 15.

Hay, J., *et al.*, 2003. Climate Variability and Change and Sea level Rise in the Pacific Islands Region: A Resource Book for Policy and Decision Makers, Educators and other Stakeholders. South Pacific Regional Environment Programme, Japan Ministry of the Environment, Tokyo.

Hiernaux, D., 2006. Geografía del turismo. En: D. Hiernaux y A. Lindon. Tratado de Geografía Humana. Antrophos-UAM. México.

IPCC, 2007a. Adaptation and Vulnerability – Contribution of Working Group II to the Four the Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, University Press Cambridge, Cambridge and New York.

IPCC, 2007b. Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Policymakers.

IPCC, 2007c, Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. University Press Cambridge, Cambridge and New York.

Galindo, L.M., 2009. La economía del cambio climático en México. Semarnat, México.

Glantz, M., 2000. Reducing the Impact of Environmental Emergencies through Early Warning and Preparedness: The Case of the 1997–98 El Niño. UNEP, NCAR,UNU and WMO.

Gössling S., y C.M. Hall, 2006a. An Introduction to Tourism and Global Environmental Change. p. 1-34. *In:* S. Gössling and C.M. Hall (eds.). Tourism and Global Environmental Change, Routledge, London.

Jiménez, A., 2005. Una aproximación a la conceptualización del turismo desde la teoria general de sistemas. Universidad del caribe-Porrúa Ediotres. México

Landa, Magaña, N., 2008. Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático. Semarnat

OMT, 2007 Declaratoria de Davos a Balí: la contribucción del turismo al reto del cambio climatico.

Peeters, P., 2007. Tourism and Climate Change Mitigation – Methods, Greenhouse Gas Reductions and Policies. NHTV Academics Studies No. 6. Breda University, Breda.

Peeters, P. et al., 2007b. Major environmental impacts of european tourist transport. *Journal of Transport Geography,* 15: 83–93.

Rowley, R. J., J. C. Kostelnick, D. Braaten, X. Li, y J. Meisel, 2007. Risk of Rising Sea Level to Population and Land Area, *Eos Trans*.

Scott, D., 2006. Climate Change and Sustainable Tourism in the 21st Century. p. 175-248. *In:* J. Cukier (ed.), TourismResearch: Policy, Planning, and Prospects, Department of Geography Publication Series, University of Waterloo, Waterloo, Ontario.

Semarnat, 2008a. Comisión Intersectorial de Cambio Climático (2007), Estrategia Nacional de Cambio Climático.

Semarnat, 2008b. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático: Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012.

Shea, E. L. *et al.*, 2001. Preparing for a Changing Climate: The Potential Consequences of Climate Variability and Change – Pacific Islands. US Global Research Program, East-West Center, Honalulu, Hawaii.

Simpson, M.C., S. Gössling, D. Scott, C.M. Hall, y E. Gladin, 2008. Climate Change, Adaptation and Mitigation in the Tourism Sector: Frameworks, Tools and Practices. UNEP, University of Oxford, UNWTO, WMO. Paris, France.

Stern, N., 2006. The Economics of Climate Change: The Stern Review, Cambridge University Press, Cambridge.

WTO, 2003. Climate Change and Tourism: Proceedings of the First International Conference on Climate Change and Tourism, Djerba, Tunisia, 9–11 April 2003. http://www.unwto.org/sustain¬able/climate/brochure.htm.

WTO-WMO-UNEP, 2008. Climate change and tourism. Responding to global change. Madrid, Spain.

Fraga, J., A. P. Sosa y L. Khafash, 2010. La geometría humana del turismo y su relación con el cambio climático en el Caribe mexicano. p. 381-406. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

La geometría humana del turismo y su relación con el cambio climático en el Caribe mexicano

Julia Fraga, Ana Pricila Sosa y Leila Khafash

Resumen

Este capítulo trata sobre la relación turismo y cambio climático en una región fuertemente influenciada por su vulnerabilidad a fenómenos hidrometeorológicos y sometida a procesos de erosión costera con fuerte presión del sector turismo, sea en la modalidad de masas o alternativos. Bajo una perspectiva sociológica, y basándose en una serie de trabajos de investigación llevados a cabo en las diferentes zonas del Caribe mexicano abordamos una serie de transformaciones e impactos que rebasan fronteras municipales, regionales y nacionales. Realizamos un recuento de procesos turísticos empezando con el principal polo de atracción (Cancún), sitio y ciudad turística que creció a un ritmo exponencial en los primeros 10 años de vida, y se ralentizo en los siguientes 5 años cuando se dinamizó el corredor Cancún-Tulúm a principios de la década de 1990. Este corredor (Riviera Maya) constituyó un área de actividades náuticas complementarias para Cancún convirtiéndose en un destino alterno al conformar una oferta hotelera y de servicios tan grande como la de Cancún en solamente diez años. Su expansión prosigue hacia el sur del Caribe con la marca Grand Costa Maya. A este fenómeno exponencial le llamamos la geometría humana por su incesante crecimiento urbano, inmobiliario, de transporte y comercial con grandes cambios en el uso del suelo, cuyas actividades están orientadas al ocio, recreación y entretenimiento pero con graves problemas sociales y ambientales. El fenómeno del cambio climático viene a poner en tela de juicio los estilos de vida de las diferentes sociedades y culturas que tendrán que ser modificados a favor del consumo responsable con la naturaleza. Este será la fuerza social del siglo xxi porque engloba la conciencia humana a la desaparición como especie más que lo que despertó a principios de la década de los setentas la teoría de la autodestrucción del turismo.

Introducción

Una grafica elocuente que puede transmitir la metáfora y realidad de la geometría humana[1] en una actividad transversal como es el turismo es la que muestra Velene Smith y Maryann Brent en el libro editado en el año 2001 "Host and Guest Revisited: Tourism issues in the 21st Century (Tourism Dynamics) al mostrar como evolucionaron los viajes (millas por hora) desde hace dos siglos: del carruaje al ferrocarril, automóvil, avión hasta el jet supersónico y los cohetes al espacio (el apolo y el voyager). A esto agregaríamos como evolucionaron las comunicaciones en 40 años desde la primera internet o Arpanet al Ethernet o red de computo hasta la internet sensitiva, celulares desechables y los iphone para llegar a institucionalizar la cultura del "always on" o siempre conectados con los sofisticados programas de twitter, youtube, y facebook entre los más conocidos, una verdadera sociedad de la información (Castells, 1985) como una nueva fase en la evolución de la sociedad[2]. ¿Cuáles son las implicaciones del paso del carruaje al jet y de la PC a la laptop con la internet sensitiva para el tema que nos atañe? ¿Tiene sentido hablar de adaptación al cambio climático cuando ahora más que nunca la humanidad está desplazándose en tiempo record y en tiempo virtual en búsqueda de nuevas experiencias de ocio y recreación? ¿Es posible atrapar estadísticas reales y costos económicos reales que nos informe del estado del turismo mundial o regional, y las implicaciones del cambio climático, sobre todo con el aumento del nivel del mar, huracanes e inundaciones? ¿Cómo podemos reflexionar esta relación para un espacio territorial como el Caribe mexicano?

Este capítulo tuvo que enfrentar dos retos, el primero escribir sobre un tema bastante controvertido en el ámbito político y de los negocios, así como, el académico que implicó la revisión de discursos sobre cambio climático dominado principalmente por dos posturas, la alarmista o pesimista, y la pragmática u optimista, que muchos denominan oportunista[3], el segundo reto

[1] La definición de geometría humana como rama de la matemática es la que se dedica al estudio de las propiedades y de las medidas de las figuras en el espacio o en el plano, en este capítulo titulado la geometría humana en relación con el turismo y el cambio climático es abordado como un problema de conducta o comportamiento humano exponencial, es decir, subsisten ideas centrales y por ende las actitudes y los deseos de los grupos sociales de crecer, multiplicar, rentabilizar, extender, y exfoliar puntos en el espacio físico y social. Por ello, decidimos someter a consideración del lector una reflexión sociológica sin olvidar introducir las cifras cuantitativas en lo espacial (territorios turísticos o destinos turísticos), y en lo demográfico (movilidades y espacialidades) tomado como estudio de caso el Caribe Mexicano. En la palabra geometría humana lo que subyace es el concepto sociológico de la era postmoderna: la tendencia al consumo creciente de espacios y de producción de espacios. En la última década existe una movilización social para repensar nuestros modos y estilos de vida bajo el lema de "consumo responsable" (esta es consecuencia de movilizaciones ante el sobreconsumo que ya se venía palpando desde la década de 1970, ejemplo de ello es el clásico libro de Saénz Díez publicado en 1971 sobre la "civilización del desperdicio").

[2] Más de mil millones de cibernautas en el mundo en el año 2006 y para el 2012 tres de cada 10 personas estarán en internet. En 30 años pasaremos a la web 4.0 previendo una conexión mundial mayor. La última tecnología del transporte (cohetes) implicará en un futuro cercano el llamado turismo espacial.

[3] Para una revisión exhaustiva de las dos posturas sobre la polémica del cambio climático, ver Lawson (2009) y Lysaght (2010).

estuvo relacionado con el turismo como factor económico de la producción y de los servicios o de ambos íntimamente relacionado con el clima y sus impactos [4].

Haciendo alusión a ambas temáticas, aún relacionadas entre sí, se presentan oportunidades de reflexión académica. Ambos retos fueron asumidos desde una perspectiva sociológica. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) a lo largo de sus informes de evaluación, sobre todo, el cuarto informe (2007), y como bien lo analizan Balairon (2006) y Martín Vide (2006) tuvo que adoptar dicha postura a pesar de no estar dominado o mucho menos representado dicho panel por sociólogos sino por climatólogos, geólogos, y físico químicos, tuvo que admitir la necesidad de un giro epistemológico entre la variabilidad climática y el aumento de la temperatura del planeta debido a la presencia humana como generadora de impactos en una época clave de la historia alterando el clima: la revolución industrial con fuertes emisiones de bióxido de carbono. La evidencia de la presencia humana en alterar el clima fue reconocida en el segundo informe del IPCC de 1995 (Balairon, 2006; Martín Vide, 2006) debido al papel que ha jugado el hombre durante la revolución industrial, periodo denominado la edad de oro del capitalismo, o los últimos 250 años de "progreso" humano. Era industrial que incrementó a 0.66 °C la temperatura media del planeta con la quema de combustibles fósiles. Para los próximos 100 años se espera un aumento de la temperatura de 1.8 a 4 grados sino reducimos las emisiones con graves consecuencias en todos los sectores de la economía humana, y donde México está posicionado entre los 13 primeros países que lo hace altamente vulnerable al cambio climático (Martínez y Fernández, 2004; Lacy y Centro Mario Molina, 2007; Semarnat, 2008 y 2009a; Galindo, 2009).

En cuanto a la actividad turística se refiere, podemos constatar que en la cola de la revolución industrial o los últimos 50 años la "industria turística" se fortaleció como nunca al producir y reproducir un modelo económico ascendente a partir del sector servicios[5] "servir como modelo de negocio desde la postguerra" (Chávez *et al*., 2009), modelo de la economía capitalista avanzada que garantiza a través del turismo la rentabilidad de las inversiones. En estas últimas cinco décadas se abrieron aquellos productos de la naturaleza centrados en los litorales, mares y costas del mundo: mar, playas, montañas y humedales como factores y medios de la producción para ofrecer ocio y entretenimiento que estuvo reservado en un primer momento, a la clase alta o burguesa, pero que inicia en la segunda posguerra la etapa de masificación, sobre todo, en aquellas clases sociales de los países demandantes del ocio y la recreación (Estados

[4] Una postura controvertida sobre la difícil ubicación del turismo en el sector de la economía y como área en discusión del conocimiento científico. Véase Hiernaux (2006), quien señala que es un término en construcción y que la discusión sobre la definición de turismo está abierta aún. Lo señala como un fenómeno de la relación espacio-sociedad. No es ciertamente sólo una actividad económica, sino un hecho social, ambiental, psicológico, antropológico y geográfico. Ver también la amplia discusión en Jafari (2005) donde plantea cuatro plataformas y enfoques del cómo ha evolucionado el concepto y la operatividad del turismo.

[5] Periodo que desde la sociología se conoce como la revolución postindustrial (Bell, 1991), que enfatiza en el papel de la tecnología y los modos de ver el mundo que nos rodea.

Unidos, Inglaterra, Noruega, Islandia, Dinamarca, Francia, Alemania). El periodo "industrial", "fordista" se refiere así al turismo masivo, que convierte en producto de consumo a los viajes turísticos Esta demanda implicó la ingeniería de soporte o una serie de componentes que integrarían el "sistema turístico" con todos los servicios necesarios, incluyendo una amplia infraestructura que albergara las actividades turísticas: marinas, resorts, campos de golf, hoteles, villas, condominios y todo aquello que pudiera estar en contacto con el sol, arena y playa. Este producto de sol y playa sigue siendo el modelo de apuesta en los planes de desarrollo o de política económica nacional (adoptado desde cualquier país del orbe, sean o no pertenecientes a países desarrollados y emergentes incluyendo aquellos del bloque socialista). Aún cuando han surgido modalidades diversas, el turismo de sol y playa sigue siendo el segmento dominante (Jiménez, 2005; Secall *et al*., 2006). El transporte aéreo de bajo coste incremento las movilidades de personas y mercancías en busca de ciudades y destinos turísticos de sol y playa (Según Lawson (2009) se han incrementando exponencialmente el número de ciudades turísticas, en el año 2000 existían treinta de ellas entre las más visitadas por el turismo mundial, y para el año 2007 habían incrementado a mil). La construcción de hoteles, condominios y campos de golf aumentaron y por lo tanto, la demanda de energía también. Uno de los principales impactos de este crecimiento turístico es el cambio en el uso del suelo afectando la humedad relativa y absoluta como componente del clima.

Para las economías en desarrollo, la apuesta por este modelo de turismo que altera el cambio del suelo, principalmente los humedales y zonas costeras, sigue predominando como mecanismo para la generación de divisas y creación de empleos; considerándolo como un pasaporte al desarrollo (Kadt, 1991). En pleno siglo xxi el turismo convencional mantiene su predominio frente a las modalidades alternativas, crecientes y dinámicas pero aún minoritarias en inversiones y mercados (en parte por su propia lógica), como el ecoturismo que no es más que pagar para ver y experimentar en la naturaleza, es una fuerza conductora, según Duffy (2008) de la neo liberalización de la naturaleza. Las actividades masivas que algunos autores ubican como postfordistas y globalizadas (Wood, 2004), se expanden aceleradamente en el mundo, como es el caso de los cruceros o resorts flotantes, yatching, y renting de flotas vehiculares de soporte al turismo entre los principales. Sin embargo, no podemos ignorar el empuje de la experiencia que está en debate con los turismos alternativos en los últimos 10 años (Ceballos-Lascurian, 1994; Santana, 2003; Jiménez, 2005), precisamente como reacción ante el modelo convencional del turismo sin respetar el medio ambiente. A pesar de los debates en pro y en contra de todos los modelos alternativos del turismo el siglo xxi tiene que predominar en la correspondencia de aquellas actividades que respeten el medio ambiente y las culturas locales, avanzando al ritmo de los cambios en el gusto y consumo de los demandantes del turismo de naturaleza, aventura, cultura, gastronómico e histórico.

Siendo el turismo una actividad tan extendida, el tema de turismo y cambio climático es prioritario y la principal contribución que dejamos es una reflexión general para futuras investigaciones multidisciplinarias que no solamente generen datos sino propuestas alternativas de turismo y desarrollo humano centrado en mejorar la calidad de vida de amplios sectores socia-

les marginados y conservar los ecosistemas acuáticos y terrestres en equilibrio con los inversionistas, gobiernos y ciudadanos. Este trabajo presenta resultados generales de la experiencia del Caribe mexicano, bajo cuyo modelo masivo implica un uso intensivo de los recursos costeros; la apropiación del litoral por parte de las grandes cadenas hoteleras y promueve una inmigración acelerada con consecuencias para el medio ambiente y para la calidad de vida de las comunidades. Estas características implican la continuación de las condiciones que han propiciado el cambio climático y son opuestas a las recomendaciones para reducir la vulnerabilidad de la infraestructura y poblaciones ante los efectos del cambio climático. El reto colectivo será el cómo afrontar con metas y acciones el principal eje problema de la relación turismo y cambio climático: la ausencia de planeación ambiental transversal.

Los materiales y métodos utilizados para este capítulo de reflexión sobre la diada cambio climático y turismo fueron las entrevistas realizadas en los meses de agosto, del 2007 a 2010 a diferentes actores sociales en el Caribe mexicano (cadenas hoteleras, gerentes de home port, gerentes de parqués temáticos, dueños de hoteles boutiques, representantes de gobierno y ciudadanos), haciendo en total 120 entrevistas semiestructuradas, y como parte de cursos prácticos sobre medio ambiente y desarrollo impartido en la Universidad Iberoamericana, Campus Puebla, además de trabajo de campo con el equipo de investigación que dirijo desde el CINVESTAV. A la par de estos materiales revisamos bibliografía básica y puesta a disposición mediante grupos en red coordinado por EPOMEX-UAC. Revisamos documentos de trabajo de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Cotejamos insumos bibliográficos de bibliotecas de ciencias sociales en España en el marco del año sabático financiado por el CONACYT, y en síntesis basamos nuestra reflexión sobre esta temática en el trabajo de investigación actual y previa que tenemos en el Caribe mexicano.

Turismo y cambio climático: breve contexto del escenario internacional y nacional

Para el caso que nos atañe dos conferencias internacionales (2003 en Djerba, Túnez y 2007 en Davos, Suiza) exhortaron a los gobiernos a subscribir acuerdos internacionales e incitaron al sector turístico a utilizar energías eficientes y tecnologías limpias, en síntesis un comienzo hacia la economía baja en carbono con el lema del ahorro en energía. La revista de la Facultad de Derecho de la UNAM tiene un artículo sobre la temática donde se destaca la existencia de acuerdos internacionales que adoptan las naciones como es el caso de México pero sin haber avanzado mucho en el plano de nuestra constitución para normar las actividades (IIJ-UNAM, 2008).

En este escenario internacional que hace eco en el nacional se reconoce que el clima es clave para el turismo y por lo tanto, el sector deberá responder de manera rápida al avance del cambio climático a través de la mitigación de la emisión de gases efecto invernadero resultantes del transporte y el alojamiento.

En la declaración de Davos (2008), se reconoce que el sector turismo aporta el 5% de las emisiones de bióxido de carbono, pero en vista de ser una actividad económica transversal el

transporte aéreo genera el 40% de las emisiones de dióxido de carbono, el 32% lo genera el transporte terrestre en automóvil, el 21% el hospedaje y solamente el 4% otras actividades. Esto nos da una idea de las implicaciones que acarrea el turismo de internación en los países específicamente como en el caso de México posicionado en el decimo lugar de exportador de este sector al recibir 22 millones de turistas al año (Asociación de Hoteles de Cancún, 2008).

Los efectos del cambio climático implicará la reducción de periodos vacacionales de verano e invierno que obligaran a redistribuir turistas por áreas geográficas.

La misma declaración de Davos que resultó un hito en el tema exhortó a la industria del turismo y a los centros con destino de playa a proteger el litoral costero (tanto humedales como arrecifes de coral). Igualmente reconoció que el turismo deberá adaptarse a los cambios del clima, por lo que invita a los gobiernos a incluir este tema en el cumplimiento de los compromisos relacionados con el cambio climático y bajo el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas (por la mitigación de gases de efecto invernadero que cada país deberá resolver).

A nivel internacional resalta la publicación de la NOAA (2010) al publicar el manual de "Adapting to climate change: A Planning Guide for State Coastal Managers" donde enfatiza los pasos para alcanzar metas, identificar acciones, evaluar, seleccionar y priorizar acciones, así como, escribir dichos planes de acción para adaptarse al cambio climático en las zonas costeras.

Los principales efectos del cambio climático sobre los destinos turísticos, su competitividad y su sustentabilidad están referidos según Lardeau de la siguiente manera: el cambio climático se acompaña de un incremento en eventos climáticos extremos (huracanes, sequias, olas de calor), que pueden inhabilitar una región durante una temporada entera. El clima determina la duración y la calidad de las temporadas turísticas e influye decisivamente en la elección de los destinos y el gasto turístico. El clima afecta a diversos recursos ambientales que son destacados atractivos turísticos, como la presencia de la nieve, el comportamiento y la diversidad biológica de la flora y fauna silvestre y el nivel y calidad del agua. El clima ejerce una importante influencia en las condiciones ambientales que pueden ahuyentar a los turistas como enfermedades contagiosas, incendios forestales, plagas de insectos o transmitidas por el agua (por ejemplo, de medusas o floraciones de algas) (Lardeau, 2009)

No cabe duda que como expresaron Fayos Solá y Jafari, 2009 el turismo es vector y víctima del cambio climático, y precisamente uno de los problemas eje en la industria del turismo es el consumo de energía (mientras más alta es la categoría del hotel mayor será el consumo de energía térmica y eléctrica y por ende mayor el costo operativo de estas empresas). Por ello, se aboga a que la industria marche hacia el potencial de ahorro de energía en la mejora de los sistemas de aire acondicionado y calefacción, inversión en sistemas inteligentes de administración de energía, aislamientos, calentamiento e iluminación.

¿Cuál es la situación que encontramos en el Caribe mexicano en tanto sector económico y con seis eventos hidrometeorológicos –huracanes- de intensidad que golpearon la región entre 1988 y 2010?

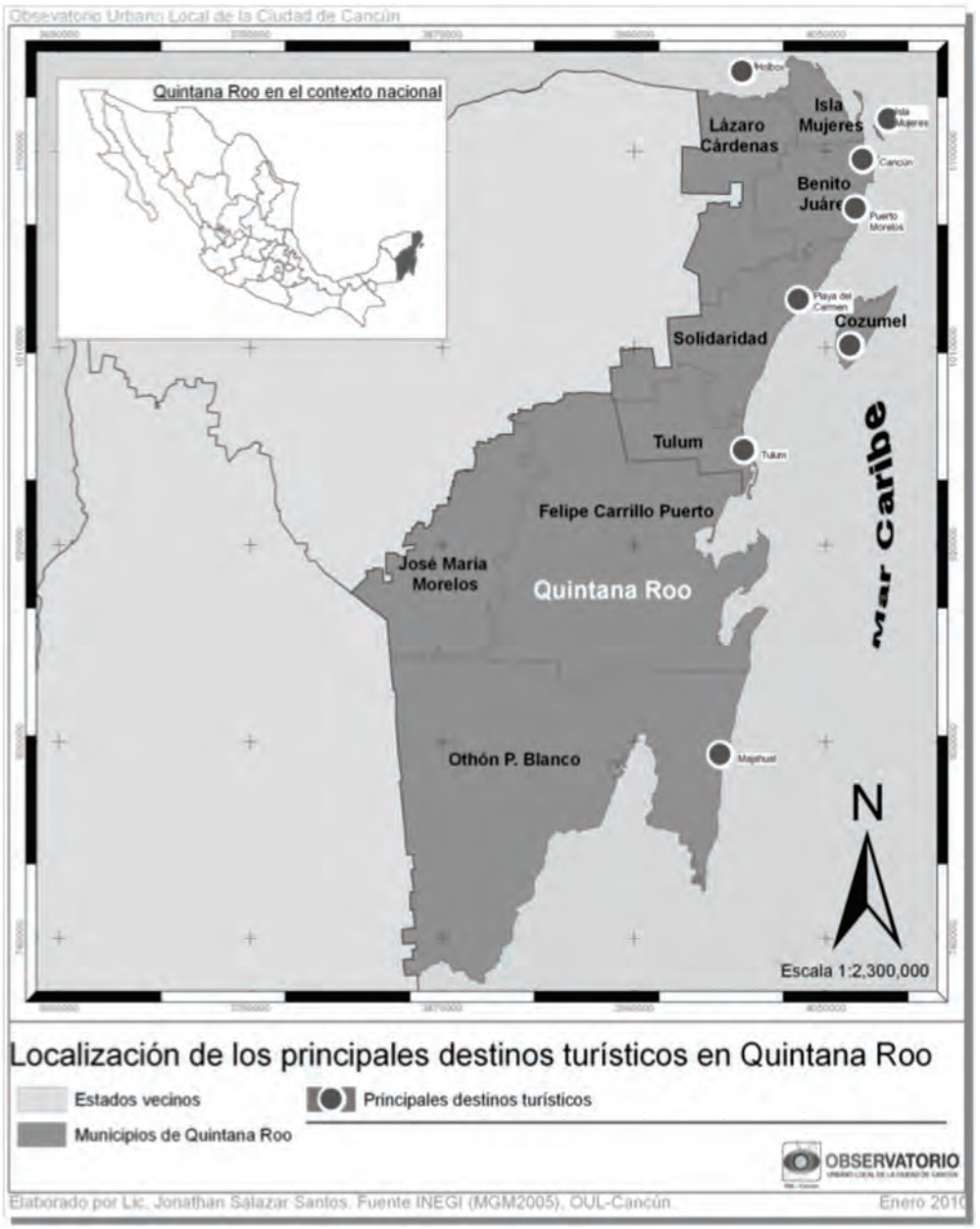


Figura 1. Municipios de Quintana Roo y principales destinos turísticos.

El crecimiento exponencial del Caribe mexicano: el polo Cancún y la visión al 2025

Desde la década de 1970, cinco son las regiones y espacios que entraron en la economía mexicana centrada en el turismo bajo la política de promoción y diseño de centros vacacionales conocido como CIP (Centros Integralmente Planeados): Cancún, Ixtapa, Huatulco, Los Cabos y Loreto). En el caso que nos ocupa en el Caribe mexicano, Cancún pasó a ser un destino maduro y en franco declive a treinta y cinco años de su creación. En 2010 Cancún tenía 28 500 cuartos de hotel concentrados en una zona hotelera de 17 kilómetros de playas y frágiles dunas bordeadas de la laguna nichupté (MBJ, 2005). La gringolandia (Torres y Momsem, 2005) de los mexicanos y el Miami Beach de los norteamericanos a menos de dos horas en vuelos charters de la Florida o de Filadelfia, o el paraíso de los excesos de los spring breakers, Cancún "*ya pasó de moda*", quedo como Acapulco para los chilangos, y Cancún para los mexicanos (touroperador en aeropuerto de Cancún, octubre de 2009), "*se abarato el destino*", y se quedo para segundas residencias con las torres residenciales que se construyen a pasos agigantados después del impacto del huracán "Wilma" fuerza de la naturaleza que impactó al destino vacacional más conocido del mundo en septiembre del 2005. Los proyectos inmobiliarios y residenciales para Cancún, Riviera Cancún, Playa Mujeres, Puerto Cancún, Cozumel, Isla Mujeres, Riviera Maya y Costa Maya son exorbitantes con una clara presencia de capital español (Grupo Mall, OHL, Hansa entre otras), y con la etiqueta de protección ambiental que según las promociones de preventa de los desarrollos tienen el cuidado del medioambiente.

Los factores que frenaron el avance acelerado de la construcción de marinas, residencias, centros comerciales y campos de golf fueron: la crisis económica mundial y el problema de salud por la "Influenza" desde el 2008. Estos factores han propiciado que los condominios y villas construidas están como elefantes blancos esperando ser reactivados e inversionistas persistentes que temen a una burbuja inmobiliaria. Esto demuestra que el modelo turístico hotelero comienza a ceder al modelo residencial un poco antes del huracán pero mucho más acelerado después de este fenómeno meteorológico.

Si hacemos un recuento somero, el Caribe mexicano comprendía solamente al polo Cancún desde 1974 a 1994. Cuando abrieron los primeros hoteles en la zona hotelera en 1974 (El Playa Blanca y el Cancún Caribe), el éxito fue tal que al paso de los años las construcciones de cadenas hoteleras transnacionales, después de 1987, como lo son el Gran Meliá, la cadena Oasis, Grand Solaris y la cadena Barceló entre otras fueron aumentando con sus respectivas categorías de servicios predominando el de gran clase y de 5 y 4 estrellas.

Cancún creció a un ritmo exponencial en los primeros 10 años de vida, y se ralentizo en los siguientes 5 años cuando se dinamizó el corredor Cancún-Tulúm con el Fideicomiso de la Riviera Maya creado en 1987. El Corredor Cancún-Tulúm constituyó un área de actividades náuticas complementarias para Cancún hasta la década de los noventas, cuando, ya como Riviera Maya, se convirtió en un destino alterno y con una oferta hotelera y de servicios tan grande como la de Cancún en solamente diez años. Como expresó un funcionario de la secretaria de turismo, "*Cancún es un destino joven con síntoma de viejo*" (Empleado de Sedetur, 2010).

El gemelo turístico, Playa del Carmen, la capital de la Riviera Maya, una ciudad turística que crece a un 20% anual a partir del año 2000 a 2010, y que "*por su propio bien debe frenar su ritmo de construcción*" (informante de Ayuntamiento de Solidaridad, 2010), no parece frenar su ritmo de crecimiento. Si bien la crisis amortiguó un poco el ritmo de la construcción, este empieza a repuntar para el verano del 2009 con la llegada de más infraestructura urbana y de servicios. La morfología social y urbana de las principales ciudades turísticas del Caribe mexicano (Puerto Morelos, Playa del Carmen, Tulum) está en constante transformación, por ejemplo, en Playa del Carmen cada vez encontramos más concecionarias de autos desde norteamericanas (Ford, Cheverolet), Japonesas (Toyota, Honda; Mitsubichi) e Italianas (Fiat), puentes viales, cadenas de supermercados nacionales y trasnacionales, bancos comerciales, franquicias reconocidas a nivel mundial desde restaurantes chinos, italianos, mexicanos, hoteles de todos los diseños y categorías, rentadoras de autos, y en menor medida escuelas, farmacias, hospitales, iglesias, cementerios y parques públicos[6].

La geometría humana exponencial a través del turismo lo expone un funcionario de la siguiente manera: *"lo que Cancún construyó en hoteles en 35 años, la Riviera lo ha hecho en 10 años al tener actualmente 36 mil cuartos de hotel"* (entrevista a Sedetur, 2010). El ritmo de crecimiento de la Riviera Maya es tres veces mayor que el de Cancún, al pasar a tener 250 mil habitantes en menos de 15 años, mientras en Cancún los 800 mil habitantes los acogió en 30 años (*cf.* Campos, 2004).

La vorágine de Cancún de los años 1974 a 1987, lo es ahora Playa del Carmen y Tulum después del año 2000 al 2010 con el proyecto de construcción del aeropuerto que está aprobado y cercado el territorio (*ibid*). En el sur del estado quintanarroense Mahajual está creciendo a ritmos impresionantes con la marca del Grand Costa Maya al reinaugurar el home port "Puerto Maya" (diciembre del 2008) a un año del impacto del huracán "Dean"[7]. En 2010 Mahajual presentaba una morfología habitacional mayor que hace dos años al construir corredores comerciales a la salida del muelle de cruceros, y 3 mil casas de interés social para los trabajadores

[6] Entre las dicotomías de la abundancia y la escasez de hospedaje, los trabajadores viven a expensas de los "cuartistas" o dueños de casas que rentan cuartos. En Playa del Carmen resulta lo más caro para un empleado de un hotel, restaurant o negocio, es preferible muchas veces viajar diariamente una hora y media o dos horas a Cancún (convirtiéndose en ciudad dormitorio de la Riviera Maya), para llegar a dormir y regresarse de nuevo al trabajo. Son ciudades que no están preparadas para el crecimiento exponencial del turismo, son ciudades en la que no existen ni cementerios donde llevar a sus muertos, son ciudades que enfrentan lo ostentoso en los bordes de playa con los resorts y la precariedad extrema detrás de los matorrales y selva mediana apenas atravesando los ejes carreteros de acceso. Son ciudades cuyas altas tasas de suicidio nadie los considera, ni los explica simplemente causan asombro y al momento se olvida, o pueden ser un buen pretexto para cadenas empresariales contratando a un psicólogo con el que pueden justificar un trabajo social bajo la etiqueta de responsabilidad social empresarial.

[7] Un aspecto interesante a reflexionar es lo que se derivó de la entrevista al gerente del Home Port en el año 2008 relacionado con el tema ambiental y la necesidad de reconstruir el muelle de cruceros: "*El apoyo federal para el muelle fue "Fast Track" nada de estudio de impacto ambiental porque había que acelerar la reconstrucción a pasos gigantes y el gobierno prometió que las secretarías encargadas del ambiente no podían poner peros...en eso consistió la ayuda del gobierno a la empresa privada*".

asociados o no al home port. Más de 250 arribos de cruceros al año son los promocionales para garantizar la renta de los locales comerciales en agosto de 2010. En este sentido, el Caribe mexicano cobra su cabal dimensión en los 865 kilómetros de litorales con la apertura del home port de Mahajual en el año 2001 fecha en la que empieza a recibir cruceros dentro de la ruta de las grandes empresas "carnival" y "Royal Caribbean". Esta mega firma de cruceros apostó a una proeza de construcción: el "Oasis of the Seas" de 1 187 metros de longitud, 6 296 pasajeros, y 2 165 tripulantes de 75 países del mundo, su construcción duró cinco años en Finlandia y fue puesto en circulación oceánica el 5 de diciembre del 2009 (Servin, 2010). El "Oasis of the seas" toco Puerta Maya en Mahajual en el año 2010. Es así que Cozumel, el primer destino de cruceros del Caribe y de logística mundial, empieza a perder mercado a partir de los impactos de los huracanes que obliga a la búsqueda de otros sitios y divide su participación estadística al llevarse Mahajual la cifra de un millón de visitantes de los 4 millones anuales que recibe Quintana Roo y 12 millones de visitantes compartidos en los otros segmentos del mercado turístico nacional. El modelo de cruceros es también masivo porque implica recibir a miles de personas al mismo tiempo en algunas horas del día, con visitantes poco preocupados por el entorno y la cultura del lugar (Wood, 2004).

Mahajual recibía un premio por la llegada de un millón de visitantes el mismo año que golpeo el sitio el huracán "Dean" el 13 de agosto del 2007 (Gerente del Home Port, entrevista en agosto del 2008). Sin embargo, gracias al huracán "Dean" se logró lo que las autoridades no podían hacer: *"limpiar o sanear la zona de playa pública del pueblo de cientos de vendedores ambulantes y ofertadores de servicios de lanchas, un verdadero canibalismo y especulación al turista se había desatado"* (Gerente Home Port, 2008), "*gracias al Dean logramos que aquellos que habían venido en hordas desde Cancún después que los azotó el huracán "Wilma" en busca de trabajo regresaran de donde vinieron, incluyendo a los empleados taxistas"* (empleado de Majahual, 2008). Otra de las oportunidades que brindo el huracán además de reorganización del espacio físico y social fue la búsqueda de materiales resilientes al oleaje y viento, por ejemplo, permitió reconstruir el muelle de Mahajual con una nueva ingeniería que al prolongar 140 metros de longitud del original en cada 2 metros colocaron un filtro que permitirá pasar el agua del oleaje y efecto rebote que contenga la presión del agua sobre la estructura. En suma, para Mahajual el huracán fue ventajoso "*porque frenó el acelerado crecimiento al que se habían abocado los empresarios de la zona, no había tiempo para reflexionar, y eso nos puso a pensar mejor*" (entrevista gerente, 2008).

No obstante este panorama de ventajas y desventajas ante fenómenos meteorológicos en el Caribe, ¿hacia dónde está proyectado el Caribe mexicano en Visión al 2025? En el estudio de gran visión de Quintana Roo para el año 2025 realizado por Sectur y el gobierno estatal y publicado en el año 2005 la geometría humana del turismo está planteada de la siguiente manera:

1. Relanzamiento de Cancún: volver a dar a conocer los "mil rostros de Cancún", condición del gran éxito a futuro de todo el destino con un programa de mercadotecnia especial, oferta y metas de múltiples actores: expertos en bodas, asociados náuticos, cámara de

restaurantes, bares y discotecas, operadores de spas, asociaciones de plazas comerciales, operadores de excursiones y parques ecotúristicos, los agentes de viajes y los expertos en cultura maya, los propietarios y operadores constructores de campos de golf y los directores de los pequeños hoteles urbanos.

2. Diseñar nuevos sistemas de experiencias porque en Europa no se busca "paquetes" sino emociones y conocimiento del destino, para que cada viaje sea una experiencia distinta y singular (turismo postfordista, según Khafash, 2009). Esta tendencia genera nuevos y potentes mercados como el de aventuras, naturaleza, historia, amor, salud y entretenimiento (*ibid*).
3. El Caribe mexicano quiere ir más allá del mundo turístico dividido en dos: a) aquellas empresas o destinos que apuestan a la personalización de la experiencia turística haciéndose acreedores a un precio "Premium" y b) aquellos que son víctimas de los paquetes para un solo nicho, y por lo tanto, tienen que aceptar que nunca controlaran el precio del mercado.
4. Cancún hacia una sola imagen de "Caribe mexicano", es decir, Cancún de monodestino a multidestino con recursos naturales (playas, islas, bahías, cenotes, ríos, lagunas, selvas, humedales y flora y fauna), recursos históricos (mundo maya precolombino, mundo maya colonial y mundo maya actual con su música, moda, costumbres de una extraordinaria identidad con atractivos únicos: el carácter del mexicano más hospitalario del país unido al carácter del inmigrante que viene al Caribe de todas las regiones del país en "un proceso de selección natural" que hace del recién llegado a estas tierras "un hombre que es capaz de renunciar a sus raíces para construirse con base en el esfuerzo para un futuro mejor" (*sic*).

El proyecto de gran visión para el 2025 del Caribe mexicano por zonas o subdestinos es resumido en la tabla 1.

Esta visión geométrica del turismo en el Caribe mexicano es la fusión del modelo español[8] y el norteamericano con predominancia del primero después del huracán Wilma: una urbanización compulsiva del litoral, un modelo económico con fuerte presión del territorio, una excesiva litoralización, una cultura de la subvención por parte del gobierno federal a las grandes cadenas hoteleras y de la construcción para obras de infraestructura, un modelo de especulación de la tierra con el circulo vicioso de vender y reducir costes, ausencia de gestores en manejo de zona costera, una presión antrópica del espacio litoral, una sobreoferta de segundas residencias y un aumento de ciudades turísticas con crecimiento desordenado (Puerto Morelos, Puerto Aventuras, Playa del Carmen, Tulum, Akumal, Mahajual).

[8] El modelo español al que hacemos referencia fue resumido de un taller internacional en la que participó la primera autora entre el 2 y 7 de octubre de 2009 en la Universidad de Valencia, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España sobre "Revisitando la Gestión Integrada de Zonas Costeras". El modelo español para la ocupación del espacio turístico fue un modelo impuesto por "Europa" para sacarlo del subdesarrollo con un amplio sector primario, sobre todo, después del Franquismo (*cf.* Álvarez *et al.*, 2004).

Tabla 1. Proyecto de gran visión 20125 del Caribe mexicano.

Zona o subdestino	Variables proyectadas
El Norte: región de los peces y las aves: Punta Sam, Yumbalám, Holbox, Solferino, Laguna Konil, Yalahau, Isla Contoy, Isla Blanca, Laguna Chacmochuc, Chiquilá, Cabo Catoche.	Atractivo fundamental de naturaleza.
Punta Sam-Cancún: El gran centro turístico del Caribe.	10 mil cuartos de hotel, 100 mil habitantes, Foco de dispersión para todo Quintana Roo. Zona conurbanada de 40 mil cuartos con 900 mil habitantes.
Isla Mujeres: el rincón de las artes y la gastronomía.	Hoteles boutiques.
Isla de Cozumel: la isla del mundo submarino.	Torres condominales y villas.
Riviera Maya.	La región del arrecife y de los mayas vivos.
La provincia maya.	El Quintana Roo colonial y el mundo de los mayas vivos (Siankaan y el triangulo que contiene los vestigios más importantes de la guerra de castas, que va de Tulúm a Coba, Valladolid y a Carrillo Puerto pasando por Chemax, Tihosuco y Tixcacal Guardia ("focos de resistencia maya").
Costa Maya: La región de las aventuras marinas Con Mahajual como urbe, Xcalak como parque marino y Punta Herrero, Punta Herradura, Xahuaxol.	Campos de golf, villas, condominios, Home port.
Chetumal-Calakmul: El gran paseo de los dioses del Mayab.	Arqueturismo, grupo Xcaret, concepto de alojamiento turístico de enorme calidad. Aldeas de carácter maya, palafitos.

Fuente: Documento Gran Visión Quintana Roo, 2025, Gobierno del Estado de Quintana Roo.

El mercado residencial turístico está obligando a los inversionistas españoles, norteamericanos y mexicanos a considerar el mercado de vivienda para trabajadores. Puerta Maya cerca de Puerto Aventuras es una clara muestra de urbanizaciones con casas habitacionales para trabajadores que no miden más de 24 m^2 para cinco o 10 trabajadores hacinados en su interior (diez mil viviendas, proyectadas), muchas veces rodeados estos fraccionamientos por campos de golf de 18 hoyos con una fuerte demanda de agua provenientes de los cenotes. La tendencia será el mismo para costa maya antes del 2025 con 6 500 cuartos de hotel (en 2006 solamente tenía 179 cuartos donde Mahajual tenía 68), y tres campos de golf (EQUIPAR, 2007). Los terrenos en playa cada vez más escasos, y el estilo que conlleva el golf (impacto visual con el océano), hacen una mezcla única en este tipo de desarrollos donde el agua es el elemento vital.

Los desarrollos con campos de golf son el segmento que más crece en México como lo hizo igualmente España[9], y por ende el Caribe Mexicano no es la excepción. Las firmas de los golfistas (Norman, Nicklaus y Von Hagge) pueden costar entre 1 y 3 millones de dólares como

[9] Según F. Babinger (en Córdoba, 2008), España solamente tenía 2 campos en 1860 aumentando a 120 en 1990, a 220 campos en el año 2000 y en 2008 había ya 341 (63% ubicados en el mediterráneo español).

mínimo y representan un valor agregado a la hora de posicionar los desarrollos (RealState, 2004). El Caribe mexicano tiene 12 campos de golf (5 en Cancún con el Pok Ta Pok, Gran Melía. Hilton, Grand Oasis, Moon Palace), y los restantes en Playa Mujeres al norte de Cancún, Cozumel, Playacar en Playa del Carmen, Mayan Palace, Puerto Aventuras, y los más recientes el Mayakobá y el Bahía Príncipe construidos por OHL, empresa española que adquirió 1 000 hectáreas para desarrollar el Mayakobá. El Grupo Mayan le apostó fuerte a la zona con el esquema inmobiliario, siempre respaldando el golf al turismo (RealState, 2004 y 2008). En el 2025 se está apostando grandes desarrollos con golf en Puerto Cancún donde se tiene prevista una inversión acumulada superior a 1 115 millones de dólares y en Riviera Cancún (al sur del aeropuerto colindante con Puerto Morelos) donde se contempla invertir 372 millones de dólares, es de esta manera que el 82% de los campos de golf que se hacen en el mundo están justificados por algún tipo de desarrollo de bienes raíces (*ibid*).

En esta geometría humana del turismo existe en el modelo la proliferación de parques temáticos[10] que en el caso del Caribe méxicano a la cabeza están Xcaret, Xel Há y recientemente en 2009 abrió sus puertas "Xplor". Esto implica que existe un claro indicio de la demanda de entretenimiento y ocio desde Cancún para diversificar el destino con productos e imágenes basados en la explotación de la naturaleza a través de cenotes, caletas y reservas ecológicas. Estos tres productos tienen al año un millón 800 mil turistas provenientes de paises emisores de Estados Unidos, Europa (turismo de invierno) y turistas nacionales (turismo de verano). Estos parques ocupan extensiones mayores de selva baja y mediana, dunas, manglares concesionados (sinónimo de propiedad privada). El éxito de estos parques ha llevado a la apertura de 12 parques temáticos en el norte y la Riviera Maya cuya característica principal es la apertura de cenotes y cavernas de aguas subterráneas. Xel-Há es el parque que mayor imagen y marca presenta de sustentabilidad (Khafash, 2009).

Las imágenes y productos del modelo turístico en el Caribe mexicano están proyectados al mundo a través de una amplia apuesta a la publicidad, y es allí donde el gobierno mexicano a través de la Secretaría de Turismo invierte un porcentaje considerable para atraer a los visitantes. Las tablas 2, 3 y 5 refleja la cantidad de turistas que visitaron los principales sitios del Caribe mexicano. El número de establecimientos de hotel, motel de todas las categorías de ocupación también va en constante aumento. Los principales sitios de la Riviera Maya son cada vez más demandados no solamente por el turismo internacional (principalmente europeo), sino también el nacional. Esto refleja una clara aportación al Producto Interno Bruto, sobre todo, el sector comercio y servicios de alojamiento, bebidas y alimentos, así como, transporte, almacenamiento y servicios inmobiliarios y de alquiler (ver tabla 4).

En este crecimiento exponencial o geometría humana en el espacio físico y social surge una interrogante ¿cuáles implicaciones conlleva este crecimiento exponencial del turismo en términos de las emisiones de bióxido de carbono cuando el transporte es la condición necesaria para la movilidad de los turistas utilizando con un mayor porcentaje los flujos aéreos?

[10]Para mayor detalle de este segmento de turismo *cf.* Clavé y González, 2007.

Tabla 2. Principales indicadores de la ocupación en hoteles y moteles de los centros turísticos según residencia 2008.

Centro turístico Indicador	Total
Akumal	
Llegada de turistas	273 666
Turistas noche (noches)	2 059 888
Cancún	
Llegada de turistas	3 265 591
Turistas noche (noches)	15 255 768
Chetumal	
Llegada de turistas	475 152
Turistas noche (noches)	518 344
Cozumel	
Llegada de turistas	924 451
Turistas noche (noches)	1 816 697
Isla Mujeres	
Llegada de turistas	144 689
Turistas noche (noches)	343 597
Playacar	
Llegada de turistas	563 111
Turistas noche (noches)	3 636 739
Playa del Carmen	
Llegada de turistas	577 315
Turistas noche (noches)	2 999 673

Fuente: Sector. Monitoreo Data Tur. (http://datatur.sectur.ob.mx) (16 marzo 2009)

El crecimiento exponencial del transporte, principal emisor de CO_2

Villaseñor (2006) enfatiza que uno de los sectores con mayor crecimiento en el Caribe mexicano y en particular en la Riviera Maya es el transporte. No se concibe el turismo sin los tres factores que fortalecen la industria sin chimeneas: la accesibilidad, el transporte y la hospitalidad. El Caribe mexicano desde los años 1970 fue una franja inhóspita al que solamente se podía llegar abriendo brechas y caminos desde la carretera Valladolid (en Yucatán) hacia Cancún en un tramo de 147 kilómetros de longitud. De Cancún a Tulum muchos de los primeros trabajadores de los hoteles de Cancún deseosos de conocer más allá del aeropuerto fueron explorando sitios hasta la caleta de Xcaret donde solamente llegaban mediante una brecha angosta sin pavimentar, apenas era el año 1983. Al centro del Caribe (Playa del Carmen, Akumal y Tulum) se llegaba desde la brecha angosta que comunicaba la zona arqueológica y el poblado de Cobá. Con el crecimiento de Cancún y los deseos de conocer Cozumel atravesando Puerto Morelos o aventurándose hasta Playa del Carmen, puerto con escasos 250 habitantes, la mayoría pesca-

Tabla 3. Establecimientos de hospedaje registrados por centro turístico según categoría turística del establecimiento al 31 de diciembre de 2008.

Centro turístico	Total
Total	807
Bacalar	15
Cancún	145
Chetumal	68
Chiquilá	1
Cozumel	51
Felipe Carrillo Puerto	8
Holbox	26
Ignacio Zaragoza	1
Isla Mujeres	68
José María Morelos	7
Kantunilkin	8
Kohunlich	1
Mahahual	37
Puerto Morelos	21
Riviera Maya	350

Fuente: Secretaría de Turismo del Gobierno del Estado, Dirección de Planeación y Desarrollo Turístico.

Tabla 4. Producto Interno Bruto por sector de actividad económica 2007 P/ (%).

Sector	%
Comercio	17.2
Transportes, correos y almacenamiento	8.7
Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	8.8
Servicios profesionales, científicos y técnicos	3.3
Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	1.0
Servicio de alojamiento temporal y preparación de alimentos y bebidas	19.5

Fuente: *ibid* (no todos los sectores están mencionados).

Tabla 5. Pasajeros atendidos por vía marítima por puerto según clase de servicio 2008.

Puerto	Total	Cruceros a/	Transportes a/	De ruta b/
Total	14 683 922	2 684 436	887 254	11 112 232
Cancún	182	182	0	0
Isla Mujeres	2 983 136	0	221 736	2 761 400
Mahahual	25 002	25 002	0	0
Playa del Carmen	2 810 765	16 049	0	2 794 716
Puerto Cozumel	5 586 040	2 569 433	221 891	2 794 716
Puerto Juárez	2 761 400	0	0	2 761 400
Puerto Morelos	0	0	0	0
Punta Sam	221 736	0	221 736	0
Punta Venado	295 661	73 770	221 891	

a/ Se refiere a pasajeros transportados en embarcaciones de servicio público con rutas y horarios establecidos.
b/ Se refiere a los pasajeros que desembarcan como destino intermedio.
Fuente: Administración Portuaria Integral de Quintana Roo, S.A. de C.V. Coordinación de Planeación y Estadística.

dores concentrados en la pesca comercial de langosta y escama se llegaba motivado por el espíritu aventurero bordeando las dunas, playas y rocas con una exuberante vegetación. Las Islas (Mujeres y Cozumel) desde finales de la década de 1950 estaban dedicadas a recibir aquellos viajeros en busca del buceo y el esnórquel. Para ello, se contaba con una pista de aterrizaje o pequeño aeropuerto que comunicaba Miami o Mérida, que con el turismo arqueológico de los años cincuentas comenzaba despuntar hacia la diversificación de espacios de ocio.

La inauguración de la autopista Mérida-Cancún en 1993 permitió la afluencia de más turismo hacia Cancún y proveer a la ciudad naciente de bienes de consumo. El aeropuerto internacional de Cancún inaugurado en 1975 recibió en el año 2008 alrededor de 58 098 vuelos donde 25 027 fueron vuelos nacionales y 33 071 fueron vuelos internacionales en un poco más de 10 líneas áreas que poseen el mayor número de operaciones y transportan al mayor número de personas (Boletín Turístico Cancún, 2008) ¿Qué implicaciones tiene el aumento del destino turístico y por consiguiente el aumento en el transporte aéreo y terrestre para enfrentar el cambio climático? Mientras Europa y Norteamérica experimentan con autos híbridos, eléctricos y de hidrógeno, en México el transporte sigue siendo obsoleto (quema de mayor combustible con plomo, subsidio a la gasolina), y apenas en 2009 el gobierno mexicano puso a disposición del público consumidor una página electrónica con información detallada de las características de la mayoría de los autos comerciales para realizar una compra informada sobre el nivel de emisión de carbono que genera cada auto (Semarnat, 2009b). Mientras en España el negocio del renting aumenta vertiginosamente al 20% anual donde el sector turismo incrementa su aportación como segmento y se vela de que las concesionarias productoras de autos tengan los límites permisibles de emisión de carbono (173 g/km), en México apenas se piensa en dicha

regulación (la ausencia de esto es el principal reto para la mitigación del cambio climático), pero todavía está muy lejos la regulación del mercado del producto con estándares internacionales de emisión de carbono, y concientizar al consumidor del problema de las emisiones. Además de incentivos a la innovación, una agenda y programa de adaptación ante este público consumidor será prioritario porque como señalamos arriba el transporte es el eje de la industria turística y por ende de las mayores emisiones de bióxido de carbono.

Para el caso del Caribe existe una sola vía (la carretera federal 307) que comunica Cancún de su capital, Chetumal a lo largo de 388 kilómetros de distancia, la congestión y crecimiento de la Riviera Maya ha saturado estos espacios viales y aunque se están construyendo puentes en la principales entradas de las ciudades implica repensar vías paralelas de tráfico. Una opción que los coordinadores de programas urbanos del municipio de Benito Juárez y Solidaridad expusieron en nuestras entrevistas es la "*necesidad de un tren de pasajeros que recorra Cancún hacia Tulum*" (directores planes urbanos, 2010). Un programa de transporte público será necesario como medida de mitigación al cambio climático en el Caribe mexicano. Por consiguiente se deben tomar medidas intensivas para reducir las emisiones en el transporte, residencial y comercial. Reordenar el crecimiento urbano, el transporte y el crecimiento poblacional será sumamente prioritario. Quintana Roo tiene 8 Programas de Ordenamiento Territorial y Ecológico, será necesario evaluarlo a la luz de este debate.

El crecimiento social positivo o exponencial a través de los flujos migratorios y necesidades de vivienda y servicios para los trabajadores

Arriba mencionábamos que Playa del Carmen crece a un 20% anual, más que cualquier otro país de los 27 que componen América Latina y el Caribe (entrevista Arq. Vázquez, Playa del Carmen, 2010). A Playa del Carmen llegan gente de todo tipo y de todas partes, llegan a probar suerte en la construcción, aunque "*los "Chapitas" (Chiapanecos) son los elegidos por los maestros constructores e ingenieros porque trabajan por cualquier precio*" (entrevista empleada supermercado, 2010). *"A Playa del Carmen llegan todo tipo de gente, y eso es ya el problema principal de Playa porque los que vivíamos antes aquí*" (entrevista Italianos dueños hotel boutique, 2010), estábamos por la tranquilidad del lugar. Ahora la colonia Colosio es el nido de los trabajadores y la Quinta Avenida es el corredor de los turistas de todas las nacionalidades que ahora se forman bajo "*clanes de raza*" (italianos con italianos, colombianos con colombianos) (dueña de hotel boutique, 2010).

Campos señalaba en 2004, que Playa del Carmen creció a un ritmo de 5% anual antes de 1994, lo que significa que se cuadriplicado la tasa de crecimiento social o la entrada de gente que supera el crecimiento natural de la población. Al observar las pirámides de población de las principales ciudades turísticas están son largamente amplias en las edades de 14 a 39 años de edad en ambos sexos (con más del 60% del total), lo que es claramente un indicador de la oferta de empleo de la zona o la demanda de trabajadores, que en este caso, se presenta en la

industria de la construcción. Sin embargo, la reciente crisis mundial de finales del 2008 está todavía recuperándose, y no es hasta el verano e invierno de 2010 que se espera un repunte en construcción y dinamismo del sector. Un amplio sector de trabajadores migrantes regresó a los lugares de origen para subsistir del campo, o los empleos informales. Las consecuencias de este proceso pendular y estacional de los trabajadores migrantes del sector turismo o la migración campo-ciudad turística aún no están abordadas. Se estima que las consecuencias de impacto social son aún mayores tanto en el lugar de origen como de atracción, y esto es un esquema necesario para cualquier análisis de adaptación y mitigación al cambio climático. Crear una mayor conciencia pública acerca del cambio climático y cómo afecta a las costas será tarea prioritaria. Por los momentos, la Semarnat (2009b) está difundiendo material impreso y en web para esta conciencia pública de nuestras acciones (calculadora mexicana en relación con nuestros estilos de vida y por ende de consumo). Mecanismos de difusión a todos los niveles son la prioridad.

Lecciones aprendidas

El tema del turismo y el cambio climático está plasmado en la declaración de Davos (2008) y en otros documentos internacionales y prevalecen como metalenguaje dentro de la postura optimista para irse preparando en los dos frentes del fenómeno del cambio climático: la adaptación y la mitigación. En el caso del Caribe mexicano existen algunos estudios que relacionan el turismo con el cambio climático (Sosa en esta publicación, p. 361-380) a partir de las opiniones de un grupo de prestadores de servicio impactados por el huracán "Wilma" en 2005. Las posturas oficiales e institucionalizadas desde la Semarnat y otras instituciones (Galindo, 2009; Gay, 2010) señalan varias posturas entre ellas el eje económico centrado en costo/beneficio de la acción o inacción ante este fenómeno. Sin embargo, se pretende asignar costes a un sector transversal que escapa de las manos a todo tipo de gestores y actores, incluyendo a los centros especializados de monitoreo estadístico como el INEGI. Necesitamos a través de los datos e información estadística confrontar las etapas de crecimiento económico del sector, sobre todo, el sector público y privado y la ausencia de costes asignados al deterioro de los recursos hídricos o acuáticos, terrestres y paisajísticos (el problema de las externalidades del capital natural). El turismo como señaló Sharpley y Telfer (2002) utiliza infraestructura natural libre (playas, mares, clima, montañas) sin costos o a muy bajos costos desde el comienzo de sus operaciones. Sin embargo, como el turismo es una opción atractiva y de desarrollo seguro los costos ambientales necesitan ser considerados de manera prioritaria. Este es un reto para los gobiernos, y las empresas privadas para lograr sinergias mediante mecanismos de producción limpia (el turismo de buenas prácticas en un marco de economía baja en carbono). Hace ya casi 20 años Sánchez (1997) había señalado que "*el proceso de globalización otorgará mayor movilidad a la asignación de recursos y significará una mayor relativización de las ventajas competitivas, especialmente de las que se sustentan en la dotación del patrimonio natural*" (p. 89), es aquí donde las empresas y los gobiernos tienen que trabajar más en un desarrollo sustentable y el turismo es el campo

competitivo por excelencia, sobre todo, en las certificaciones de la sustentabilidad como incentivos de mercado turístico (Blasco, 2002), y enfocándose a los mercados de carbono (cap and trade). Los nuevos consumidores de espacios de ocio están dictando las pautas en este sentido (Matos, 2007).

En el caso del Caribe mexicano cadenas hoteleras están concursando por certificaciones de buenas prácticas en turismo, y parques temáticos como Xel-Há han logrado premios verdes como el Green Globe, hoteles como el Melía Cancún están implementando estrategias de ahorro de energía como el mantener las habitaciones frescas para no usar aire acondicionado y colocar películas transparentes en los cristales de las ventanas (marca 3M) que reduce entre 10 y 12 grados la temperatura (Gerente del Hotel, 2010), igualmente están creando fondos propios contra desastres ante el aumento de las primas de las principales aseguradoras, y dado que la región está expuesta a intensidad de los huracanes (*ibid*).

En el documento de Davos (2008) sobre cambio climático y turismo se señala que el sector turismo es el mejor adaptado a la implicaciones ambientales (por ejemplo, el caso del SAR o gripe asiática, terrorismo, tsunami asiático y huracanes), y tiene mucho que ofrecer en aprendizajes para otros sectores por la misma naturaleza y dinámica del sector, sin embargo en el caso del Caribe mexicano las estrategias están concentradas de manera dispersa, falta aun por diseñar estrategias locales y regionales para atender a amplios sectores de trabajadores, y a diferentes sectores empresariales. Por otro lado, si bien existen herramientas metodológicas de acción ante el fenómeno del cambio climático, por el otro faltan estudios y propuestas más consolidadas en el plano de la descentralización de poderes. La OECD-IEA (2007), lanzó un documento sobre "Policy Framework for Adaptation to Climate Change in Coastal Zones: The Case of the Gulf of México", y la NOAA lanzó en 2010 "Adapting to Climate Change: A Planning Guide for State Coastal Managers". Requerimos claras propuestas de descentralización a nivel federal, estatal y municipal que en el caso de nuestro país y de nuestras zonas costeras estamos en proceso de entendimiento, sobre todo en el área del sector turismo (Fraga *et al.*, 2008). Es allí donde tenemos que apostarle a futuras investigaciones transdisdisciplinarias porque no solamente consiste en que México se comprometa en disminuir la tasa de emisión de bióxido de carbono en un 30% al 2050 (Copenhague, 2009) sino a superar su alta dependencia de tecnología para generar energías alternativas al petróleo, por ello requiere apostarle a un presupuesto considerable en ciencia y tecnología porque tiene como país amplias ventajas en energía solar, eólica y marina.

Por otro lado, si hay algo que hemos podido constatar en el Caribe mexicano no es el problema de la infraestructura con pasos agigantados en la construcción de campos de golf, condominios, villas, fraccionamientos[13] sino la falta de manejo y una ausencia de tratamiento de residuos sólidos y líquidos en procesos de franca y acelerada contaminación del subsuelo y

[11]Lawson (2009) citando a Stern (2007) menciona que los "efectos del cambio climático en las ciudades se incrementan con el efecto de las islas de calor urbano. El IPCC considera la urbanización un factor de escasa importancia, sin embargo, faltan estudios multidisciplinarios sobre este debate.

ecosistemas acuáticos que rebasa las capacidades de gobiernos municipales, estatales, federales, cadenas turísticas transnacionales y ciudadanos comunes que provienen de todas partes de la república mexicana y del mundo para habitar espacios frágiles, y enfrentando el problema de los desperdicios producto del consumo de bienes y servicios a partir del turismo.

Asimismo este marketing turístico tiene una visión cortoplacista y de lucro a expensas del futuro de generacionales actuales y futuras. Como uno de los empresarios líderes del turismo en la región señaló "*no podemos confundir objetivos y herramientas en la búsqueda del desarrollo sustentable*" (Córdoba Lira, 2009). No podemos conseguir la sustentabilidad y por consecuencia programas de adaptación al cambio climático sino equilibramos la sustentabilidad económica, social y ambiental. El crecimiento exponencial de la cultura maya en el marketing del turismo en el Caribe mexicano y fuente de atracción para los inversionistas está lejos de diseñar e invertir en calidad de vida y bienestar de los trabajadores (esto es problema del gobierno y para éste último es un problema de las organizaciones de la sociedad civil y viceversa). La naciente corriente de la Responsabilidad Social Empresarial tiene mucho aún que hacer para conseguir esos equilibrios en el marco de una ética por el planeta y la humanidad que la habita.

Arriba señalamos que el "servir como modelo de negocio desde la postguerra" en la que prevalece el principio de rentabilidad de las inversiones, no está ajena la mercantilización de la cultura[12] (Santana, 2003) y lo que observamos es una clara hipoteca de nuestros ecosistemas acuáticos del Caribe mexicano a unos inversionistas o cadenas hoteleras cuyos socios no viven en el Caribe pero sí las ganancias se van en un 72% a sus países emisores (Urry, 1996). El problema vuelve a surgir en el mundo de las negociaciones bi y multilaterales ¿Quién paga los costos de la inacción ante el cambio climático? ¿Quiénes sufren las consecuencias de las políticas globales de no atender un desarrollo equilibrado y equitativo con el medio ambiente? Gay (2010) señala que donde México tiene que apostarle es en la educación de los mexicanos para afrontar las consecuencias del cambio climático, y por ende los procesos de adaptación. La Ciencia y tecnología son los rubros menos atendidos por los gobiernos y las empresas privadas, por ello, podemos explicar como señaló una autoridad vinculado al gobierno municipal de Cancún, "*más que leyes falta voluntad política de su aplicación*". En el caso de las construcciones los proyectos vienen diseñados desde el extranjero y el perito arquitecto mexicano firma el proyecto simplemente para cumplir con la normatividad, ya que el proyecto ya viene hecho y no se modifica (Secretaría de Ecología, Cancún, 2010)[13]. Pero si no todo lo que viene de fuera

[12]Un campo de golf en Cancún, la Riviera Maya tiene entre los indicadores de venta "montículos mayas". Un parque como Xcaret tiene entre sus principales atractivos el juego de pelota como jugaban los antiguos mayas aunque entre todos los del elenco no se encuentre ningún joven indígena proveniente de la región maya", en esencia lo que se busca resaltar es el "exceso de lo maya" en la gastronomía, en la industria de la hospitalidad, la cultura tangible e intangible por el solo hecho de estar dentro de la marca de la RM. Bodas mayas de norteamericano o europeos o de actores de cine mexicanos son mucho mejor pagados si se consiguen un anciano indígena que predique la misa a las orillas del mar. Telenovelas, rating de industrias televisivas, industria de la moda y del maquillaje están asociadas a esta mercantilización de la cultura maya.

es sustentable, ¿como podemos conseguir esas sinergias?. Llamó la atención que el ministro de Medio Ambiente de España señaló que este país exporta "*insostenibilidad a otros países*" (taller en Valencia, octubre del 2009), luego entonces ¿cómo trabajar con una ética ambiental sin importar fronteras? ¿Cómo podemos aprovechar la experiencia de España para que México con un porcentaje alto de inversión española invierta realmente en sustentabilidad y energías alternativas, e invierta en calidad de vida de los trabajadores de la industria que están dominando?

En suma, constatamos en nuestras investigaciones sociales que el cambio climático en el Caribe Mexicano es una oportunidad económica, social, cultural y política para enfrentar soluciones que obliguen a una nueva era de creatividad colectiva (Ortiz, 2010) para acercarse más a la naturaleza y su creciente artificialidad y espectacularización o disneyzación (Khafash, 2009; Córdoba, 2009). Ante este hecho, necesitamos avanzar en procesos de legislación ambiental de zonas costeras más eficientes y respaldadas por los ciudadanos. El marco de la Nueva Ley General de Turismo requiere reglamentos fuertes a la luz de los impactos ambientales y ante el fenómeno del cambio climático[14].

Sugerencias y recomendaciones

En este capítulo mostramos una perspectiva sociológica general de la relación del turismo y el cambio climático. En nuestras entrevistas notamos una clara movilización de este tema a todos los niveles académicos, y una clara "internalización" de este fenómeno climático en todos los sectores y estratos económicos y sociales[15]. Como claramente manifestó un gerente de la cadena Melía Cancún "*no le tememos a la COP 16 de este diciembre del 2010, pero si al cambio climático porque hace 20 años cuando se construyó este hotel nunca se pensó en el medio ambiente, de hecho no se respeto el espacio indicado en su construcción*" .

El periodismo de masas ha "coincidido" con atraer la atención del fenómeno climático como la presencia de huracanes en la región del Caribe con el fenómeno de lo "maya" (el llamado 2012 apocalíptico), que ha generado más especulación de la tierra que miedo para frenar la

[13] Sobre el tema de la sustentabilidad en la construcción en cuanto a los hoteles, como los proyectos vienen de afuera, no contemplan cuestiones particulares de adaptación o mitigación al cambio climático y en cuanto a los proyectos para construcción de vivienda, algunos desarrolladores contemplan especificaciones sustentables que inclusive han ganado premios en otras partes, pero lo que se busca es que cumpla con la norma, la cual en 2007 fue revisada para contemplar adecuaciones por los huracanes, además de que no existen incentivos, en dicha norma, las especificaciones mínimas deben ser que 1 recamara mida 9.90m^2, 1 baño de 3.25m^2, sala-comedor de 15m^2, cuarto de aseo de 2m^2 y existen restricciones de construcción al frente y al fondo para ventilación, áreas verdes y asoleamiento (*ibid*)

[14] La Ley General de Cambio Climático promovida por el senador Alberto Cárdenas en la cámara del senado ha motivado fuertes controversias que preferimos no abordar

[15]El Día Internacional de Acción Climática celebrado con el lema 10-10-10 donde prevalecieron pancartas con el número 350 (para disminuir las emisiones mundiales de CO_2) son ya muestras de concientización hacia el tema con actividades lúdicas, deportivas y recreativas (Diario de Yucatán, 11 de octubre, 2010).

inversión. Lo que hemos constatado es que los huracanes traen más beneficios económicos a pequeñas capas de inversionistas y especuladores del suelo, más beneficios por matar el manglar, problema que obstaculiza (la NOM 22) el crecimiento exponencial del turismo costero.

Si, como lo señala la Organización Mundial del Turismo (WTO-WMO-UNEP, 2008) las tendencias pueden llevar a la reducción de los viajes de largo recorrido, a favor del turismo nacional y local, El Caribe mexicano no estaría preparándose para ello, sino creando desventajas.

En la dimensión sociocultural tenemos que entre los "*clanes de raza*" como señaló una entrevistada dueña de un hotel boutique (italianos, alemanes, canadienses, españoles entre los principales), unos vienen a invertir y otros se van porque en Playa del Carmen la tranquilidad ya no existe, la fuente y motivación para irse alejando y construir nuevos centros del influjo turístico como es el caso de Costa Maya ¿teoría de la autodestrucción del turismo?. Una pregunta obligada ante esta situación y las redes sociales a partir de las nacionalidades es la siguiente ¿cómo romper estos clanes hacia sinergias de actividades colectivas y programas de adaptación ante el cambio climático?

Por último, consideramos, que los órganos de financiamiento a la ciencia y a la tecnología deben dirigir sus esfuerzos a subvencionar más investigación multidisciplinaria con el tema del turismo y el cambio climático. Las ciencias sociales tienen una nueva oportunidad porque implican nuevos diseños de investigación y métodos y teorías del comportamiento humano, y citando a Katz y Shapiro (1985), "*el hombre como glotón de satisfactores*", es una persona cada vez más nómada y móvil ante el fenómeno turístico, y retomando a Jafari (2005) los cambios en los estilos de vida y el deseo de mantener un cuerpo y una mente más sanos será la tendencia general en el turismo que atraviesa raza, genero, clase y edad. Lo interesante para nosotras fue basar nuestra reflexión y búsqueda de interpretación y análisis de un humano multidimensional, que tienen lugar de origen y de llegada marcado en la geografía de las identidades porque no es lo mismo analizar al hombre de los países nórdicos y al hombre de los países del sur cuyas huellas ecológicas y huellas de carbono están comprobadas en el impacto del consumo per cápita (Lacy, 2007), sabemos que países impactan más, sin embargo, observamos una clara tendencia en nuestro medio a la occidentalización (sobre todo a través del turismo) de los países del sur en la búsqueda de satisfactores y bienes de consumo suntuario. El fenómeno del cambio climático viene a poner en tela de juicio los estilos de vida que tendrán que ser modificados a favor del consumo responsable con la naturaleza. Este será la fuerza social del siglo XXI porque engloba la conciencia humana a la desaparición como especie más que lo que despertó a principios de la década de los setentas la teoría de la autodestrucción del turismo.

Literatura citada

Asociación de Hoteles de Cancún, 2008. Boletín Turístico de Cancún, 1(4): 2008.

Babinger, F., 2008. El Golf en España: Turismo, Nuevas Movilidades y Revitalización de Zonas Turísticas Consolidadas, en: Turismo Territorio, y Nuevas Movilidades, Taller Internacional, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

Balairon, L., 2006 El Cambio Climático. Interacciones entre los sistemas humanos y naturales, en Mitos y Realidades del Cambio Climático. *Revista del Instituto de Estudios Económicos,* (3 y 4):127-176.

Bell, D., 1991 El advenimiento de la sociedad postindustrial. Editorial Alianza, Madrid (primera edición 1973).

Campos, B., 2004. Procesos de Urbanización y Turismo en Playa del Carmen, Municipio de Solidaridad, Quintana Roo. Tesis doctoral, Faculdad de Filosofía y Letras, UNAM. México.

Castells, M., 1985. High Technology, Space and Society. *Urban Affairs Annual Reviews*, 28.

Ceballos-Lascurían, H., 1994. Estrategia Nacional de Ecoturismo. Secretaría de Turísmo, México, D.F.

Chávez, A., B. Soriano, y B. Ocadíz, 2009. El desarrollo del turismo y la economía de México. *TURyDES*, 2(6):1-10.

Clavé, A., y F. González Reverté, (coords.), 2007. A propósito del turismo. La construcción social del espacio turístico. Ediciones UOC, Barcelona.

Córdoba, J., 2009. Turismo, Desarrollo y Disneyzación. *Investigaciones Geográficas*, 70: 33-54.

Córdoba Lira, F., 2009 La Cultura de la sustentabilidad es una forma de vida, en Liderazgo. *Alto Nivel de los Negocios en Quinatana Roo*, 16: 8-11.

Duffy, R., 2008. Neoliberalising Nature? Ecotourism in Global Context. En: J. Córdoba (coord.). Turismo Territorio, y Nuevas Movilidades, Taller Internacional, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

EQUIPAR, 2007. Fonatur, Facilitador de la oferta turística. Cancún.

Fayos-Solá, E., y J. Jafari, 2009 Cambio Climático y Turismo: Realidad y Ficción. Universidad de Valencia, España.

Fraga, J., G. Villalobos, S. Doyon y A. García (Coord.), 2008. Decentralización y manejo ambiental. Gobernanza costera en México. PLaza y Valdes Editores, CINVESTAV-IPN Mérida, IRDC-CRDI, Univ. Autónoma de Campeche. 365 p.

Galindo, L., 2009 La economía del cambio climático en México. Semarnat, México.

Gay, C., 2010. Cambio Climático. Retos y Perspectivas. Rúbricas. *Revista de la Universidad Iberoamericana,* 1(0): 22-29.

Hiernaux-Nicolas, D., 2006. Geografía del turismo. En: D. Hiernaux, y A. Lindon, (Dirs.). Tratado de Geografía Humana, México, Antrophos-Universidad Autónoma Metropolitana.

IIJ-UNAM, 2008. Turismo Internacional de Playa y Cambio Climático en México. *Revista de la Facultad de Derecho de México*, LXIII (250): 358.

IPCC, 2007. Summary for policymakers, in Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I. In: Solomon, S.D., Qin, M. Manning, Zenhen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L: Miller (eds). Fourth Assessment Report of the Intergubernamental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, USA.

Jafari, J., 2005. El turismo como disciplina científica. *Política y Sociedad*, 40 (2): 39-56.

Jiménez Martínez, A., 2005. Desarrollo turístico y sustentabilidad. El caso de México, Miguel Angel Porrúa-Universidad del Caribe.

Kadt, E., 1991. Turismo: ¿Pasaporte al desarrollo?, Editorial, Ayuso, 2ª edición. México.

Katz, M., y C. Shapiro, 1985. Network externalities, Competition and Compatibility. *American Economic Review*, 75 (3): 424-440.

Khafash, L., 2009. Xel-Há, Imagen y producto del mercado ecoturístico en el Caribe Mexicano. Tesis para obtener el Diploma de Estudios Avanzados en la Universidad Complutense de Madrid, España.

Lacy, R., y Centro Mario Molina, 2007, Mitigación del Cambio Climático en México. wwwcentromariomolina.org (fecha de consulta 18 julio de 2009).

Lardeau, J., 2009. El cambio climático en el sector turístico. *Revista Liderazgo*. 16: 24-26.

Lawson, N., 2009. Una mirada fría al calentamiento global. Gota a gota ediciones, Madrid.

Lysaght, S., 2010. La Atracción de los opuestos, Rúbricas. *Revista de la Universidad Iberoamericana de Puebla,* 1: 33.

MBJ (Municipio Benito Juárez), 2005. Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de la Ciudad de Cancún. Gaceta Oficial, marzo del 2005. Cancún.

Martín Vide, J., 2006. Un decalogo del cambio climático. Mitos y realidades del cambio climático. *Revista del Instituto de Estudios Económicos,* 3 y 4: 3-23.

Martínez, J., y A. Fernández (comps), 2004. Cambio Climático: Una visión desde México: Instituto Nacional de Ecología, México.

Matos, H., 2007. Turismo especializado. http://www.hosteltur.com (fecha de la consulta mayo, 22 del 2008).

Ortiz, B., 2010. Cambio climático y conocimiento alternativo. *Revista de la Universidad Iberoamericana de Puebla*, 1: 8-15.

Sánchez, F., 1997. Globalización y reestructuración energética en América Latina. En: J. Jardón (ed.), Los Procesos de Regulación en Energía y Medio Ambiente. Editorial Porrúa, México.

Santana, A. 2003. Mirando culturas: La antropología del turismo. p. 103-125. En: A. Rubio (ed.) Sociología del Turismo. Ariel, Barcelona.

Secall, R., R. Fuentes, M. Martín, 2006. La estructura de los mercados turísticos específicos. En: E. Torres (coord.) Estructura de los mercados turísticos. UOC, Barcelona, España.

Servin, J., 2010. Oasis of the Seas. *Luxe & Class Magazine*, 80, abril-junio.

Semarnat, 2008. ¿Y el medio ambiente? Problemas en México y en el mundo. México, DF.

Semarnat, 2009a. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. México, D.F.

Semarnat, 2009b. Cambio Climático, Ciencia, Evidencia y Acciones. México, DF.

Sharpley, R., y D. Telfer, 2002. Aspects of Tourism and Development. Concepts and Issues. Channel View Publications, Sidney.

Smith, V., y M. Brent (eds.), 2001. Host and Guest Revisited: Tourism issues in the 21st Century (Tourism Dynamics). Cognizant Communication Corporation, New York.

Stern, N., 2007. The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press.

Torres, R., y J. Momsem, 2005. Gringolandia: The construction of a new tourist space in México. *Annals of the Association of the American Geographers*, 95: 314-335.

Urry, J., 1996. The tourist gaze. Sage, London.

Villaseñor, A., 2006. Los megaproyectos de transporte y su rol en la conformación del espacio turístico en la Riviera Maya. *Caos Conciencia*, 1: 59-67.

Wood, R., 2004. Cruise Ships: Deterritorialized Tourism. p. 133-146. En: L. Lumsdon, and S. Page (eds.), Tourism and Transport. Elsevier, Oxford.

WTO-WMO-UNAP, 2008. Climate Change and Tourism. Responding to global change. Madrid.

Sitios visitados:

http://varaix.mit.tur.cu/tcsc/LibroWeb/Webturismo/Capitulo%2009/actualperpectParks.htm

http://www.cancunlahistoria.org/cancun/fonatur_fechas.html

http:www.sectur.gob.mx/work/sites/sectur/resources/LocalContent/13581/1/ALFONSO_DE_J.JIMENEZ-PRICILA_SOSA.pdf

http://www.gestionturistica.cl/publicaciones/revistas/pdf/3_4.pdf

http://www.uvm.cl/csonline/2007_2/pdf/cervantes-gomez.pdf

http://209.85.129.132/search?q=cache:lGiWQyJrmSsJ:www.sectur.gob.mx/work/sites/sectur/resources/LocalContent/13581/1/VC_Patricia%2520Salcedo_Ulsa.pdf+etapas+del+turismo+en+mexico+publicaciones+tesis+doctorado&hl=es&ct=clnk&cd=12

Secretaría de la Presidencia, 2007. Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. http:// pnd.calderon.presidencia.gob.mx/index.php?page=turismo.

Sectur, 2007 . Programa Nacional de Turismo 2001-2006. http://www.sectur.gob.mx/wb2/sectur/wb2/sectur/sect_767_capitulo_1.

Treviño Trujillo, J., J.C. Rolon Aguilar y R. Pichardo Ramírez, 2010. Las vías de comunicación y el transporte ante las amenazas del cambio climático y su impacto en el desarrollo regional de México. p. 407-420. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Las vías de comunicación y el transporte ante las amenazas del cambio climático y su impacto en el desarrollo regional de México

Juana Treviño Trujillo, Julio César Rolon Aguilar y Roberto Pichardo Ramírez

Resumen

Los efectos del cambio climático en México y en el mundo son indiscutibles. Diferentes organismos e instituciones en todo el mundo se han unido para estudiar y discutir causas, efectos y posibles soluciones para detener y mitigar el impacto del cambio climático, así como para encontrar las mejores alternativas de adaptación. Uno de los sectores vulnerable ante estos efectos es el de las vías de comunicación y transportes que se han visto amenazadas por precipitaciones extremas, huracanes e inundaciones, generando altos costos de mantenimiento y rehabilitación en carreteras e impactando directamente al desarrollo regional. El contenido de este documento pretende revisar la situación actual de las vías de comunicación en México y de los desarrollos costeros, de manera que se incluyen algunos de los resultados del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) sobre este sector y experiencias de carreteras costeras en el Golfo de México.

Introducción

Las evidencias del cambio climático en México y en el mundo son indiscutibles. Las emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles han originado en las últimas décadas lo que conocemos como cambio climático que se traduce en cambios en la temperatura, elevación en el nivel del mar, precipitaciones atípicas, severas sequías e inundaciones. El impacto principal que produce el cambio climático es en los sistemas naturales como los ecosistemas y biodiversidad, que a su vez genera un impacto en la humanidad, que puede ir desde falta de recurso hidráulico, vulnerabilidad en los asentamientos humanos, hasta problemas de salud y desabasto.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) advierte que de acelerar o mantener las emisiones actuales de gases de efecto invernadero, el promedio mundial de las temperaturas de la superficie aumentará de 1.8 a 4.0 grados centígrados para finales del siglo XXI.

La adaptación ante el cambio climático es urgente y deberá ser regida por políticas públicas y de desarrollo socio-económico implementadas por nuestro gobierno que coadyuvaran a mitigar los impactos del calentamiento global (www.greenpeace.org.mx).

El desarrollo regional se puede traducir como el mejoramiento en la calidad de vida de los habitantes de un lugar. Empleo, vivienda, educación, economía, etc., es hablar de turismo, desarrollo industrial, costero, portuario, en su caso. Sin embargo, nada de esto es posible sin vías de comunicación en buen estado, bien planeadas y estratégicamente interconectadas.

En el mundo actual, caracterizado por la globalización y la apertura de mercados, los transportes carretero, marítimo, ferroviario, aéreo y multimodal, son elementos clave para elevar la competitividad de las naciones (Rascón, 2004).

Por lo que identificar al transporte como un factor clave para elevar la competitividad entre regiones, ratifica la importancia del papel que juegan las vías de comunicación en el desarrollo de una región.

Acceder a los mercados "justo a tiempo", "con calidad total" y "bajos costos" son condiciones indispensables para el crecimiento social y económico de México. Por eso, la logística y las redes uni y multimodales de transporte, son elementos estratégicos para elevar la competitividad del país. En la actualidad los costos logísticos[1] (transporte, almacenamiento, inventarios y gestión de la cadena) son muy elevados.

El sector turismo, regiones completas y muy particularmente las regiones costeras se podrán ver seriamente afectadas, como una consecuencia en la afectación de autopistas, carreteras federales, cierre de puertos y pistas de aterrizaje, inclusive hasta caminos vecinales, interrumpiendo así la logística en el transporte y provocando un impacto en la cadena de abastos de alimentos, medicinas y artículos de primera necesidad. Por lo que en este capítulo y en un marco concep-

[1] El transporte representa cerca de la mitad de los costos logísticos. En México, los costos logísticos añaden en promedio 19% al costo del producto. En los países de la OECD la logística adiciona sólo el 9% al costo de la producción.

tual se revisará el estatus de las vías de comunicación y transportes en México, su comportamiento ante los efectos del cambio climático y su influencia en el desarrollo regional.

Estado del arte

Situación actual de las carreteras en México

En México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) es la responsable del desarrollo de la infraestructura carretera, desde su construcción, conservación, modernización y ampliación.

Como parte de su misión la SCT se encamina hacia elevar la cobertura, calidad y competitividad de su infraestructura carretera, con la meta de convertirse en una de las principales plataformas logísticas del mundo, aprovechando la posición geográfica de nuestro País.

En México, la red carretera nacional representa la columna vertebral del sistema de transporte, esto debido a los movimientos de carga nacional y movilización de pasajeros que se dan por este modo (figura 1).

El patrimonio vial de México se clasifica de la siguiente manera:

- Red federal
- Red alimentadora
- Red rural

La red federal está a cargo directamente de la SCT, la red alimentadora y la red rural están a cargo de los estados con intervención de la SCT (figura 2).

De acuerdo a datos obtenidos de la SCT, los montos de inversión en infraestructura carretera son del 2% del Producto Interno Bruto (PIB), en comparación con Chile que invierte más del doble, mientras que China destina un 9% del PIB.

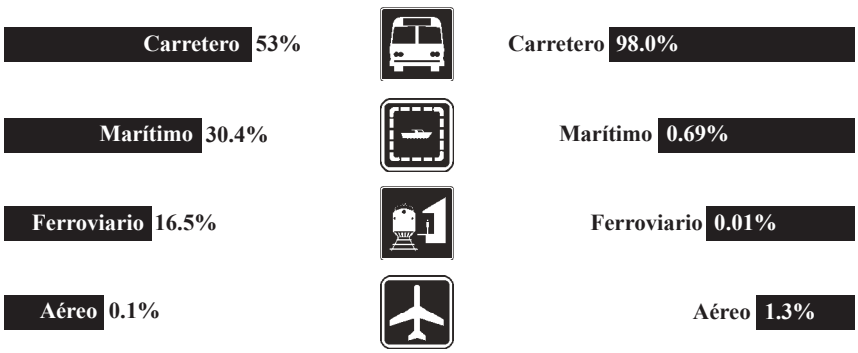


Figura 1. Movimientos de carga y pasajeros en México.
Fuente: El sector carretero 2009 SCT-México.

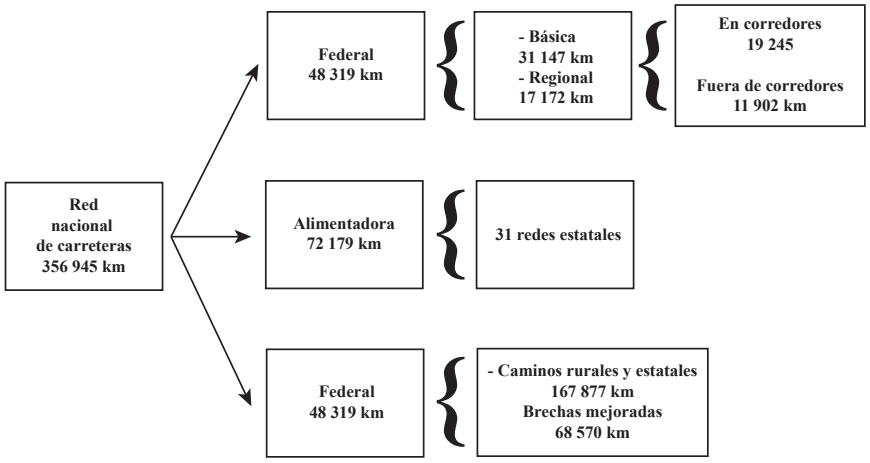


Figura 2. Clasificación de la red nacional de carreteras en México.
Fuente: El sector carretero 2009 SCT-México.

La inversión carretera se apoya en recursos de las siguientes fuentes:

- Presupuesto general del estado
- Peajes en autopistas de cuota
- Impuesto en combustible que se carga a usuarios

Los pocos recursos disponibles han obligado a la SCT a implementar esfuerzos sistemáticos con el fin de contar con montos para los desarrollos carreteros que demanda el país.

La SCT maneja tres modelos de asociación público-privada con los que busca principalmente: el incremento de inversión, elevar la calidad del servicio a usuarios, abrir nuevos espacios de participación para la iniciativa privada, entre otros.

La tabla 1 muestra las estrategias y metas de acuerdo al Programa Nacional de Infraestructura que el sector de comunicaciones y transportes contempla para el 2007-2012.

Corredores troncales nacionales

De la red nacional de carreteras en México según la SCT de 356 945 km, aproximadamente un 21% corresponde a carreteras costeras o muy cerca de ella. Se considera también que la mayor parte del territorio nacional está cubierta por 14 principales ejes corredores troncales con una longitud total de 19 245 km que representan 62% la red básica nacional, algunos de ellos incluyen ramales de gran importancia. Estos corredores comunican a las principales zonas de producción industrial y agropecuaria, así como los centros urbanos y turísticos más importantes de México (figura 3).

Tabla 1. Estrategias y metas del Programa Nacional de Infraestructura 2007 - 2012.

Estrategias	Metas
Modernización de los corredores troncales que comunican a las proncipales ciudades, puertos, fronteras y centor turísticos del país.	Construir o modernizar 17 598 km de carreteras y caminos rurales, incluyendo la terminación de 100 proyectos carreteros completos.
Desarrollar ejes inter-regionales que mejoren la comunicación y la conectividad de la red carretera.	Incrementar de 78% a 90% la red carretera federal que opera en buenas condiciones conforme a estándares internacionales.
Construcción de libramientos y accesos para facilitar la continuidad del flujo vehicular.	Reducir el índice de accidentes de 0.47 a 0.25 por cada millón de vehículos/km.
Mejorar el estado físico de la infraestructura carretera y reducir el índice de accidentes.	

Figura 3. Regiones de infraestructura carretera en México.
Fuente: El sector carretero 2009 SCT-México.

Principales corredores del sistema carretero nacional

Longitudinales

1. Transpeninsular de Baja California:
2. México-Nogales con ramal a Tijuana.
3. Querétaro-Ciudad Juárez.
4. México-Nuevo Laredo con ramal a Piedras Negras.
5. Veracruz-Monterrey con ramal a Matamoros.
6. Puebla-Oaxaca-Ciudad Hidalgo.
7. México-Puebla-Progreso.
8. Peninsular de Yucatán.

Transversales

1. Mazatlán-Matamoros.
2. Manzanillo-Tampico con ramales a Lázaro Cárdenas.
3. Altiplano.
4. México-Tuxpam.
5. Acapulco-Veracruz.
6. Circuito-Transístmico.

Situación del sector de vías de comunicaciones y transportes ante la ONU

En la Tercera Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, celebrada en la ciudad de México en el año 2006 considera para el sector de vías de comunicaciones y transportes lo reportado en la figura 4.

Es importante destacar que en las acciones de adaptación y mitigación del impacto del cambio climático que resulta de esta Tercera Comunicación Nacional, sería conveniente considerar a las carreteras costeras como base fundamental para el desarrollo regional y darles el tratamiento necesario ante las amenazas de los eventos extremos a los que están expuestas.

Contar con una red carretera moderna, segura, con capacidad de servicio, con rutas que permitan tiempos de recorrido más competitivos para transporte de personas y productos, será el principal detonante del potencial turístico, pesquero, portuario, industrial y comercial de una región. Motivo por el cual es de suma importancia revisar los trazos y diseños de las carreteras costeras y adaptarlos al cambio climático bajo criterios de diagnóstico y caracterización regional.

Según (Jiménez, 2007) en muchas áreas del mundo existen planicies costeras que son vulnerables tanto a la erosión como a la inundación, debido a la acción del mar. Esto, acoplado con un incremento gradual del nivel del mar debido al calentamiento global, ha resultado en un incremento en las líneas de costa que sufren erosión alrededor del mundo. Además, las perspectivas en la aceleración del incremento del nivel del mar y los cambios en frecuencia y

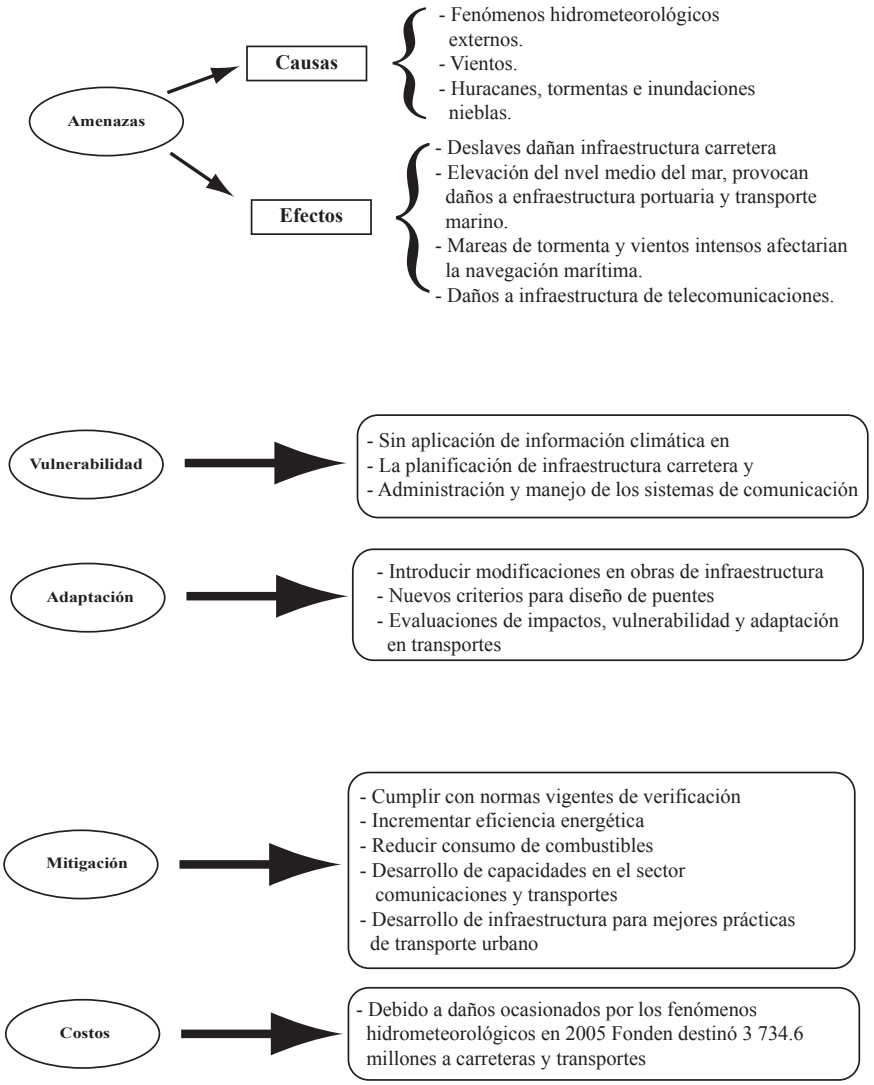


Figura 4. Amenazas y acciones consideradas en la Tercera Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Ciudad de México 2006.

dirección de las tormentas presentan un alto riesgo e incertidumbre cuando se trata de considerar los escenarios más apropiados en el diseño de estructuras costeras.

Esto nos permite reflexionar que a nivel nacional se adolece de documentos técnicos que se centren en el diseño y planeación de caminos y puentes en el medio ambiente costero. La SCT se apoya en el Instituto Mexicano del Transporte y en investigaciones realizadas por académicos de diferentes instituciones y universidades del país.

En Estados Unidos la Administración Federal de Carreteras (FHWA, por sus siglas en ingles), se apoyan en el documento HEC 25[2], que es el que sirve de orientación para el análisis, la planificación, diseño y operación de las carreteras en el medio costero marino. Este documento está enfocado a carreteras cercanas a la costa, que son las más vulnerables ante los huracanes y a los efectos de mareas y oleaje. Uno de los alcances de este manual es la integración de los principios de la ingeniería de costas y buenas prácticas en planificación y diseño de las carreteras costeras, manejo de experiencias y conceptos como erosión, elevación del nivel de mareas, transporte de litoral, etc. La aplicación de los criterios de este manual son validos para el desarrollo costero de cualquier región, por lo que es común que estudios realizados en México hagan referencia a este documento.

La falta de recursos humanos vinculados con la planeación, instrumentación, operación y control de un desarrollo costero integral sobre principios de sustentabilidad, es otro factor que se identifica como débil en la atención a ésta disciplina. Las instituciones académicas a nivel nacional ofrecen aproximadamente 38 programas de licenciatura que están directamente relacionados con ese tema, sin contar los programas de posgrado, aunque no son precisamente los más demandados. Opina López en su artículo de la Revista Noticias que publica trimestralmente la AIMP que el sector público ha reducido considerablemente la demanda de personal especializado, también comenta la intervención del Subsecretario de Infraestructura de la SCT, Ing. De Buen Richkarday en Congreso de Ingeniería Civil del 2007, donde menciona que *"es urgente la formación y consolidación de la ingeniería mexicana tanto dentro como fuera de la SCT para afrontar las necesidades de infraestructura requeridas por el País".* Observa De Buen como preocupante la situación actual del personal que labora para la SCT, que de no atenderse y analizarse en este momento, se carecerá a futuro de personal calificado para atender la infraestructura del País.

Planeación del desarrollo en las zonas costeras

De acuerdo a López (2008b), la planeación y desarrollo de la infraestructura en zonas costeras requiere de:

- Información con razonable validez estadística, que permita determinar la importancia relativa de los distintos componentes del sistema costero.
- Conocimientos teórico prácticos sobre la interpretación de tal información y su manejo, para determinar las distintas estrategias de desarrollo
- Identificación, grado de compatibilización de las opciones de desarrollo y jerarquización de las mismas.
- Definición y calificación de la relación sustentabilidad-beneficios de los desarrollos propuestos

[2] Corresponde al Manual de Carreteras en el Medio Costero (Highways in the Coastal Environment: Second Edition).

- Participación de un buen número de especialistas en materia del manejo y administración de las zonas costeras

Es incuestionable que, si hay una profesión que tiene la preparación básica para la planeación, la instrumentación, el desarrollo y la administración de proyectos de aprovechamiento sustentable de las costas, ésa es la ingeniería civil, afirma López (2008b), debido a que maneja conceptos como:

- Estudio de los factores oceanográficos y meteorológicos, fluviales, de dinámica costera, morfología, entre otros.
- Estudios topobatimétricos, de ingeniería de costas e hidráulica marítima y fluvial; uso de modelos físicos y matemáticos para simulación de fenómenos costeros. Análisis de dinámica de estuarios y lagunas costeras. Rompeolas, espigones, muros de protección, dragados, restauración de playas. Estudios de riesgo e impacto ambiental. Mecánica de suelos.
- Administración de proyectos costeros de diversa índole con sistemas convencionales de evaluación, monitoreo y actualización de los mismos.

Experiencias

Carretera costera de Campeche

En estudio realizado por López (2007) y presentado en la revista Noticias de la AMIP sobre la carretera costera Campeche-Cd. del Carmen, se observa que en general, existen tramos que por diversas circunstancias, principalmente por un mal manejo de la arena que se acumulaba sobre la carretera en época de "Nortes" que era removida fuera de la parte playera y que, sumados a la falta de aportes terrígenos resultaban en un balance desfavorable comparado con la capacidad de transporte. Provocando así, interrupciones en ésta vía, por lo que se planteo la construcción de un arrecife artificial como obra de reconstrucción y preservación de playas.

De acuerdo a López la propuesta del arrecife artificial fue con elementos de concretos para coraza de nueva generación llamados *core-loc,* desarrollados y patentados por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos desde 1996. Esta es la primera experiencia mexicana en el uso de estos elementos como arrecifes artificiales, en la cual se necesitaba proteger en contra de la acción del oleaje, inicialmente la zona comprendida entre los kilómetros 108+800 y 107+800, de la autopista Campeche-Ciudad del Carmen.

En este orden de ideas, el uso de arrecifes artificiales debe, en la medida de lo posible, observar que sus elementos constitutivos presenten condiciones de comportamiento estructural que le permitan cumplir con la misma función protectora de las formaciones naturales y de igual manera, sus características físicas e hidrodinámicas, guarden una similitud razonable que propicien el desarrollo de las actividades recreativas mencionadas.

Para el caso mexicano, la solución integral al problema de erosión de playas por efectos, de los huracanes que como en el caso del Caribe provocan este fenómeno y en general, en cualquier playa que sume el interés turístico, debe considerar la importancia que tiene para el desarrollo una pronta y eficaz solución al problema, en la que, por las razones señaladas, es recomendable "acelerar" el proceso de depósitos de arena mediante la aportación de material proveniente de otros sitios.

En casos extremos y debidamente estudiados es posible la reubicación de las carreteras en respuesta a la erosión costera. Históricamente en Estados Unidos algunas carreteras costeras han sido abandonadas debido a lo incosteable que resulta el control de erosión y transporte de litoral. La ingeniería de costas cuenta con opciones para la estabilización de costas que se puede considerar cuando una carretera se ve amenazada por la erosión, bajo la condición de que se cumpla con una planificación y ordenamiento del territorio. La elevación de las carreteras costeras y puentes pueden ser manipulados para evitar los efectos del oleaje y vientos en eventos extremos. Por ejemplo, los puentes que fueron destruidos por los huracanes Iván y Katrina en el estado de Louisiana en los Estados Unidos, están siendo reconstruidos ahora en elevaciones superiores.

Imagen de tramo de carretera
Campeche-Ciudad del Carmen en 2007.
Fuente: Centro SCT-Campeche.

Imagen de tramo de la playa de Campeche
colocando el *Core-loc*.
Fuente: Centro SCT-Campeche.

Carretera costera de Tamaulipas

Como resultado de aforos realizados por la SCT en Tamaulipas, y para fines del proyecto apoyado por FOMIX TAMPS-2005-CO8-12 se tiene el movimiento de automotores en promedio anual (figura 5).

Se identifican dos zonas estratégicas para el desplazamiento de los vehículos en la región costera del estado de Tamaulipas. La zona de Matamoros con un movimiento de 52 237 y Altamira con 63 641**,** en esencia los dos extremos de la zona de estudio representan puntos fundamentales por lo que de manera preliminar, se detecta que el fortalecimiento o inicio de las obras de la carretera deberá tomar en cuenta el rol de esas zonas de desplazamiento.

Es decir, la construcción de una nueva carretera podría iniciarse a partir de los extremos y continuar con las partes centrales, teniendo en consideración que San Fernando representa el tercer segmento de gran afluencia, con un movimiento anual de 28 128 automotores.

Uno de los objetivos a nivel estatal es integrar una nueva ruta entre Matamoros y Tampico, que además de comunicar a Estados Unidos con Veracruz a través de la costa tamaulipeca detone diversas zonas de la costa del estado destinadas para uso turístico, que actualmente cuentan con caminos muy limitados o en algunos casos nulos al acceso. La *carretera intracostera* como se le conocerá, deberá considerar las posibles repercusiones que se puedan presentar con la relación entre ella y la vialidad urbano-turística de los sitios identificados a desarrollar.

La ruta prevista se apoya no solo en impulsar el desarrollo económico de las diversas regiones que cruza y enlaza sino en la propuesta de una vía moderna, con altas especificaciones de diseño para trasladarse a mayor velocidad, seguridad, menor distancia, tiempo, reducir accidentes

Figura 5. Zonas estratégicas en desplazamiento de vehículos
. Fuente: Proyecto FOMIX TAMPS-2005-CO8-12 Desarrollo de la red carretera de la costa Tamaulipeca.

y que presente una capacidad de carga para permitir el tránsito de vehículos de carga pesada.

En este proyecto se derivan cuatro alternativas técnicas para el mejor trazo de la *carretera intracostera,* mismas que son analizadas por el grupo de trabajo del Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller" de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

En síntesis, en el *Análisis y Definición de Estrategias para el Desarrollo de la Red Carretera de la Costa Tamaulipeca* [3] dirigido por Sergio Jiménez, por estación de aforo y por municipio reflejan la importancia que tienen los extremos del tramo carretero, situación que proporciona un elemento concreto para apoyar le decisión sobre el enfoque en la construcción de una nueva vialidad y/o remodelación de la actual carretera y evidencia, a su vez, sobre la viabilidad de realizar dicho proceso a través de distintas fases.

Para el análisis final y definitivo del trazo carretero se programa un análisis multiobjetivos de cada alternativa propuesta bajo el marco de referencia de las recomendaciones y premisas, a continuación se mencionan algunas de ellas.

1. Usos actuales y proyectados de las zonas costeras y sus interacciones.
2. Ordenamiento de las zonas costeras.
3. Adoptar enfoques preventivos y precautorios en la planificación y la ejecución de proyectos, de forma que incluyan la evaluación previa y la observación sistemática de los efectos ambientales de los grandes proyectos.
4. Promover el desarrollo y la aplicación de métodos, que reflejen los cambios de valor resultantes de los distintos usos de las zonas costeras y las zonas marinas, teniendo en cuenta la contaminación, la erosión marina, la pérdida de recursos y la destrucción del hábitat.
5. Regirse por estrategias de la normativa ambiental vigente.
6. Establecer mecanismos de financiamiento a largo plazo de los procesos de ordenamiento integral de las zonas costeras.
7. Promover y facilitar la capacitación y educación en materia de ordenamiento integral y desarrollo sostenible de las zonas costeras, dirigidas principalmente a científicos, técnicos, administradores, políticos y usuarios.
8. Aumentar la capacidad institucional de las instancias gubernamentales nacionales, subregionales y regionales, fortaleciendo sus capacidades en conocimiento e infraestructura.
9. Elaborar y poner en práctica una planificación estratégica y una gestión integrada de las zonas costeras, en particular.
10. Definición de objetivos de acción adecuados a las costas y a sus recursos a fin de orien-

[3] En 2003 se construye el corredor urbano Madero-Altamira, más que con fines turísticos, atendiendo principalmente a una fuerte demanda de transporte pesado, con cargas de combustibles de la Refinería Madero al Puerto Industrial de Altamira. En 2005 se amplía esta vía por la costa hasta llegar a la Barra del Tordo en el municipio de Aldama, Tamaulipas. Sin embargo, estas decisiones han sido tomadas para cubrir una necesidad y no dando seguimiento a un plan de desarrollo.

tar y de coordinar mejor las estrategias y planes consagrados a las zonas costeras por los poderes públicos a los niveles nacional, regional y local

11. Que se refuerce la integración y la armonización de las políticas sectoriales que influyen en la gestión de las zonas costeras y en la utilización de los recursos".
12. Establecer normas nacionales de medio ambiente para las zonas costeras y aplicarse de manera apropiada
13. La construcción de estructuras de protección en las playas y la protección del hábitat.

Estas son algunas de las recomendaciones que surgen de este proyecto, sin embargo son aplicables a cualquier proyecto de infraestructura costera y sin dejar de considerar la imperante necesidad de construir capacidades de adaptación frente impactos del cambio climático. Esto dependerá de decisiones consensadas y de forma multidisciplinaria con todos los actores involucrados, que determinen hoy en los campos tecnológico, social, económico y ambiental; en el uso de herramientas de pronóstico climático que permitan planear con precisión y en el desarrollo de acciones preventivas ante eventos extremos

Conclusiones

En materia de transporte y competitividad, en el siglo XXI, la viabilidad económica de las naciones dejará de sustentarse únicamente sobre sus ventajas comparativas o heredadas, como son los recursos naturales, yacimientos, suelos fértiles, entre otros. Los gobiernos están obligados a generar ventajas competitivas que es igual a innovación y creación social, como por ejemplo:

- Infraestructura y tecnología.
- Estructura productiva.
- Alta calidad.
- Educación e investigación científica.
- Logística.

Como principales elementos para mejorar la competitividad en el sector transporte, será conveniente implementar:

- Integración de los modos de transporte.
- Desarrollo de corredores multimodales.
- Desarrollo de la plataforma logística nacional (infraestructura y redes).
- Tecnologías de información y de distribución mercancías.
- Gestión de la cadena de suministro.

En este contexto, y con el fin de posicionar a nuestro país en un nivel competitivo, es necesario actuar y aplicar políticas públicas que favorezcan al desarrollo regional de una forma ordenada y sustentable.

El gobierno deberá actuar desde una política forestal, hasta la racionalización del transporte, apoyará a la investigación científica y programas de seguimiento sobre el cambio climático, así como programas de educación y cultura medioambiental.

Será relevante la planificación urbana de nuestras ciudades y la toma de decisiones del uso de suelo, como la ubicación de centros de trabajo, residenciales y de recreo, ya que condicionan las necesidades de otros sectores como el transporte y la movilidad. Por consiguiente para una planificación territorial costera sustentable es importante contar con:

- Manejo integral de las zonas costeras.
- Seguir un plan de ordenamiento territorial.
- Contar con zonas de amortiguamiento para inundaciones.
- Ejercer la legislación jurídica correspondiente.

Recomendaciones

Una selección idónea para la realización de un desarrollo carretero costero deberá obedecer los siguientes aspectos:

- Garantizar un flujo vehicular dependiendo las necesidades de la región.
- Contar con un instrumentos de planeación firmado entre autoridades federales, estatales y municipales que sirvan como un Ordenamiento Ecológico de la Región (OER).
- Impulsar el desarrollo económico de la región, dando apertura a proyectos de bajo impacto ambiental, apegados a los criterios que marque el (OER).
- Realizar análisis de vulnerabilidad y riesgo.
- Atender la reubicación de asentamientos humanos bajo un reordenamiento territorial.
- Considerar obras para el control de erosión.

Literatura citada

Douglass, S., y J. Krolak, 2008. Highways in the Coastal Environment. 2nd Edition. FHWA.

Jiménez, S., 2007. Análisis y definición de estrategias para el desarrollo de la red carretera de la costa Tamaulipeca. TAMPS-2005-CO8-12. Fondos Mixtos Tamaulipas. Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller".

http://dc.sct.gob.mx. El sector carretero en México 2009. Abril 2009.

http://www.alertatierrz.com/CambC-efectos. El cambio climático y sus efectos. Mayo 2007.

http://www.greenpeace.org.mx. Del cambio climático al desastre turístico. Enero 2009.

INE, Semarnat, CCA-UNAM, ONU, 2006. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, celebrada en la ciudad de México en el año 2006.

López, H., 2008, Arrecifes artificiales como obras de reconstrucción y preservación de playas. Noticias AMIP. http: //www.amip.org.mx

López, H., 2008b. Planeación de la Infraestructura Costera Mexicana. Noticias AMIP. http: //www.amip.org.mx

Presidencia de la República México., 2007. Plan Nacional de Desarrollo. Sistema Internet de la Presidencia 2007.

Rascón, O., 2004. El Transporte. Factor clave para elevar la competitividad en México. Ponencia presentada en el 30 aniversario del Posgrado en la UAT. Tampico, Tamaulipas.

Herrera-Silveira, J.A., A. Zaldivar-Jimenez, C. Teutli-Hernandez, R. Pérez-Ceballos y J. Caamal-Sosa, 2010. Los manglares de Yucatán y el cambio climático global, p. 421-436. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual, y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Los manglares de Yucatán y el cambio climático global

Jorge A. Herrera-Silveira, Arturo Zaldivar-Jimenez, Claudia Teutli-Hernandez, Rosela Pérez-Ceballos y Juan Caamal-Sosa

Resumen

El Cambio Climático Global (CCG) con sus manifestaciones en el incremento de la temperatura ambiente, concentración de CO_2, cambios en los patrones de precipitación, incremento en la frecuencia de huracanes más intensos y el incremento del nivel medio del mar; combinado con los efectos antrópicos tiene influencia sobre la resiliencia de los manglares. En este apartado se realizará un análisis de los potenciales efectos del CCG sobre los manglares de Yucatán con base a las características ambientales hidrogeológicas de la región y a los factores antrópicos que ejercen presión sobre ellos. La caracterización y monitoreo de los efectos en la zona costera del incremento del nivel medio del mar, así como la implementación de medidas de mitigación y adaptación deben de ser acciones de atención prioritaria.

Consideraciones generales

En el paisaje de la zona costera subtropical y tropical los manglares se distribuyen como resultado de la combinación de procesos geomorfológicos e hidrológicos, los cuales determinan los tipos ecológicos de manglar y controlan a nivel local aspectos del hábitat como son la composición de especies, la zonación y el crecimiento entre otros (Twilley *et al.*, 1996).

Los ecosistemas de manglar están representados por vegetación de humedal arbustiva y arbórea dominante de la zona de mareas en las regiones tropicales y subtropicales (Tomlinson, 1986). Poseen características particulares que los identifican de otras especies, así como mecanismos fisiológicos que les permiten resistir y crecer en ambientes total o parcialmente inundados, salinos, alcanzando su máximo desarrollo en condiciones estuarinas.

Los ecosistemas de manglar marcan la transición entre el mar y la tierra, y son parte de un grupo de ecosistemas interconectados ecológicamente a través de la hidrología, cumpliendo funciones ecológicas importantes en la integridad de la zona costera (figura 1). Los manglares tienen una alta capacidad de proveer bienes y servicios, tales como protección y estabilización de la línea de costa ante la acción erosiva del mar y perturbaciones naturales como tormentas y huracanes. Los manglares tienen numerosos usos antrópicos e industriales, los cuales han tenido como consecuencia en algunos casos daños irreversibles de difícil cuantificación y con repercusiones ambientales negativas (Field, 1995).

De las 508 193 ha de manglar existentes en el Golfo de México y el Caribe mexicano, en la península de Yucatán se localizan 423 751 ha (Conabio, 2009). En el estado de Yucatán se distribuyen en una franja paralela a la línea de costa y su cobertura estimada como bosques de

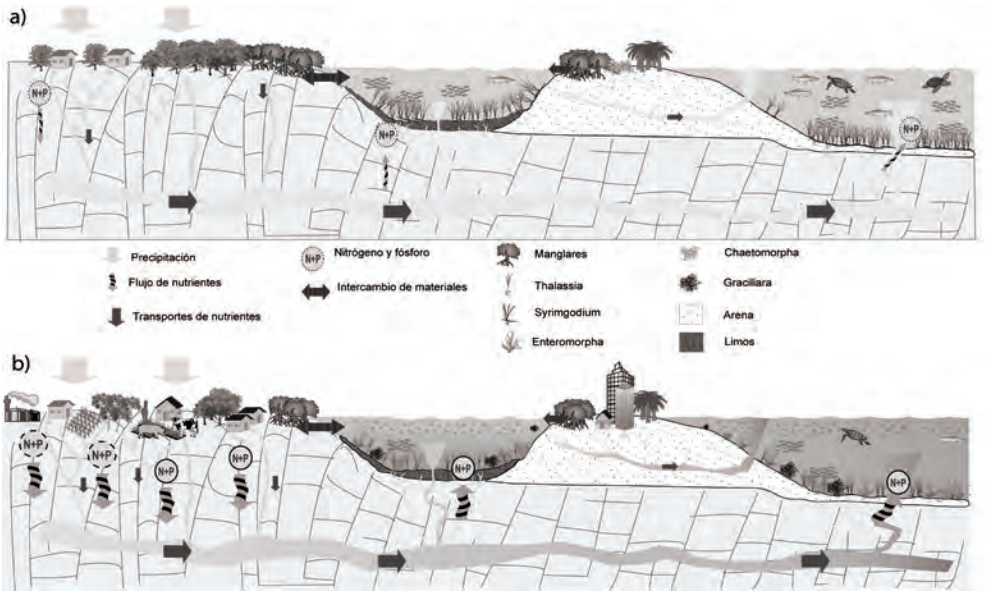


Figura 1. Modelo esquemático de un perfil costero que representando los ecosistemas y su conectividad (a); y como el desarrollo antrópico reduce la cobertura de manglares con sus consecuencias en la pérdida de servicios ecológicos que los manglares proporcionan (b).

manglar es de 73 893 ha (tabla 1) de las cuales 77% se encuentran bajo el régimen de protección de Área Natural Protegida (ANP). Para el caso de los manglares comprendidos entre Puerto Progreso y Dzidzantún fueron recientemente decretados como reserva estatal, sin embargo aún no cuentan con un plan de manejo (Gobierno del estado de Yucatán, 2010). La tasa de pérdida anual de la superficie de manglar entre los años de 1976 y 2000 para México se sitúa entre 1% y 2.5 %, en el caso de los manglares de Yucatán se estima una tasa de pérdida anual de 1.84 comprendida durante el mismo periodo de tiempo (INE, 2005). Para el caso del estado de Yucatán, las diferencias entre las coberturas estimadas por Conabio (2009) y Herrera *et al.* se deben principalmente a los impactos por el Huracán Isidor, lo que significo un impacto en casi el 30% de la superficie de manglar del estado.

En México las fuentes de deterioro son muy variadas y dependen de cada región, estado y municipio. Las perturbaciones principales son la construcción de infraestructura turística, sustitución por campos de cultivo y áreas para la ganadería extensiva, camaronicultura, asentamientos humanos y actividad petrolera (INE, 2005). Sin embargo, a estas fuentes de impacto hay que agregarle un proceso de escala mundial que está ejerciendo presión en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas costeros y en especial a los de manglar, el cambio climático global (CCG).

El CCG es reconocido como una amenaza muy importante para la supervivencia de las especies e integridad de los ecosistemas, observándose en la literatura que los cambios hidrológicos y en la temperatura por el CCG han crecido considerablemente a nivel mundial (Erwin, 2009),

Tabla 1. De las 615 202 ha para el Golfo de México y el Caribe, en la península de Yucatán se localizan 341 835 ha (Conabio, 2008). En Yucatán la cobertura de manglar es de 73 893 ha, la mayoría están bajo un régimen de protección.

Municipios costeros	Cobertura manglares (ha)	Distribución municipal (%)	Régimen de protección
Celestún	19 437	26	ANP federal
Hunucmá (Sisal)	7 395	10	ANP estatal
Progreso	9 811	13	ANP estatal
Ixil	836	1	ANP estatal
Dzemul	2 525	3	ANP estatal
Telchac Puerto	1 419	2	ANP estatal
Sinanché	953	1	ANP estatal
Yobaín	598	1	ANP estatal
Dzidzantún	1 028	1	ANP estatal
Dzilám de Bravo	13 939	19	ANP estatal
San Felipe	9 095	12	ANP federal
Río Lagartos	1 923	3	ANP federal
Tizimín (El Cuyo)	4 934	7	ANP federal
Total	**73 893**	**100**	

y maximizándose por los cambios de usos del suelo, haciendo más vulnerable las zonas costeras. Aunque el CCG es un proceso global, sus manifestaciones e impactos serán diferentes a nivel local y esto dependerá de la condición ecológica de los ecosistemas costeros, más el grado de planeación de los grandes desarrollos antrópicos hacia los cambios en el ambiente.

El CCG es sin duda unos de los desafíos más grandes que los seres humanos enfrentarán en este siglo. Independientemente de la magnitud de los cambios, se espera que con el CCG existan variaciones en los patrones de lluvias, incremento en la frecuencia de huracanes intensos, y uno de los más importantes para la región tropical, el incremento del nivel medio del mar. Aunque los registros geológicos indican cambios climáticos durante toda historia de la tierra, la tasa actual del calentamiento del planeta y el acelerado incremento del nivel medio del mar amenaza la estabilidad de los ecosistemas costeros. La línea costera es la primera que sentirá los efectos del incremento del nivel medio del mar, con todo y sus grandes ciudades. En el caso de los ecosistemas costeros, se reconoce a los manglares como uno de los más vulnerables a este incremento. Sin embargo, las buenas noticias son que no todos los litorales con bosques de manglar son proyectados para experimentar un aumento en el respectivo nivel del mar. En sitios donde las mareas experimentan aumento, islas, zonas costeras de topografía variables, y escaso aporte de sedimentos o materia orgánica que favorezca la acreción son especialmente vulnerables. Por el contrario, los ecosistemas costeros con suministro de sedimento y/o espacio de moverse hacia el interior, y baja topografía son los que se proyectan como los sitios que pueden sobrevivir a los incrementos estimados del nivel del mar.

Por otra parte, las especies de manglar han demostrado tener tolerancias diferentes a los cambios en el nivel del mar, la salinidad y las tormentas. Es por ello que para identificar cuales ecosistemas de manglar son capaces de sobrevivir al incremento del nivel medio del mar y a otros efectos del CCG, la investigación sobre la resiliencia y la vulnerabilidad de estos ecosistemas en diferentes escenarios ambientales es esencial para determinar las localidades que requieren una mayor atención en términos de protección y/o restauración. La generación de esta información técnica proveerá de elementos a los tomadores de decisión para definir las políticas y programas costeros de adaptabilidad y mitigación a los efectos del CCG.

Cambio climático global y manglares

Las condiciones y variaciones del clima afectan el funcionamiento, distribución, dimensiones y forma de los ecosistemas costeros, por lo que los efectos del CCG en estos, incluyen el aumento de nivel medio del mar, el incremento de temperatura, los cambios en la distribución de precipitación y aporte de agua dulce, así como en la frecuencia e intensidad de huracanes y tormentas, todo operando en un amplio intervalo de escalas temporales y espaciales. Los efectos del CCG pueden agravarse como consecuencia de las interacciones con otras actividades humanas en regiones costeras (Woodroffe, 1995; Pont *et al.,* 2002; Scavia *et al.,* 2002). El desarrollo costero mal planeado tiene sus consecuencias en reducir la capacidad de resiliencia de los ecosistemas de manglar frente al CCG.

Los cambios esperados en los humedales costeros debidos al CCG incluyen incremento de eventos extremos de inundaciones, huracanes y sequías (Gilman *et al*., 2008), modificaciones de los flujos de agua que afectarán el hidroperíodo, aumento del estrés por calor en la flora y fauna; incremento del alcance y actividad de plagas y vectores de enfermedades; incremento de la erosión del suelo y daño a la infraestructura costera, cambios en la escorrentía, decremento de la recarga de algunos acuíferos, reducción en la disponibilidad de agua en los humedales que determinan su funcionamiento, daño a ecosistemas con los que mantienen la conectividad hidroecológica (*e.g.* praderas de pastos marinos, arrecifes de coral), expansión de especies exóticas, entre otras, todo lo anterior con la consecuente modificación de sus servicios ecológicos.

En escalas globales, el incremento eustático del nivel del mar (ESLR) en el siglo XX se calcula que ha sido de 0.15 a 0.20 m (Miller y Douglas, 2004). Sin embargo, la mayoría de los modelos de clima predicen que el aumento ESLR durante el siglo XXI será entre 0.20 y 0.60 m (IPCC, 2007), pero modelos recientes indican que ESLR podría ser mayor incluso a 1 m (Rhamstorf, 2007). El efecto del ESLR podría ser mayor en algunas áreas provocando cambios en la geomorfología costera o en la intrusión salina, por ejemplo.

En escalas locales, el efecto del SLR más los procesos locales de formación del suelo determinan el incremento relativo del nivel del mar (RSLR), la pérdida de humedales como son los manglares podría estar asociado a este incremento (Stevenson *et al.,* 1985). Las actividades antrópicas han acelerado el RSLR por el manejo de agua en las cuencas, restringiendo el aporte y por tanto los sedimentos, también se ha propiciado la contaminación y favorecido la invasión de especies entre otras consecuencias (Pont *et al.,* 2002; Day *et al.,* 2008).

Una de las principales preocupaciones del manejo de los efectos del CCG en humedales costeros y en especial en manglares, se refiere a la tasa de acreción y elevación del suelo, la cual es afectada por las actividades humanas. Los manglares pueden sobrevivir al aumento de nivel del mar sólo si se acumulan suelo verticalmente (elevación) a una tasa por lo menos igual al aumento de nivel del mar (Pont *et al.*, 2002; Cahoon *et al.,* 2006; Day *et al.,* 2008). Esta tasa de acumulación es función de las contribuciones inorgánicas (sedimentación y arrastre de arena) y orgánicas (producción y descomposición de hojas, raíces y tallos); y de los patrones hidrológicos que dependen en gran medida de las características del hidroperíodo (Cahoon *et al.,* 1995; Day *et al.,* 2008), variable que rara vez se mide y/o reporta en los estudios de humedales costeros en México.

Hasta hace poco solamente había pruebas empíricas del incremento en la frecuencia de ciclones y huracanes más intensos con el aumento de las temperaturas superficiales del mar (Raper, 1993; Walsh, 2004). Uno de los efectos de estos eventos son las olas de tormenta que afectan hacia el interior de la línea de costa y a elevaciones más altas por el respectivo incremento del nivel del mar. De acuerdo a lo anterior se podrían observar cambios en la geomorfología de las costas y con ello de los manglares, sin embargo, se debe insistir, que la capacidad de mitigación y de resiliencia de los manglares a estos eventos será mayor mientras mejor condición tenga el manglar en particular sujeto a impacto, lo cual significa contar con un diagnóstico de la condición que guardan cada ecosistema de manglar de acuerdo a indicadores de estructura

(especies, área basal, densidad de árboles, regeneración, entre otros) y de función (productividad, acreción/elevación del suelo, dinámica de nutrientes, entre otros), así como su nivel de vulnerabilidad y capacidad de resiliencia, estos diagnósticos integrados no existen o no están disponibles a los tomadores de decisión.

Para las costas de México, aun no hay consenso en cuanto al incremento o decremento de la precipitación anual y cambio en los patrones estacionales a nivel regional o local, así como tampoco los hay en el corto y largo plazo. Sin embargo, el más reciente informe de IPCC (2007) indica que habrá mayor disponibilidad de agua en los trópicos y en latitudes altas, por lo que cambios en la entrada de agua a los manglares estará en función de la latitud. Estos cambios provocarán las variaciones específicas en los aportes de sedimento y nutrientes que ingresen a los manglares. Por último, estos cambios en los aportes de agua y sedimentos se verán también afectados de forma sinérgica por las modificaciones esperadas por las acciones humanas sobre la circulación del agua y el manejo que se haga del suelo y de los desechos como producto de las actividades productivas en las costas del país.

En el corto plazo, las acciones en los ecosistemas de manglar deben estar dirigidas a favorecer su capacidad de mitigar, resistir o ser resilientes a los efectos del CCG, por lo que las políticas públicas deben tener un componente importante de conservación de los manglares que existen y de restauración de los degradados. Los resultados de los programas de monitoreo de largo-plazo deben ser considerados para sustentar la legislación actual, pero no significa quitar los "candados" que la actual 60 TER* establece.

En el largo plazo, hay que considerar la creación de nuevas zonas de manglar donde no haya conflicto con el desarrollo costero, por lo que se debe considerar en los ordenamientos costeros, tal y como se contempla en áreas de reserva territorial para nuevos asentamientos humanos. Si esto no es internalizado en las políticas públicas, en un futuro cercano las áreas de manglar desaparecerán y dejarán de ser el motor de las cadenas tróficas de muchas áreas costeras de México (Aburto-Oropeza *et al.,* 2008).

Desde la perspectiva de la variabilidad de climas en la zona costera y su efecto en las características individuales de los tipos de manglar, estos ecosistemas tienen que ser vistos en el contexto de su ubicación espacial, por lo que los impactos que resulten del cambio climático serán de tipo sitio-específico y por su conectividad los efectos negativos se verán en otros ecosistemas (*e.g.* praderas de pastos marinos y arrecifes de coral). Bajo esta perspectiva, se debe hacer un análisis de los cambios esperados de acuerdo a los modelos regionales y locales del clima, y determinar cómo estos concuerdan con las respuestas de los manglares a nivel de escala regional y local. Esto significa que los tomadores de decisión de los gobiernos federales, estatales y municipales, deberán invertir en programas de monitoreo de indicadores de vulnerabilidad y sensibilidad de los manglares.

* La 60 TER se refiere al artículo que se añadió a la Ley General de Vida Silvestre, y en la cual se señala la prohibición de acciones que pongan en riesgo el flujo hidrológico del manglar, el ecosistema y su área de influencia. estas actividades son el dragado, relleno, remoción, trasplante y poda del manglar. Pero también señala que si las actividades antes señaladas están enfocadas a proteger, restaurar, investigar y conservar pueden ser exceptuadas de la prohibición.

Lecciones aprendidas

El escenario ambiental de Yucatán

La península de Yucatán (PY) se ubica en la porción sureste de México, donde hay un clima de tipo cálido–húmedo, caracterizado por presentar 3 temporadas climáticas: secas (marzo a mayo), lluvias (junio a octubre) y "Nortes" (noviembre a febrero). La precipitación media es de 400 mm/año, con una evaporación media de 2 000 mm/año. El régimen de marea que se presenta en la costa de Yucatán es de tipo mixto semidiurno de 0.6 m (Herrera- Silveira, 1994).

La PY es una plataforma cárstica, con escasa elevación y accidentes topográficos, expuesta a huracanes. Por la escasa pendiente (<1%), se ha estimado que los ecosistemas costeros como los manglares en esta zona son vulnerables al aumento acelerado del nivel del mar (Ortíz-Pérez y Méndez, 1999). Por otra parte, la geomorfología de la PY favorece la formación de una serie de cuerpos de agua inundables estacionalmente denominadas ciénegas (*e.g.* puertos de Progreso, Sisal, El Palmar) o permanentemente conformando lagunas costeras (*e.g.* Celestún, Chelém y Dzilám). En ambos casos, estos cuerpos de agua se encuentran bordeadas por bosques de manglar dominados por una o la mezcla de dos o más especies (*Rhizophora mangle, Avicennia germinans y Laguncularia racemosa)*.

Una de las características geomorfológicas que más destacan en la PY es la ausencia de flujos superficiales de agua continental a través de ríos. Debido a la condición cárstica del suelo; los aportes de agua dulce llegan a la costa a través de descargas de agua subterránea a manera de manantiales (Herrera-Silveira y Comín, 2000). Esta fuente de agua dulce se caracteriza por sus altos aportes de nitratos (>60 μM) y silicatos (>300 μM), así como bajo contenido fosfatos (<0.05 μM) y materia particulada (<1mg/l) (Herrera-Silveira, 2006), por lo que entre otros aspectos tienen influencia en la formación de gradientes ambientales (de salinidad principalmente), dinámica de nutrientes, que se asocian a los patrones espaciales y temporales de estructura y función de los ecosistemas de manglar desde el nivel de especie hasta de paisaje (Herrera-Silveira *et al.,* 2000; Zaldívar-Jiménez *et al*., 2004).

Las características cársticas de la PY favorecen que el agua fluya en una compleja red de ríos subterráneos así como la presencia de los característicos cenotes en toda la Península, con una acumulación de los mismos a lo largo de una línea circular (anillo de cenotes) relacionado con el cráter de Chicxulub (figura 2), y el cual determina flujos dominantes hacia los extremos oriente (Bocas de Dzilám) y poniente (Celestún-Palmar) de este "anillo de cenotes".

De las 73 893 ha de cobertura de manglar para Yucatán, gran parte está distribuida en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún y la Reserva Estatal Bocas de Dzilám (67 % del total), en la tabla 2 se describe la distribución de manglares en Yucatán donde el mayor porcentaje de manglares coincide con las principales zonas de descarga de agua del acuífero. La geohidrología de la costa norte de Yucatán determina el desarrollo de escenarios ambientales a nivel regional de manglares tipo húmedo y seco (figura 3).

Figura 2. Características ambientales de las zona costera de Yucatán entre las que destacan la cobertura de manglar (a); y el anillo de cenotes (b) que intercepta en la costa y favorece la distribución espacial de la mayor cobertura de manglares en el estado (Celestún y Dzilam).

Tabla 2. Características ecológicas, de gestión y amenazas que definen la condición y vulnerabilidad de los manglares en Yucatán al CCG.

Localidad/descripción	**Celestún**	**Sisal**	**Progreso**	**Dzilám**
Estatus de protección	ANP Federal	ANP Estatal	ANP Estatal	ANP Estatal
Densidad de población humana (indiv * km^{-2})	10	30	112	12
Escenarios geohidrológico	Laguna costera con descargas de subterránea	Ciénega	Lagunar costera/ciénega	Litoral costero con descargas de agua subterránea
*Relación extensión humedal/agua	8.56	0.74	1.46	0.59
Cobertura de manglar condición buena (%)	47	26	46	25
Cobertura de manglar condición regular (%)	36	16	13	13
Cobertura de manglar condición mala (%)	16	57	41	63
Especie dominante	*Rhizophora mangle*	*Avicennia germinans*	*Rhizophora mangle*	*Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*
Productividad aérea ($g\ m^{-2}$ día)	4.7	2.6	2.8	3.9
Numero de huracanes en los últimos 100 años	3	5	9	10
Escenario acreción/ elevación	Baja subsidencia	Baja subsidencia	No definido	Alta subsidencia
Susceptibilidad a inundación	Bajo	Bajo	No definido	Alto

*Es la relación entre la superficie del cuerpo de agua asociada a la superficie de manglar, valores >1 indican que la superficie de agua es mayor en proporción a la del manglar asociado.

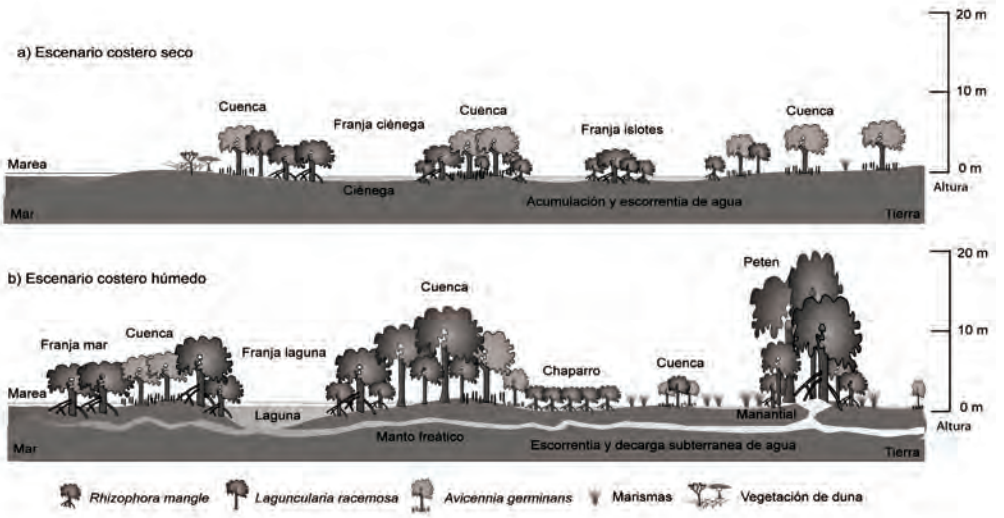


Figura 3. Modelo esquemático de la asociación entre las características geohidrológicas de la península de Yucatán y la tipología de los humedales de manglar. En sitios donde se presentan los menores aportes de agua subterránea y se observan características de manglares de ambientes secos (a), y sitios con mayores aportes de agua subterránea (b) done la vegetación de manglar adquiere estructuras forestales similares a las de sistemas húmedos.

En caso del escenario seco (figura 3a), este se caracteriza por que la inundación y los aportes de agua dulce están fuertemente influenciados por la estacionalidad de la precipitación, de manera que sus suelos son hipersalinos (>45 gr/kg) y con baja concentración de nutrientes, dando como resultado estructuras forestales de ambientes áridos, esto es, troncos de diámetro pequeño (10 cm), de baja altura (<3m) ("achaparrados-arbustivos"), y dominados por *Avicennia germinans* (mangle negro, *ta´abché* en maya). Este escenario de manglar es dominante en localidades como Sisal, Progreso, Telchac y Río Lagartos.

El escenario húmedo se caracteriza por su interacción con el anillo de cenotes al concentrar y dirigir el agua subterránea hacia sitios de intercepción preferencial con la costa siendo las dos principales regiones de Celestún-Palmar y Bocas de Dzilám (figura 3b). La interacción del agua subterránea con los humedales de manglar en estos sitios propicia que se desarrollen bosques con características ecológicas y estructuras forestales similares de ambientes ribereños y deltaicos, caracterizados por árboles de diámetros de tronco grandes (hasta 20 cm), altos (>9m) y bajas densidades (1800 árbol/ha). Estos sitios están sujetos a un régimen hidrológico de inundación-sequía frecuente por combinación de la marea y la descarga de agua subterránea. Su vegetación está dominada por *Rhizophora mangle* (mangle rojo, *taab ché* en maya) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco, *sakokom* en maya).

A escala local, en cada escenario de manglar se pueden observar diferentes tipos ecológicos definidos por su estructura forestal e hidroperíodo, siendo dominantes los de tipo franja, cuenca, chaparro y petén.

De acuerdo a la literatura disponible en otras partes del mundo –y que no existe para México-, los ecosistemas de manglar que reciben sedimentos terrígenos y se localizan en zonas de macro-mareas se espera puedan resistir mejor el incremento del nivel medio del mar que los manglares localizados en ecosistemas de micro-mareas y de ambientes de oligotróficos (cársticos) (Day *et al.*, 2008), tal y como sucede en las costas de la PY.

Los servicios ecológicos que proporcionan los manglares les confieren alto potencial económico y social. No obstante, son vulnerables a factores antrópicos, como cambio de uso del suelo, salinización de los sedimentos, cambios del hidroperíodo, contaminación y deforestación, así como a eventos de huracanes, tormentas e incremento del nivel medio del mar por el cambio climático. De acuerdo a lo anterior, las estrategias de manejo de manglares en Yucatán deben centrarse en la restauración ecológica de sitios degradados y en la conservación de sitios en buena condición, sin embargo, ¿hay un diagnóstico de los mangares de la PY para definir que acción tomar en cada localidad?, hasta donde sabemos no lo hay, por lo que esta sería la prioridad para generar la información necesaria para definir acciones y políticas.

En el escenario de incremento de tormentas y huracanes, los manglares son altamente resistentes por su heterogeneidad ecológica y específica. Empero, su capacidad de resistencia y recuperación natural se ha visto reducida en muchos sitios por causa de actividades antrópicas, las cuales ponen en riesgo la continuidad de los manglares y por ende, sus bienes y servicios ecológicos (Teutli-Hernández, 2004).

Vulnerabilidad y resiliencia de los manglares

Los manglares están identificados como ecosistemas altamente resilientes a factores ambientales. Sin embargo, esta capacidad de recuperación se asocia al estado ecológico que deben guardar sus características estructurales y funcionales, ya que esto les permite adaptarse a la variación de factores externos. En la interacción de las características ecológicas, el uso y aprovechamiento por las comunidades circundantes a los manglares y los instrumentos de gestión para su conservación y restauración juegan un papel importante sobre los manglares, ya que en su conjunto determinan la sensibilidad de estos ecosisitemas a ciertos impactos y/o perturbaciones que incluyen las manifestaciones de CCG. La sensibilidad a ser afectados por un factor natural y/o antrópicos es lo que se conoce como su vulnerabilidad.

La combinación de las características ecológicas intrínsecas de cada manglar (geohidrología, condición de su estructura forestal, especie dominante), el estatus de protección y uso (áreas naturales protegidas, desarrollo urbano) y las presiones antrópicos y naturales (amenazas y perturbaciones), son factores que determinan la vulnerabilidad de los manglares al CCG, sobre todo en su estructura, función y servicios ecológicos (tabla 2). Las amenazas del CCG sobre los manglares y que causan deterioro son principalmente asociados a modificaciones hidrológicas, contaminación del agua/suelo y cambio de uso de suelo. Los efectos del CCG sobre los manglares están determinados por los impactos antrópicos y el escenario ambiental en que se encuentre: por lo que la vulnerabilidad a los efectos del CCG podría esperarse menor en lagu-

nas costeras por su alta heterogeneidad en comparación con las ciénagas. Los huracanes tienen efectos importantes en los manglares, sin embargo, parece incrementarse en localidades donde el cambio del uso del suelo es mayor y la recuperación de manera natural se ve afectada en sitios con alta presión antrópica y escenario ambiental de ciénega.

Elevación del sedimento y acreción vertical del suelo: vulnerabilidad de los manglares al incremento del nivel medio del mar

En la península de Yucatán, solo las lagunas de Términos y Celestún cuentan con registros de elevación y acreción vertical del suelo como una aproximación de su vulnerabilidad al incremento del nivel medio del mar.

La respuesta de los manglares a este incremento del nivel medio del mar depende de la interacción entre la acumulación de materia orgánica, variaciones de la hidrología, procesos de compactación geológica e intensidad de tormentas (Cahoon *et al*. 1995). En sistemas carbonatados como es el caso de la península de Yucatán, la ausencia de ríos no permite el aporte de sedimentos terrígenos (aportes aloctótonos), el sustrato entonces tiene como origen esqueletos de organismos carbonatados y la materia orgánica producida por los manglares, principalmente compuesta por raíces y hojarasca (aportes autóctonos). A nivel local la producción de raíces, caída de hojarasca y su descomposición son factores biológicos que determinan la formación del suelo, y entre los físicos se cuentan a la erosión y acumulación de materiales acarreados por las corriente de agua superficial y el contenido de agua subsuperficial.

La tabla de sedimentación (SET) es un dispositivo mecánico portátil para medir la respectiva elevación de sedimentos en humedales, y ayuda a entender los procesos responsables de las variaciones de elevación (figura 4a). El SET puede usarse para determinar tanto el efecto sobre el suelo de un evento meteorológico (huracanes), así como de procesos de largo-plazo y relacionarlos con el incremento del nivel del mar. Los cambios de elevación del sedimento medidos por el SET están influenciados tanto por procesos superficiales y sub-superficiales que ocurren en el interior del perfil del suelo del manglar. Al mismo tiempo que el SET se deben realizar medidas simultaneas con marcas de horizonte (con feldespato) para determinar la acreción vertical que incluye procesos que ocurren principalmente en superficie (figura 4b). Cuando se usan simultáneamente el SET y las marcas de feldespato pueden proveer información de los procesos debajo del suelo que influyen en variaciones del nivel del sedimento en un humedal. La diferencia entre la tasa de acreción vertical y el cambio de elevación se conoce como subsidencia superficial.

El monitoreo con el SET y la marca de feldespato son aproximaciones metodológicas para abordar la hipótesis de que la acreción es igual a la elevación por lo que la subsidencia es igual a cero y ante un incremento del nivel medio del mar el humedal se inundará. En el ejemplo hipotético 1 (figura 4) la diferencia entre los valores de acreción y de elevación es cercano a cero por lo que en sitios con ese comportamiento la subsidencia superficial es baja; estos sitios

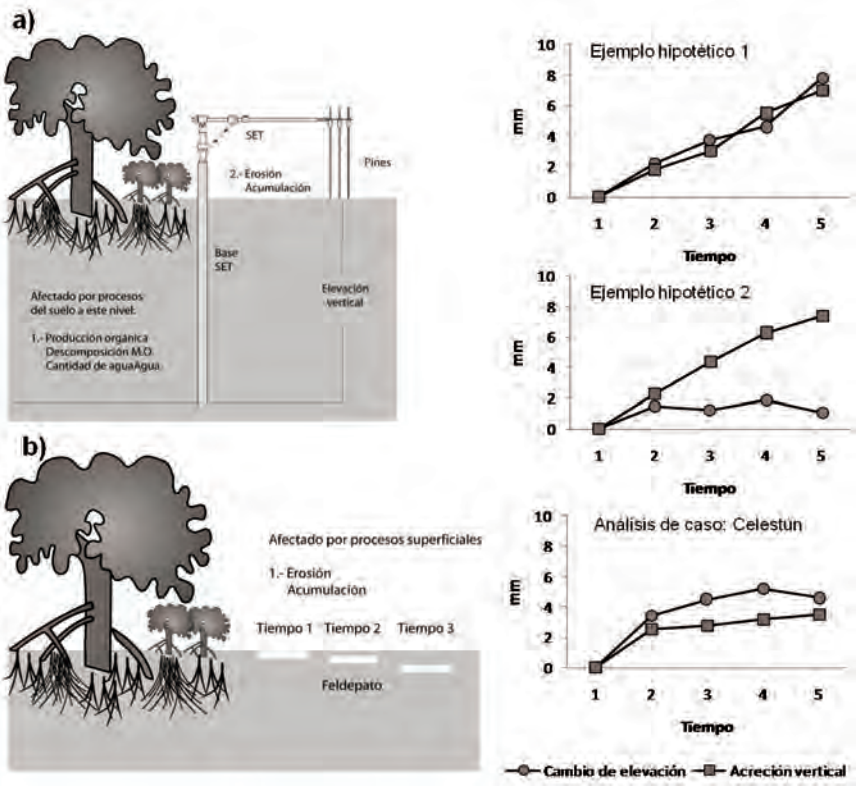


Figura 4. Aproximación metodológica empleada para la medición de las variaciones de elevación del sedimento con la tabla de sedimentiación "SET" (a); y la acreción con el feldespato (b). En el ejemplo hipotético 1, la diferencia entre la acreción y la elevación se conoce como subsidencia, en este caso es cercano a cero indicando que este sitio se encuentran en equilibrio en cuanto a los procesos de formación del suelo por lo que son menos vulnerables a inundarse. En el ejemplo hipotético 2, se presenta alta subsidencia por lo que son altamente vulnerables a inundarse en el largo plazo por el incremento del nivel medio del mar. En el ejemplo real de Celestún, la subsidencia estimada en el programa de monitoreo indica que esta es baja, por lo que este manglar puede mitigar los efectos del CCG.

no son vulnerables a inundación; por otra parte, en el ejemplo hipotético 2, la diferencia entre la acreción y elevación indica alta subsidencia superficial por lo que potencialmente son vulnerables a inundarse.

Como un ejemplo, en la laguna Celestún (Yucatán) se lleva a cabo el monitoreo de la acreción y elevación desde 1999, el cual forma parte del Programa de Manglares implementado por el laboratorio de Producción Primaria del Cinvestav-IPN Unidad Mérida. Los manglares de laguna Celestún presentan baja subsidencia y son capaces de responder a un incremento de 2 mm por año del nivel medio del mar ya que su acreción y elevación están por arriba de este valor (figura 4), por lo que no serían vulnerables a inundarse, lo cual no concuerda con lo sugerido por Ortíz-Pérez y Méndez (1999), indicando que los procesos greomorfológicos y de

clima local son importantes en el momento de hacer predicciones y por lo tanto el diseño de políticas y acciones dependerán de los resultados sitio-específicos.

De acuerdo a lo anterior, el monitoreo de los procesos que controlan la formación del suelo de los manglares a nivel de sitio debe de considerarse una prioridad para el manejo de estos ecosistemas frente al cambio climático e incremento del nivel medio del mar.

Secuestro de carbono

También en el contexto del largo-plazo, los ecosistemas de manglar deben empezar a ser considerados seriamente como almacenes de corto y largo plazo de carbono en los programas de mitigación de los impactos del CCG, por lo que los programas de rehabilitación/restauración de manglares no sólo deben ser apoyados con base en consideraciones ecológicas y socioeconómicas, sino también por su potencial como eficientes sumideros de CO_2 (tabla 3).

Los bosques de manglar son considerados como ecosistemas muy productivos, sin embargo, la mayoría de los datos sobre su productividad son con base en la caída de hojarasca colectada mensualmente, y mucho menos información existe sobre su producción de biomasa relacionada con madera o subterránea. El carbono producido por los manglares puede tener varios destinos diferentes: (i) que parte se consuma como biomasa por la fauna directamente o después de la exportación al sistema acuático; (ii) puede ser incorporado al sedimento donde es almacenado por períodos de tiempo más largos; (iii) puede ser remineralizado y exportado a la atmósfera como CO_2, o como carbono inorgánico disuelto; y (iv) puede ser exportado a los ecosistemas adyacentes en forma orgánica (disuelta o particulada) donde puede ser depositado en sedimentos, mineralizado, o consumido por la fauna (Bouillon *et al*., 2009). En México el papel que juegan los manglares como almacenes y sumideros de carbono son prácticamente desconocidos tanto a nivel local, regional, por tipo geomorfológico y ecológico.

Tabla 3. Comparación de almacenes y acumulación de carbono en el largo-plazo por parte de diferentes ecosistemas costeros. Pg = 10^{15} g. (Laffoley y Grimsditch, 2009).

Tipo de Ecosistema	C acumulado (g C m^2)		C global acumulado (Pg C)		Tasa de acumulación de C en suelo (g C m^{-2} $año^{-1}$)
	Planta	Suelo	Planta	Suelo	
Marisma templadas	--	--	--	--	210
Manglares	7 990	--	1.2		139
Pastos marinos	184	7 000	0.06		83
Bosques de macroalgas	120	720	0.009	0.02	--

Sugerencias y recomendaciones

Se espera que el cambio climático global actúe sobre los ecosistemas costeros en sinergia con otras presiones, lo cual depende de características regionales como clima, geomorfología, entre otros, y locales como la microtopografía, balance entre acreción y subsidencia.

En el contexto del CCG, los humedales y en especial los costeros, son considerados entre los ecosistemas menos conocidos y con papeles ecológicos importantes por su contribución en la dinámica, flujo y almacenamiento de nitrógeno, fósforo y en especial del carbono. Es por ello, que la política ambiental debe promover la conservación y restauración de los humedales como parte de la estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático de las zonas costeras.

Entre las primeras estrategias de manejo tendientes a minimizar los efectos del CCG en los manglares, están las acción para reducir las fuentes de estrés adicional que puedan reducir la capacidad de resiliencia de los manglares al CCG. Se debe mantener la hidrología natural, reducir la contaminación, reducir la introducción de vegetación exótica, proteger la diversidad biológica e integridad, como acciones importantes para mantener y/o mejorar la resistencia de los ecosistemas de manglar. Con el propósito de mitigar los efectos del CCG, la restauración ecológica debe ser considerada como parte de las políticas ambientales de las instituciones federales, estatales y municipales, sin embargo, debido a los extensos fracasos que la reforestación de manglar ha tenido en Yucatán, se recomienda como acción la rehabilitación hidrológica.

En términos de investigación y monitoreo, se sugiere llevar a cabo estudios relacionados con la modelación de la vulnerabilidad de los manglares al incremento acelerado del nivel medio del mar en cada localidad debido a las variaciones espaciales de hidrodinámica, microtopografía, procesos asociados a las tasas de acreción y subsidencia que afectan la elevación del sedimento, así como investigaciones relativas a flujos y almacenes de carbono en manglares de diferente tipo ecológico y bajo escenarios ambientales y de impacto variable. Todo lo anterior con el propósito de que los manglares recuperen y/o continúan proveyendo servicios ecológicos importantes bajo condiciones climáticas cambiantes.

Literatura citada

Aburto-Oropeza, O., E. Ezcurra, G. Danemann, V. Valdez, J. Murray, y E. Sala, 2008. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of the National Academy of Science,* 105(30): 10456 –10459.

Bouillon, S., VH. Rivera-Monroy, RR. Twilley, JG. Kairo, D.d'A. In Laffoley, y G. Grimsditch (eds), 2009. The management of natural coastal carbon sinks. IUCN, Gland, Switzerland. 53 p.

Cahoon, D.R., D.J. Reed, y J.W. Day, 1995. Estimating shallow subsidence in microtidal salt marshes of the southeastern United State: Kaye and Barghoon revisited. *Marine Geology,* 128: 1-9

Cahoon, D.R., P.F. Hensel, T. Spencer, D.J. Reed, K.L. McKee, y N. Saintilan, 2006. Coastal wetland vulnerability to relative sea-level rise: wetland elevation trends and process controls. p. 271-292. *In:* J.T.A. Verhoeven, B. Beltman, R. Bobbink, D. Whigham (eds.), Wetlands and Natural Resource Management. Ecological Studies, vol. 190. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.

Conabio, 2009. Manglares de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México DF. 99 p.

Day, J. W., R. R. Christian, D. M. Boesch, A. Yáñez-Arancibia, J. Morris, R. R. Twilley, L. Naylo, L. Schaffner, y C. Stevenson, 2008. Consequences of climate change on the ecogeomorphology of coastal wetlands. *Estuaries and Coasts,* 31:477–491.

Erwin, K. L., 2009. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecol Manage,* 17:71–84

Field C., 1995. Rationale for restoration of mangrove ecosystems in restoration of mangrove systems. The international tropical timber organisation in the International Society for Mangrove Ecosystem. pp. 28-35.

Gilman. E.L., J. Ellison, N.C. Duke, y C. Field, 2008. Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. *Aquatic Botany,* 89: 237–250.

Gobierno del estado de Yucatán, 2010. Reserva estatal Ciénegas y Manglares de la costa norte de Yuctán. Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán. Decreto 285.

Herrera-Silveira, J.A., 1994. Spatial and temporal patterns in a tropical coastal lagoon with groundwater discharges. *Journal of Coastal Research,* 10(3): 738-746.

Herrera-Silveira, J.A., 2006. Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): Investigación, diagnóstico y manejo. *Interciencia,* 19(2):94-108.

Herrera-Silveira, J.A., J. Ramírez, y A. Zaldivar, 2000. Structure and soil salinity of two mangroves forests of Yucatan, SE Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.,:* 1707-1710.

Instituto Nacional de Ecología-Semarnat (INE), 2005. Evaluación Preliminar de las Tasas de Perdida de Superficie de Manglar en México. INE-Semarnat.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Climate Change: the Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2007.

Miller, L., y B. Douglas, 2004. Mass and volume contributions to twentieth-century global sea level rise. *Nature,* 428: 406–409.

Laffoley, D.d'A., Grimsditch, G. (eds). The management of natural coastal carbon sinks. IUCN, Gland, Switzerland. 2009. 53 p.

Ortíz-Pérez, M.A. y J.A. Méndez, 1999. Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la cosa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas,* 39: 66-81.

Pont, D., J. Day, P. Hensel, E. Franquet, F. Torre, P. Rioual, C. Ibañez, y E. Coulet, 2002. Response scenarios for the deltaic plain of the Rhône in the face of an acceleration in the rate of sea level rise, with a special attention for Salicornia-type environments. *Estuaries,* 25: 337–358.

Rahmstorf, S., 2007. A semi-empirical approach to projecting sea level rise. *Science,* 315: 368–370.

Raper, S., 1993. Observational data on the relationship between climatic change and the frequency and magnitude of severe storms. p. 192-212. *In*: R. Warrick, E. Barrow, and T. Wigley (eds.) Climate and Sea Level Change: Observations, Projections, and Implications. Cambridge University Press .

Ruiz-Luna, A., J. Acosta-Velazquez, y C. Berlanga-Robles, 2008. On the reliability of the data of the extent of mangroves: a case study in Mexico. *Ocean & Coastal Management,* 51: 342-351

Scavia, D., J.C. Field, D.F. Boesch, R.W. Buddemeier, V. Burkett, D.R. Cayan, M. Fogarty, M.A. Harwell, R.W. Howarth, C. Mason, D.J. Reed, R.C. Royer, A.H. Sallenger, y J.E. Titus, 2002. Climate change impacts on US coastal and marine ecosystems. *Estuaries,* 25: 149–164.

Stevenson, J.C., M.S. Kearney, y E.C. Pendleton, 1985. Sedimentation and erosion in a Chesapeake Bay brackish marsh system. *Marine Geology,* 67: 13–235.

Teutli-Hernandez, C., 2004. Estimación del éxito de la restauración hidrológica en zonas de manglar de la parte norte de Yucatán. Tesis profesional. Cinvestav-UAB. 77 p.

Tomlinson, P.B., 1986. The Botany of Mangroves. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Twilley, R.R., S.C., Snedaker, A. Yáñez-Arancibia, y E. Medina, 1996. Biodiversity and ecosystem processes in tropical estuaries: perspectives on mangroves ecosystems. p. 327-370. *In:* H. A. Mooney, S. H. Cushan, E. Medina, O.E. Sala, E.D. Schultze (eds). Functional roles of biodiversity: A global perspective. John Wiley & Sons Ltd. Chapt.

Zaldívar-Jiménez, A., J. Herrera-Silveira, C. Coronado-Molina, y D. Alonzo-Parra, 2004. Estructura y productividad de los manglares en la reserva de biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Madera y Bosques,* 2:25-35.

Walsh, K., 2004. Tropical cyclones and climate change: unresolved issues. *Climate Research,* 27: 77–83.

Woodroffe, C.D., 1995. Response of tide-dominated mangrove shorelines in northern Australia to anticipated sea-level rise. *Earth Surf. Proc. Land,* 20: 65–85.

Flores Hernández D., J. Ramos Miranda, L.A. Ayala-Pérez, y A. Sosa-López, 2010. Las pesquerías y el cambio climático, p. 437-452 En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual, y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Las pesquerías y el cambio climático

Domingo Flores Hernández, Julia Ramos Miranda, Luis Amado Ayala Pérez y Atahualpa Sosa López

Resumen

Los efectos del cambio climático global en las pesquerías están asociados a los efectos sobre el ambiente en el que ellas se desarrollan; por tanto hablar del impacto del cambio climático *per se* sobre las pesquerías es prácticamente imposible sin considerar al ecosistema. En los sistemas marinos, uno de los eslabones más sensibles de la red trófica a cambios en el régimen climático son los productores primarios (fitoplancton). Cuando este eslabón es modificado, una serie de cambios pueden ocurrir a lo largo de toda la cadena trófica hasta los depredadores de mayor nivel, produciendo modificaciones en abundancia y distribución de las especies. Las pesquerías a nivel mundial están en una tendencia hacia la reducción de las capturas y la mayoría de las pesquerías mexicanas muestran también tendencias a la disminución. La gran parte de los recursos están catalogados por la Sagarpa en un nivel de máxima explotación. Aunque la actividad pesquera constituye el 3.0% del Producto Interno Bruto del país (pib); no se reporta ninguna medida o evaluación del efecto del cambio climático sobre las pesquerías. De acuerdo a los diagnósticos de explotación de los recursos, aquellos que muestran alguna posibilidad de crecimiento en el lado Pacífico, son el calamar gigante en Baja California; la langostilla, el pez espada, el barrilete y el sargazo. En el lado del Golfo de México y el Mar Caribe, la almeja, el atún y el pulpo. Sin embargo, la proporción de incremento de la explotación no se ha determinado para ninguno de estos recursos. Asimismo, algunos han sido estudiados de manera particular, en relación a la variabilidad de su abundancia con el cambio climático global. Tal es el caso de la sardina, el atún, el abulón, el calamar gigante, la almeja

generosa, el camarón, el ostión y como recurso natural la ballena, mostrando efectos concluyentes en el comportamiento de su abundancia y distribución. Estos efectos son asociados a los eventos del Niño y La Niña, pero también a variaciones en la salinidad y temperatura de los ecosistemas.

Introducción

Actualmente es reconocido que las capturas pesqueras son un indicador del cambio climático global (Sharp, 2003). Esto realza su importancia ante un fenómeno que hoy por hoy es de gran importancia. Los cambios en el clima se deben principalmente a la variabilidad de la actividad solar (Sharp, 2003); sin embargo, numerosos autores han reconocido que la temperatura de la superficie del océano en todo el mundo se ha ido incrementando en los últimos 45 años, aunque la tasa de calentamiento varía considerablemente de un océano a otro (Levitus *et al*., 2000, 2005 y 2009). Los efectos del cambio climático global en las pesquerías son por tanto asociados a los efectos sobre el ambiente en el que ellas se desarrollan; por tanto hablar del efecto del cambio climático *per se* sobre las pesquerías es prácticamente imposible sin considerar al ecosistema.

El calentamiento global antropogénico ha influenciado significativamente los procesos físicos y biológicos a escalas regional y global; sin embargo, los cambios observados y los anticipados representan oportunidades y desafíos para las sociedades y sus economías (Allison *et al*. 2009). Se ha demostrado, que el incremento de la concentración de CO_2 antropogénico debido a la combustión de petróleo fósil y la deforestación, tienen un efecto sobre el ecosistema (Harley *et al*., 2006). Las actividades humanas provocan grandes concentraciones de gases invernadero en la atmósfera, lo cual a su vez origina una serie de cambios físico-químicos en la zona costera y océanos (figura 1). Diferentes efectos del cambio climático global como la modificación de los "*upwellings*", el incremento en la temperatura del agua y su acidificación pueden tener efectos sobre los organismos y los ecosistemas, afectando finalmente las pesquerías.

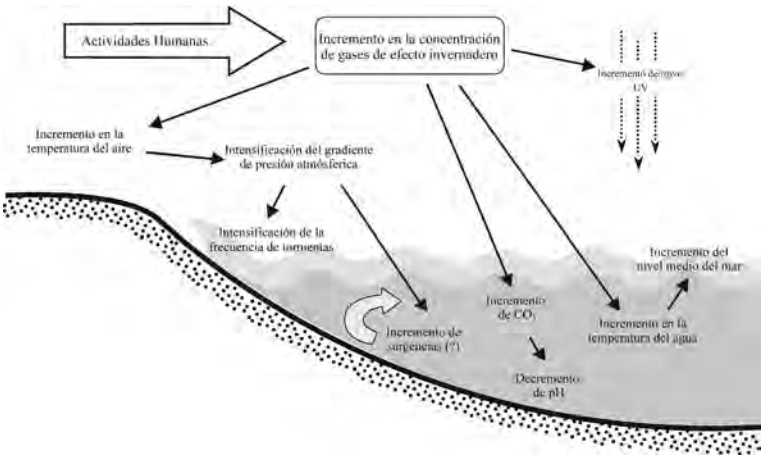


Figura 1. Cambios abióticos importantes asociados con el cambio climático. Tomada de Harley *et al.* (2006).

Se han esquematizado los efectos que tiene el cambio climático global sobre el ciclo de vida de especies marinas, incluidas especies comerciales (figura 2; Harley *et al*., 2006). A nivel población (caja rectangular), los cambios abióticos en el ambiente tienen impactos directos (cajas cuadradas) sobre la dispersión y el reclutamiento y sobre la eficiencia individual (crecimiento, mortalidad, otros) en varias etapas del ciclo de vida. A nivel organismo, la comprensión de la relación causa-efecto del cambio climático en los ecosistemas requiere una evaluación de los límites térmicos de las especies y de su habilidad para hacer frente a los cambios de temperatura; ya que este factor además de incidir directamente sobre la tolerancia térmica, tiene un papel importante en la capacidad de aporte de oxígeno a los tejidos, siendo una limitante después de cierto nivel (Pörtner y Knust, 2007). Efectos adicionales se filtran a nivel de la comunidad vía cambios en el tamaño de las poblaciones y los efectos *per cápita* de las interacciones entre especies. Los efectos ecológicos del cambio climático incluyen desviaciones en las eficiencias individuales, la dinámica de las poblaciones y la estructura de las comunidades. Juntos, estos efectos dan lugar a patrones emergentes (caja oval) tales como cambios en la distribución de las especies, biodiversidad, productividad y procesos microevolutivos, aunque es difícil tener predicciones precisas sobre los impactos en las especies del calentamiento global (Schubert *et al*., 2006).

Un hecho aceptado generalmente es que algunas especies se verán afectadas positivamente, pudiendo ampliar su rango de distribución; mientras que otras se verán afectadas negativa-

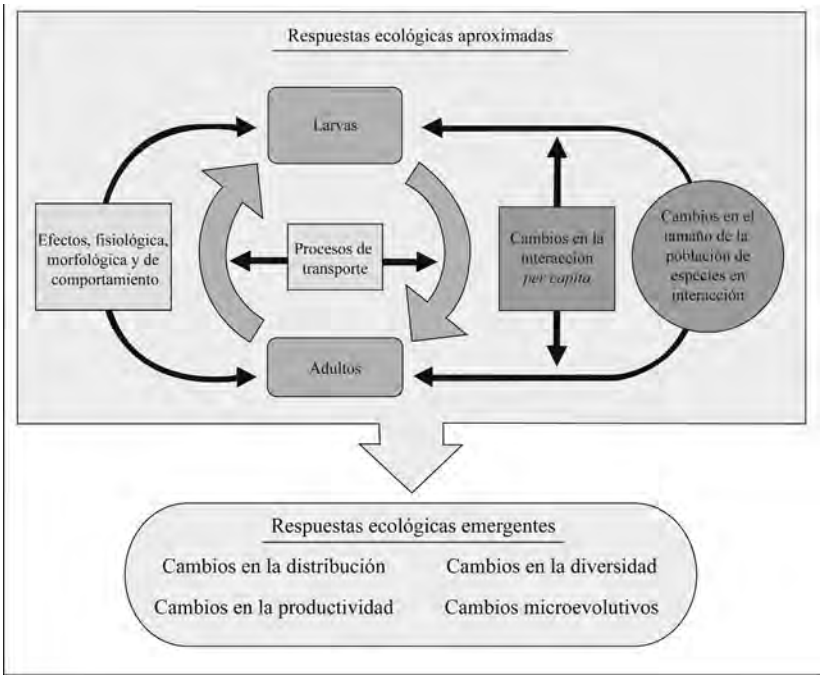


Figura 2. Respuestas ecológicas potenciales al cambio climático global. Modificada de Harley *et al.* (2006).

mente, reduciendo su rango de distribución, entre estas se encuentran las especies confinadas a las zonas polares (Parmesan, 2006). Esto sin penetrar mucho más en el complejo de relaciones de cada especie con los factores abióticos ni con las relaciones intra e interespecíficas que deben de verse también afectadas. De esta forma, es posible también considerar alteraciones en las relaciones tróficas de muchas especies. En este sentido una de las grandes incertidumbres es como se ven afectadas las interacciones entre especies, aunque se ha documentado que en grandes lagos templados desde 1962, ha habido rupturas en las uniones entre fitoplancton y zooplanton, produciéndose un desfasamiento en el momento del *bloom* fitoplantónico, que a largo plazo produjo el decaimiento de las poblaciones de *Daphnia*, repercutiendo en cascada en otros niveles tróficos, incluyendo los recursos pesqueros (Winder y Schindler, 2004). En otro aspecto, se han señalado fuertes cambios en el ecosistema y particularmente en el fitoplancton; durante el periodo más cálido en el Atlántico noreste, en donde la producción de fitoplancton se incrementó; mientras que en la zona más cálida decreció (Richardson y Schoeman, 2004).

Se ha señalado que los ecosistemas marinos muestran ya una pérdida de poblaciones y de especies con consecuencias desconocidas Worm *et al*. (2006). La proporción de colapso de recursos se incrementa y la recuperación potencial de la estabilidad y la calidad del agua decrecen exponencialmente con la declinación de la biodiversidad. La restauración de la biodiversidad, en contraste, incrementa la productividad y reduce la variabilidad 21% en promedio. Señalando que la tendencia negativa puede aún ser revertida. Asimismo se ha mencionado que el cambio climático puede afectar de dos formas, la primera supone un cambio gradual en el cual las especies van adaptándose suavemente; otro cambio drástico (ciclones), el cual pone en juego la capacidad de resiliencia del ecosistema y en consecuencia la permanencia de la comunidad. Es pertinente hacer esfuerzos para mantener la resiliencia de los ecosistemas y así conservar los recursos incluyendo las pesquerías (Marten *et al*., 2001).

Cambio climático global y pesca, factores que modifican el ecosistema y las pesquerías

Diferentes autores indican que hay un efecto sinergético entre el cambio climático global y la sobrepesca (Gitay *et al*., 2002; Schubert *et al*., 2006; Kirby *et al.,* 2009, entre otros) y han esquematizado las relaciones entre organismos a través de la red trófica (figura 3) (Schubert *et al*., 2006). En los sistemas marinos, uno de los eslabones más sensibles de la red trófica a cambios en el régimen climático son los productores primarios (fitoplancton). Cuando este eslabón es modificado, una serie de cambios pueden ocurrir a lo largo de toda la cadena trófica hasta los depredadores de mayor nivel, este flujo de energía desde la base de la cadena trófica es conocido como control "*bottom-up*". Sin embargo, el flujo energético y la estructura de la cadena trófica también pueden ser modificados por cambios en el eslabón superior lo cual corresponde a un control "*top-down*"; esto puede darse por sobrepesca de los depredadores y/o cambios climáticos que afectan a los mismos. Los cuales pueden tener profundas modificaciones en la estructura de la comunidad y la biodiversidad, La figura 3, es aplicable no sólo a un ecosistema

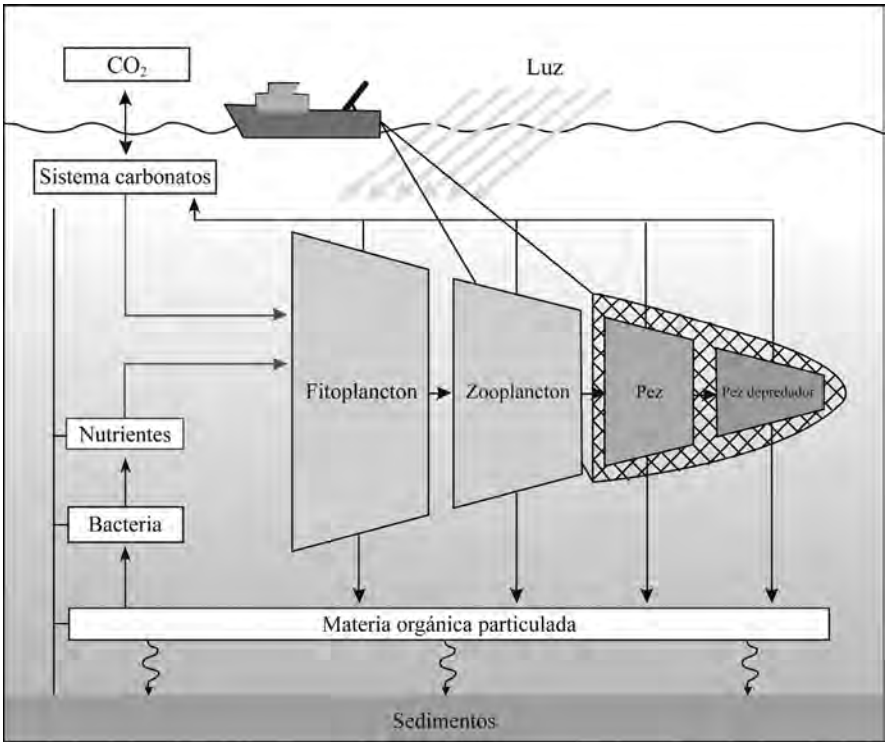


Figura 3. Estructura esquemática de un ecosistema marino pelágico. Las flechas grises indican las entradas para la productividad primaria; flechas negras señalan la interacción con el sistema de carbonato; las flechas muestran la descomposición de la biomasa. Se excluyen aves y mamíferos marinos. Tomado de Schubert *et al.* (2006).

pelágico, sino a otros, pues muchos organismos demersales y aún bentónicos poseen etapas pelágicas en su desarrollo ontogénico.

Otros autores (Gitay *et al*., 2002) reportan como resultado un cambio en la productividad y la estructura de los ecosistemas marinos. Señalan que el cambio en el clima de los años ochenta tuvo un impacto en el plancton y la pesca, cuya consecuencia fue la reducción del reclutamiento del bacalao en el Mar del Norte. Una vasta serie de datos sobre la temperatura y el número de bacalaos y el plancton, muestra que se produjo una serie de cambios desde el pelagos hasta el bentos, creando una cascada trófica favoreciendo los grupos tróficos inferiores sobre los recursos pesqueros comerciales. Asimismo, estos autores indican que la recuperación del estado inicial es improbable, por lo que es mejor adaptar el manejo de los recursos a esta nueva situación integrando los aspectos ecológicos. Por otra parte se ha señalado que en muchas pesquerías la sobrepesca ha sido un factor muy importante, tal es el caso de la pesquería de anchoveta del Perú y el bacalao de Nueva Inglaterra; sin embargo, se tiende a asociar el colapso de estas pesquerías al cambio climático a pesar de que aún se continúa con la sobreexplotación de los recursos (Pauly *et al.*, 2002).

Atribuir las causas de tendencias biológicas al cambio climático es complicado debido a que hay factores no climáticos que determinan cambios biológicos en el corto plazo y localmente. Diversos análisis muestran un rango de desviación de la distribución de las especies de 6.1 km por década hacia los polos, además un significativo avance de la primavera de 2.3 días por década. Asimismo se ha observado en el análisis de series de datos de gran escala en tiempo y en espacio para 273 especies, que efectivamente hay un impacto del cambio climático en los ecosistemas (Parmesan y Yohe, 2003). Aunque se menciona que el efecto de la pesca sobre las poblaciones sucedió antes que otros factores (*e.g.* contaminación, destrucción del hábitat, etc.) (figura 4) y que existe un efecto sinérgico sobre los ecosistemas y en consecuencia sobre las poblaciones y las pesquerías (Jackson *et al*., 2001).

Como se ha mencionado, se ha documentado el ir y venir de las pesquerías desde hace mucho tiempo. ¿Cuántos de estos cambios se deben a la pesca y/o a otras causas? es el dilema. La mayoría de especies oceánicas se desarrollan cerca de la media del rango de temperatura de tolerancia. En la mayoría de las especies locales el estrés térmico ocurre en no o más allá de sus extremos cálido o frío (Sharp, 2003). Especies con más amplia tolerancia con frecuencia tienen una única característica fisiológica y anatómica y muchos de este grupo han evolucionado hacia adultos grandes y/o con amplias migraciones.

Por diversas razones, el cambio climático global ha sido más estudiado en la zona norte del Pacífico y en la parte norte del Atlántico, pero poco en México. Se ha señalado que desde 1950 estos cambios están asociados a un progresivo calentamiento de la temperatura superficial tropical, particularmente en los océanos Índico y Pacífico (Hoerling *et al*., 2001). Los cambios en los océanos alteran el patrón y magnitud de las lluvias tropicales y la temperatura atmosférica, por lo que la respuesta atmosférica incluye la estructura espacial de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO por sus siglas en inglés).

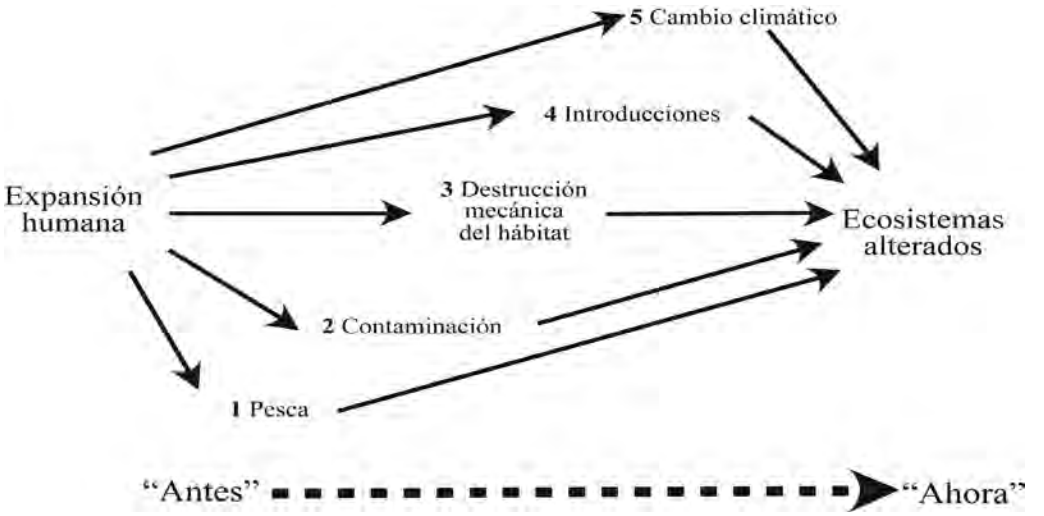


Figura 4. Secuencia histórica de perturbaciones humanas sobre ecosistemas costeros. Tomada de Jackson *et al*. (2001).

Los cambios más dramáticos en producción pesquera se dan en el Pacífico este, en las pesquerías pelágicas masivas, sin embargo, virtualmente todos los sistemas pesqueros desde templados hasta polares exhiben fuertes variaciones (Sharp, 2003). También algunas especies demersales son moduladas de la misma forma por estos cambios de régimen y la mayoría de especies migratorias predadoras reflejan el mismo patrón que sus presas favoritas, las cuales se han desplazado. Las especies bénticas son más vulnerables por no tener la capacidad de movimiento que las especies nectónicas (*e.g.* el ostión, pues la determinación del sexo está determinada por la temperatura del agua). Algunos autores (Perry *et al.,* 2005) muestran que las distribuciones de peces del Mar del Norte explotados y no explotados tienen respuestas marcadas a incrementos de temperatura recientes; cerca de dos tercios de las especies muestran desviaciones hacia el norte en la latitud media o mayor profundidad o ambas en los últimos 25 años. Las especies que desviaron sus distribuciones tienen ciclos de vida más cortos y tallas más pequeñas que aquellas que no mostraron desviaciones. Estos cambios tendrán profundos impactos en las especies comerciales debido a cambios continuos en la distribución y alteración en las interacciones de la comunidad.

Uno de los problemas a nivel mundial es que se requieren series de datos completos y en la mayoría de las ocasiones estos no existen. En los últimos 80 años en la costa oeste de los Estados Unidos se han mostrado grandes cambios de la temperatura superficial del agua (SST) interanuales e interdécadas. Los cambios interanuales desaparecen de manera súbita y sincrónica a lo largo de toda la costa, y la frecuencia de los eventos cálidos han aumentado desde la década de los setentas (McGowan *et al*., 1998). Esto es en alguna medida extrapolable a la península de Baja California.

Estado del arte

Las pesquerías mexicanas y variaciones en las capturas de los recursos presente y futuro

Las pesquerías a nivel mundial están en una tendencia hacia la reducción (figura 5) (FAO, 2002). De acuerdo a las informaciones del INAPESCA-Sagarpa, la mayoría de las pesquerías mexicanas muestran también tendencias a la disminución. Asimismo, la gran parte de los recursos están catalogados en un nivel de máxima explotación (Sagarpa, 2004). La actividad pesquera constituye el 3.0% del Producto Interno Bruto del país (PIB); sin embargo, no se reporta ninguna medida o evaluación del efecto del cambio climático sobre las pesquerías (Fernández y Martínez, 2003). De los recursos pesqueros que muestran alguna posibilidad de crecimiento en el Pacífico se encuentran el calamar gigante en Baja California, la langostilla, el pez espada, el barrilete y el sargazo. En el lado del Golfo de México y el Mar Caribe se tienen a la almeja, el atún y al pulpo los cuales tienen algunas posibilidades de incrementar la explotación (Sagarpa, 2004). Lo anterior basados en los diagnósticos de explotación, pero no en el impacto que tiene

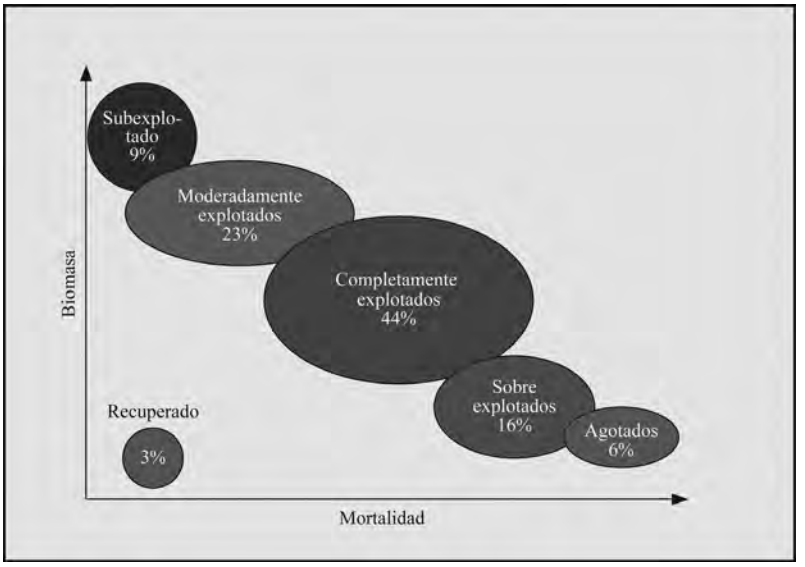


Figura 5. Esquema de la distribución del grado de explotación las pesquerías mundiales, la biomasa y relación con la mortalidad por pesca. Tomada de FAO(2002).

el cambio climático. Sin embargo, la proporción de incremento de la explotación no se ha determinado para ninguno de estos recursos.

Asimismo, algunos recursos han sido estudiados de manera particular, en relación a la variabilidad de su abundancia con el cambio climático global. Tal es el caso de la sardina, el atún, el abulón, el calamar gigante, la almeja generosa, el camarón, el ostión y como recurso natural la ballena, mostrando efectos concluyentes en el comportamiento de la abundancia y distribución de los recursos (en esta obra).

Por otra parte, es claro que en un ambiente de variabilidad creciente es difícil prever cual será el futuro de la actividad pesquera, por lo que es una necesidad continuar con el monitoreo de la explotación de los mismos y las variables que determinan su abundancia y persistencia.

Causas de estas variaciones (CCG, sobrepesca, contaminación, destrucción de hábitats, variabilidad ambiental)

Los recursos pesqueros pueden estar sujetos a diferentes factores antropogénicos vía su efecto sobre los ecosistemas. Los efectos al ecosistema se presentan en distintos niveles, llegando finalmente sobre las poblaciones de recursos pesqueros. Un factor importante es el patrón de explotación, como se ha mencionado, la mayor parte de las pesquerías mexicanas están en el nivel de máxima explotación. Por otra parte, el desarrollo sin control de pesquerías en zonas protegidas como lagunas costeras y estuarios tiene un fuerte efecto sobre los recursos (sobreexplotación del crecimiento), aunque esto ha dado empleo a numerosos pescadores ribereños. A

este sistema complejo se suman la alteración y/o destrucción del hábitat (a veces por la misma pesca), el desarrollo urbano y agrícola con los consecuentes desechos domésticos, así como plaguicidas y fertilizantes.

Los litorales del Pacífico y del Atlántico mexicanos son geomorfológicamente muy diferentes, por lo que los efectos del cambio climático global son diferentes en ambos lados. El primero completamente abierto a intercambios con el océano; en cambio el Golfo de México, está semicerrado, incluso es considerado por algunos autores como una gran laguna costera. En el Pacífico mexicano hay una mayor influencia de cambios climáticos sobre los ecosistemas y los recursos pesqueros, al menos son más evidentes. Por otra parte, existen recursos masivos de gran volumen e interés socio-económico, los cuales están conformados por grupos de especies pelágicas (sardina, anchoveta, atún), que se han revelado sensibles a dichos cambios en diversas partes del mundo (Chávez *et al*., 2003). Del lado del Golfo de México, uno de los recursos más importantes es el camarón; sin embargo, los intercambios del Golfo de México con el océano son menos drásticos que en el Pacífico. De esta forma, los estudios que relacionan los recursos y el cambio climático global, son más bien escasos. Para el Golfo de México, se reporta el efecto de modificaciones del clima sobre el reclutamiento del camarón rosado en el corto y largo plazo y se sugiere que la disminución en la tasa de reclutamiento estuvo fuertemente influenciada por la disminución en la salinidad y la disminución en la productividad primaria (Arreguín-Sánchez *et al*., 2008). Estos autores señalan que la situación puede cambiar si se mejoran los niveles de productividad primaria. Otro caso es el calamar, el atún y la sardina en el Pacífico, cuyas modificación en distribución y abundancia puede estar influenciadas por los eventos del Niño y la Niña, los cuales a su vez se ven modificados por el cambio climático global. Por otra parte el ostión en el Golfo de México, debido a sus hábitos de vida puede verse fuertemente afectado por la calidad del hábitat, principalmente variaciones en la temperatura que afectan su reproducción y por la salinidad. Esto es ampliamente explicado en los casos de estudios que se presnetan en esta obra.

Lecciones aprendidas

Entre las herramientas utilizadas para abordar el problema del cambio climático global, están las predicciones de diferentes variables como el incremento de la temperatura, la concentración de gases invernadero, el nivel del mar, la temperatura superficial del mar, entre otras. Sin embargo, las simulaciones del comportamiento de pesquerías o de comunidades en función de la temperatura no son muy abundantes en la literatura y pueden estar asociadas a incertidumbres por un lado desconocidas y generalmente muy grandes. En relación a las simulaciones de $CO_{2,}$ se ha señalado los posibles efectos que podrían tenerse son cambios en: la línea de costa, estuarios, humedales, arrecifes de coral y las fronteras de los ecosistemas oceánicos; esto finalmente afectaría los ecosistemas, las poblaciones y los recursos pesqueros (Scavia *et al.,* 2002).

El incremento en la tasa de elevación del mar y la frecuencia e intensidad de tormentas y huracanes en las próximas décadas aumentará la amenaza sobre las líneas de costa, humeda-

les, y el desarrollo costero. La productividad estuarina cambiará en respuesta a la alteración en la temporalidad y cantidad de agua dulce, nutrientes y sedimentos descargados. Mayores temperaturas del agua y cambios en la descarga de agua dulce alterarán la estratificación estuarina, el tiempo de residencia y la eutroficación. Incrementos en la temperatura del océano se espera que aumenten el blanqueamiento del coral y mayores niveles de CO_2 pueden reducir la calcificación coralina, haciendo más difícil para los corales recuperarse de otros disturbios y finalmente desviarse hacia los polos. Otro de los efectos es la acidificación del océano y sus posibles consecuencias sobre la alteración del proceso de calcificación de algunos organismos (Schubert *et al*., 2006). El calentamiento del océano se espera que cause una desviación hacia los polos en el rango de distribución de muchos organismos incluyendo especies comerciales y estas desviaciones pueden tener efectos secundarios sobre la relación predador-presa. Sin embargo, estos potenciales impactos del cambio climático, pueden variar de sistema en sistema; es importante reconocer que estos se traslaparán y en muchos casos se intensificarán otras presiones del ecosistema (contaminación, depredación, destrucción del hábitat, especies invasivas, uso de la tierra y los recursos, eventos naturales extremos), lo cual puede dar lugar a efectos más notorios.

Se han proporcionado algunos escenarios para Europa del Norte, y se ha indicado que el duplicar el CO_2 atmosférico incrementará la temperatura de la superficie del mar entre 3 y 7°C; tales cambios serían muy difíciles de predecir en un ecosistema muy alterado por presiones antropogénicas. En este sentido en los ríos europeos el rango potencial de algunas especies de peces se distribuirían más hacia el norte y cambios pronunciados en la abundancia de algunas especies ocurrirían (Lehtonen, 1996). La producción total podría aumentar pero el valor comercial de las especies capturadas podría disminuir debido al cambio mencionado. Se ha señalado también la incertidumbre implícita en las predicciones sobre los diferentes escenarios que se manejan para el cambio climático global. Estas incertidumbres surgen por un lado del dilema que se tienen sobre las futuras emisiones de gases invernadero y su concentración en la atmósfera, y la incertidumbre asociada a la sensibilidad del sistema climático a las variaciones en los gases invernadero como agente forzante (Mantua y Mote, 2002). Se citan diferentes simulaciones sobre la temperatura que habrá para el año 2100: 1.4 a 5.8°C (IPCC TAR, 2001), 1.1 a 4.5°C 95% de confianza (Reilly *et al*., 2001), 1.7 a 4.9°C 90% de confianza (Wigley y Raper, 2001). Asimismo, las simulaciones de la temperatura superficial del mar y de la presión del nivel del mar, en general señalan que para el 2080 la mayor parte del planeta tendrá incrementos entre 1 y 2°C. Entre las zonas más sensibles al incremento a la temperatura se encuentran las zonas polares; uno de los efectos de este calentamiento global es el deshielo de los polos y el consecuente aumento del nivel del mar, el cual varía de región en región, dependiendo entre otras cosas de la geomorfología de las zonas. Se ha señalado un incremento global del orden de 3.4 cm en el periodo entre 1993 y 2004 (Cazenave y Nerem, 2004).

Por otra parte se han simulado las temperaturas del Golfo de México para el 2099 durante el período de ciclones (junio-noviembre) y se han predecido valores de la superficie del agua entre 29.5 y 31.1°C (Garcíes y Cuxart, 2006). Tomando en cuenta lo señalado por Arreguín-

Sánchez *et al*. (2008), este escenario no le es favorable a la productividad primaria y por lo tanto al reclutamiento del camarón rosado en el Golfo de México.

Respecto a las pesquerías, FAO (2002) muestra algunas predicciones de producción de grupos de especies que conforman los mayores recursos pesqueros del Pacífico Norte y del Atlántico Norte. Estas predicciones están basadas en la relación entre las capturas y el régimen atmosférico en períodos de 55, 60 y 65 años (basados en fluctuaciones climáticas), el resultado es que la producción de las mayores especies comerciales seleccionadas se espera que decrezcan en el Pacífico del norte y que se incrementen en el Atlántico del norte en la próxima década (figura 6). Especies como el arenque del Pacífico, el bacalao del Atlántico, las sardinas de Sud Africa y de Perú y la anchoveta japonesa se espera un incremento entre 2000 y 2015, para decrecer posteriormente. En contraste, la producción total de las sardina japonesa, peruana, californiana y europea, el salmón del Pacífico, el pollock de Alaska y la macarela de Chile se espera que su producción disminuya para incrementarse posteriormente. La captura total de las especies consideradas –las cuales representan cerca de un tercio de los desembarques de especies marinas–, se espera a se incrementen en 5.6 millones de toneladas hacia el 2015, para disminuir en 2.8 millones de toneladas hacia el 2030; cabe mencionar que estas predicciones no toman en cuenta los niveles de explotación de los recursos.

Sugerencias y recomendaciones

Varios autores comparten la idea de que es innegable el efecto del cambio climático sobre los ecosistemas y/o sobre las pesquerías; también coinciden en que el nivel de explotación de muchos recursos pesqueros debe reducirse y aún, se deberían determinar zonas oceánicas libres de

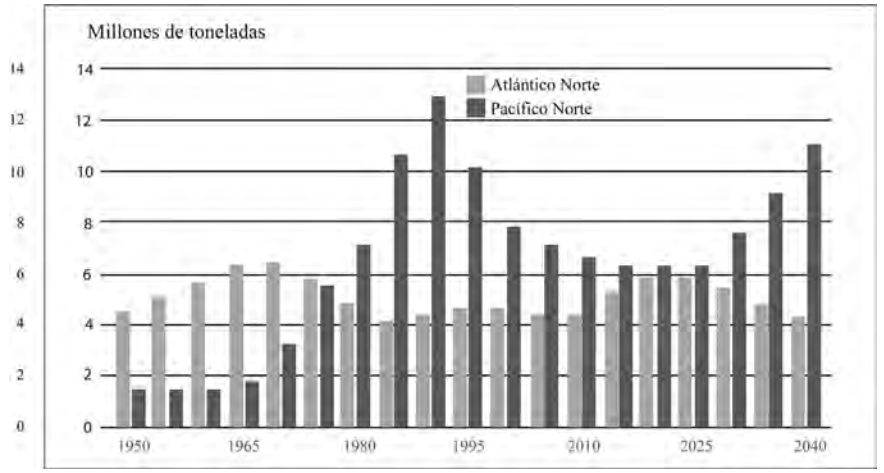


Figura 6. Tendencias de captura observadas (1951-1998) y predicciones (2000-2040) de las mayores especies comerciales. Tomada de FAO (2002).

pesca y en otras, el esfuerzo de pesca debe disminuir a niveles razonables para poder esperar la sostenibilidad de las pesquerías. Además, desde épocas anteriores se han presentado cambios en el clima de la tierra, sin embargo, actualmente el planeta está sometido a cambios climáticos abruptos inducidos en parte por las actividades humanas; la predictibilidad de estos cambios y sus consecuencias tienen aún una fuerte incertidumbre, por lo que los encargados de las políticas pesqueras deberían crear mecanismos para incrementar la investigación sobre el cambio climático (Alley *et al.,* 2003). Es más adecuado adaptar los sistemas de gestión del ecosistema y sus recursos, la toma de acciones diseñadas para mejorar la adaptabilidad y resiliencia de los ecosistemas y la economía.

Lo que es claro es que el clima seguirá cambiando y las pesquerías seguirán adaptándose a esos cambios, como lo han hecho en el pasado (Sharp, 2003). Las pesquerías más sensibles a las variables climáticas son en orden descendente: a) pesquerías de agua dulce en pequeños lagos y ríos, en regiones con grandes cambios de temperaturas y lluvias; b) pesquerías dentro de la zona económica exclusiva (ZEE), particularmente donde los mecanismos de regulación del acceso reducen artificialmente la movilidad de grupos pesqueros y sus flotas y así las habilidades para ajustar fluctuaciones en la distribución y abundancia del stock; c) pesquerías en grandes ríos y lagos; d) pesquerías en estuarios, particularmente donde hay especies sin migración o patrones de dispersión del desove o en estuarios impactados por aumento en el nivel del mar o decrecido flujo del río; e) pesquerías marinas de altura. Además de lo mencionado, una observación especial merecen las pesquerías más sensibles al cambio climático, como son aquellas más afectadas por la intervención del hombre con la construcción de tapos, disminución del accesos a migraciones río abajo o río arriba, relleno de humedales y otros impactos urbanos, agrícolas y manipulación de hábitats. Es por tanto muy importante para la administración de los recursos el tomar en cuenta tanto aspectos oceanográficos, como biológico-pesqueros para un mejor manejo y administración del recurso.

Se ha recomendado que para reducir los impactos del cambio climático sobre las pesquerías, el mecanismo más plausible sería reducir la mortalidad por pesca de los stocks que se encuentran en máximo nivel de explotación y los sobreexplotados (Brander, 2007). Se propone también una reducción de la capacidad de pesca sobre los océanos y el establecimiento de zonas oceánicas libres de pesca y por otro lado el disminuir el esfuerzo a niveles razonables en otras zonas del océano; estas medidas permitirían la sustentabilidad de los recursos (Pauly *et al*., 2002).

Referente a las pesquerías mexicanas, como se ha mencionado, la mayor parte están a un nivel máximo de explotación, por lo que las medidas señaladas anteriormente son válidas: reducción del nivel de mortalidad por pesca, creación y sobre todo respeto de las zonas prohibidas a la pesca (áreas naturales protegidas), a las medidas de regulación pesqueras (vedas, artes de pesca, patrón de pesca, etc.). Asimismo es importante desarrollar políticas de ordenamiento y manejo pesquero con enfoques ecosistémicos y adapatativos que incluya el desarrollo de tecnología, procesamiento y distribución de los recursos ante el gasto energético y la búsqueda de los recursos.

Literatura citada

Alley,R. B., J. Marotzke, W. D. Nordhaus, J. T. Overpeck, D. M. Peteet, R. A. Pielke Jr., R. T. Pierrehumbert, P. B. Rhines, T. F. Stocker, L. D. Talley, y J. M. Wallace, 2003. Abrupt climate change. *Science,* 299: 2005-2010.

Allison, M., C. Badjeck, W. N. Adger, K Brown, D. Conway, A. S. Halls, G. M. Pilling, J. D. Reynolds, N. L. Andrew, y N. K. Dulvy, 2009. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. *Journal Compilation Fish and Fisheries*, 2009; 1-24.

Arreguín-Sánchez F., M. Ramírez-Rodríguez, M.J. Zetina-Rejón, y V. H. Cruz-Escalona, 2008. Natural hazards, stock depletion, and stock management in the southern Gulf of Mexico pink shrimp fishery. *American Fisheries Society Symposium,* 64: 419–428.

Brander, K. M., 2007. Global fish production and climate change. *PNAS,* 104 (50): 19709–19714.

Cazenave A., y R. Nerem, 2004. Present-day sea level change: Observations and causes'. *Reviews of Geophysics,* 42(3): 139–50.

Chávez F. P., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota, y M.C. Ñiquen, 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, 299: 217-221.

FAO, 2002. The State of the World Fisheries and Aquaculture. FAO Fisheries Department. Roma, Italia. 150p.

Fernández A., y J. Martínez J. (coords.), 2003. Avances de México en materia de cambio climático, 2001-2002. INEGI, México. 112p.

Garcies L., y J. Cuxart, 2006. Tendencias futuras de la temperatura superficial del mar en el Caribe y el Mediterráneo occidental. *Tethys*, 3: 21–26.

Gitay H., A. Súarez, R. T. Watson, y D.J. Dokken (eds.), 2002. Climate Change and Biodiversity. IPCC. UNEP. 86 p.

Harley C. D. G., A. R. Hughes, K. M. Hultgren, B. G. Miner, C. J. B. Sorte, C. S. Thornber, L.F. Rodriguez, L. Tomanek, y S.L. Williams, 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters*, 9: 228–241.

Hoerling M. P., J. W. Hurrell, y T. Xu, 2001. Tropical origins for recent North Atlantic climate change. *Science,* 292: 90-92.

IPCC TAR, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, N. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell y C. A. Johnson (eds.), 2001. Climate Change 2001: The scientific basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Jackson J.B.C., M. X Kirby, W.H. Berger, K.A. Bjorndal, L.W. Botsford, B.J. Bourque, R.H. Bradbury, R. Cooke, J. Erlandson, J.A. Estes, T.P. Hughes, S. Kidwell, C.B. Lange, H.S. Lenihan, J. M. Pandolfi, C.H. Peterson, R.S. Steneck, M.J. Tegner, y R.R. Warner, 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, 293: 629-638.

Kirby R. R., G. Beaugrand, y J.A. Lindley, 2009. Synergistic effects of climate and fishing in a marine ecosystem. *Ecosystems*, DOI: 10.1007/s10021-009-9241-9.

Lehtonen H., 1996. Potential effects of global warming on northern european freshwater fish and fisheries. *Fisheries Management and Ecology*, 3: 59-71.

Levitus S., J. I. Antonov, T. P. Boyer, y C. Stephens, 2000. Warming of the world ocean. *Science*, 287: 2225–2229.

Levitus S., J. Antonov, y T. Boyer, 2005. Warming of the world ocean, 1955–2003. *Geophysical Research Letters,* 32, L02604, doi:10.1029/2004GL021592.

Levitus S., J.I. Antonov, T.P. Boyer, R.A. Locarnini, H.E. Garcia, y A.V. Mishonov, 2009. Global ocean heat content 1955–2008 in light of recently revealed instrumentation problems. *Geophysical Research Letters,* 36, L07608, doi:10.1029/2008GL037155, 2009.

Mantua J. N., y P.W. Mote, 2002. Uncertaintity in scenarios of human-caused climate change. p. 263-272. *In:* N. A. MacGinn (ed.). Fisheries in a changing climate. American Fisheries Society, Symposium 32, Bethesda, Maryland.

Marten S., S. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke, y B. Walker, 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature,* 413: 591-596.

McGowan J. A., D.R. Cayan, y M.D. LeRoy, 1998. Climate-ocean variability and ecosystem response in the Northeast Pacific. *Science*, 281: 210-217.

Parmesan C., y G. Yohe, 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature,* 421: 37-42.

Parmesan C., 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst*., 37:637–69.

Pauly D., V. Christensen, S. Guénette, T.J. Pitcher, U.R. Sumaila, C. J. Walters, R. Watson, y D. Zeller, 2002. Toward sustainability in world fisheries. *Nature,* 418: 689-695.

Perry A. L., P.J. Low, J.R. Ellis, y D. Reynolds, 2005. Climate change and distribution dhifts in marine fishes. *Science,* 308: 1912-1915.

Pörtner H. O., y R. Knust, 2007. Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance. *Science,* 315: 95-97.

Reilly J.P., H. Stone, C.E. Forest, M.D. Webster, H.D. Jacoby, y R.G. Prinn, 2001. Uncertainty and climate assessment. *Science*, 293: 430-433.

Richardson A. J., y D.S. Schoeman, 2004. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science,* 305 (5690): 1609-1612.

Sagarpa, 2004. Carta Nacional Pesquera. 2004. http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_carta_nacional_pesquera_2004.

Scavia D., J.C. Field, D.F. Boesch, R.W. Buddemeier, V. Burkett, D.R. Cayan, M. Fogarty, M. A. Harwell,R.W. Howarth, C. Mason, D.J. Reedd, T.C. Royer, A.H. Sallenger, y J. G. Titus, 2002. Climate change impacts on US coastal and marine ecosystems. *Estuaries*, 25. 2-149:164.

Schubert R., H.J. Schellnhuber, N. Buchmann, A. Epiney, R. Grießhammer, M. Kulessa, D. Messner, S. Rahmstorf, y J. Schmid, 2006. The Future Ocean-Warming up, Rising High and Tourning Sour. Special report. German Advisory Council on Global Change. Berlin, Germany. 110 p.

Sharp G. D., 1998. The case for dome-shaped reponse curves by fish populations. p. 503-524. *In:* M.H. Durand, P.Cury , R. Mendelssohn, C. Roy, A. Bakun, and D. Pauly (eds.). Global *versus* local changes in upwelling systems. A report from the CEOS Workshop. Monterey California, septiembre 1994. ORSTOMS estions. Paris.

Sharp G. D., 2003. Future climate change and regional fisheries: a collaborative analysis. FAO Fisheries Technical Paper. Rome, FAO. 75p.

Winder, M., y D.E. Schindler, 2004. Climate change uncouples trophic interactions in an aquatic ecosystem. *Ecology*, 85(8): 2100-2106.

Wigley T. M., y S.C. Raper, 2001. Interpretation of high projections for global-mean warming. *Science*, 293: 451-454.

Worm B., E. B. Barbier, N. Beaumont, J. E. Duffy, C. Folke, B. S. Halpern, J. B. C. Jackson, H. K. Lotze, F. Micheli, S. R. Palumbi, E. Sala, K. A. Selkoe, J. J. Stachowicz, y R. Watson, 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science,* 314: 787-790.

Arreguín-Sánchez F., 2009. Cambio climátio y el colapso de la pesquería de camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*) de la Sonda de Campeche, p. 453-464. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Cambio climático y el colapso de la pesquería de camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*) de la Sonda de Campeche

Francisco Arreguín-Sánchez

Resumen

Se presentan las evidencias de la asociación del colapso de la pesquería de camarón de la Sonda de Campeche, y en particular del camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*), con eventos de cambio climático de las últimas cuatro décadas. Los rendimientos anuales del camarón rosado son actualmente 5% de los que se obtenían en la década de los 60 (cercanos a las 18 000 t), con el consecuente efecto negativo sobre la economía y desarrollo social de la región. Se describe la interpretación inicial de eventos como la sobrepesca, impactos negativos de corto plazo de diferente origen, y la degradación de la zona costera como causantes del estado del recurso; así como las evidencias que destacan el efecto del cambio climático como agente conductor de la tendencia decreciente de la abundancia del recurso desde inicio de la década de los 70. Se presentan como evidencia las tendencias de las anomalías del reclutamiento durante el periodo de 1970 a la mitad de la década de los 90, con respecto a las anomalías de la producción primaria del ecosistema, la temperatura, salinidad, nivel medio del mar y el índice de oscilación del Atlántico norte. Se concluye señalando la estrategia de manejo adoptada para esta condición del recurso.

El problema pesquero

Históricamente la pesquería de camarón de la Sonda de Campeche fue una actividad económica sumamente importante debido a los altos volúmenes de captura y a que la mayor parte de su producción se destinaba al mercado de exportación. Tenía también una relevancia social ya que por muchos años la explotación del camarón fue concesionada a sociedades cooperativas de producción pesquera, donde el objetivo era generar el mayor beneficio social posible a través de la generación de empleo e ingresos económicos (Arreguín-Sánchez *et al.,* 1997a, b; Gracia, 1997; Gracia *et al.,* 1997). También históricamente las especies comercialmente más importantes han sido el camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*), el blanco (*Litopenaeus setiferus*), café (*F. aztecus*), así como otras especies consideradas como secundarias, como son el camarón siete barbas (*Xyphopenaeus kroyeri*), el sintético *Trachypenaeus similis*, y el de roca (*Sicyonia brevirostris*).

El inicio de la pesquería de camarón con barcos arrastreros operando en la plataforma continental de la Sonda de Campeche data de la década de los años 40 (Navarrete del Proó, 2007), alcanzando un rápido desarrollo por la abundancia del recurso. Hacia finales de la década de los 50 hasta inicios de los 70, los rendimientos variaban entre 18 000 t y 25 000 t anuales, siendo el camarón rosado la especie más abundante, constituyendo entre 80% y 90% de las capturas totales. En esa época y hasta diciembre de 1979 operaron en la pesquería tres flotas, una de Estados Unidos, otra de Cuba y una de México. El potencial de explotación estimado para todas las especies era cercano a las 30 000 t anuales (Arreguín-Sánchez y Chávez, 1985). Desde enero de 1980 sólo la flota de México continuó en operación.

Actualmente esta pesquería reporta rendimientos de alrededor de 3 500 t anuales, de las cuales al camarón rosado le corresponden cerca del 30%, al camarón siete barbas cerca del 50% y el resto a otras especies, siendo que el camarón blanco se encuentra en veda permanente. En este contexto es claro el colapso de la pesquería donde la especie que mayor incidencia ha tenido en esta condición es el camarón rosado, cuya captura actual es de alrededor del 5% de la obtenida hace 5 décadas.

La tendencia histórica de las capturas de camarón rosado se muestra en la figura 1. Los rendimientos más altos se registraron a inicios de la década de los 60, aunque la pesquería se mantuvo en niveles altos de producción desde mitad de la década de los 50 hasta los primeros años de los 70. En la década de los 70 se empieza a observar un decremento en las capturas, y se pensó que la presión de pesca que las tres flotas ejercían sobre el recurso era intensa y los acuerdos multinacionales condujeron a la salida de las flotas estadounidense y cubana, hacia finales del año 1979 (Ponce-Díaz *et al.,* 2009). En la década de los 80 el rendimiento de la pesquería continuó decreciendo, sin embargo varios sucesos enmascararon la reducción en la abundancia del recurso, entre los más relevantes se pueden mencionar la reducción de más de 40% de la flota pesquera entre 1980 y 1982, ocasionado por la salida de las dos flotas extranjeras; pero también por la reducción de la flota mexicana asociada al cambio de propiedad promovido por el gobierno federal con el propósito de ceder los bienes de explotación directamente a las sociedades cooperativas.

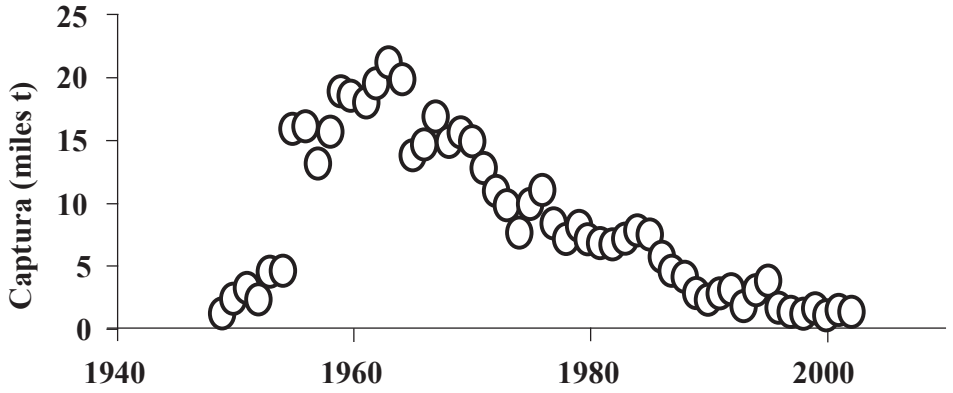


Figura 1. Tendencia histórica de las capturas anuales de camarón rosado (*F. duorarum*) de la Sonda de Campeche, México.

Así, durante la primera mitad de los años 80 no se detectó cambio en la abundancia del recurso, aspecto que empezó a notarse durante la segunda mitad de esa década. Por otro lado, fue justamente al inicio de esta década cuando inició operaciones de explotación la industria petrolera en la región marina de la Sonda de Campeche, habiéndose argumentado que la presencia de esta industria, por efecto de contaminación, perdida de hábitat marino y costero, entre otros, era la responsable de los bajos rendimientos, asociándose ya desde ese entonces con la condición de reducción de la abundancia del recurso. Esta idea se vio reforzada hacia inicios de los 90 dada la tendencia inversa entre los rendimientos de la pesca de camarón y la explotación de gas natural y petróleo de la región marina (figura 2).

A finales de la década de los 80 e inicios de los 90 ya era preocupante para el sector la reducción de la abundancia del recurso, y si bien continuaba la noción de un efecto negativo de la industria petrolera, también se identificaron altas tasas de explotación sobre el recurso tanto en la región marina, pero particularmente en aguas costeras, señalándose esta última como un elemento crítico y trascendente, ya que la explotación de juveniles en la región se había mantenido muy intensa por más de una década (Gracia, 1997).

Para esta época, mitad de los 90, habiéndose reconocido el deterioro del recurso, se intentó identificar las causas del estado de la pesquería emergiendo varias hipótesis; el efecto negativo de la industria petrolera (tanto por cierre de áreas al arrastre – zona de plataformas -, como por degradación de hábitat marino y costero); el efecto de la sobrepesca, tanto de reclutamiento como de crecimiento debido a altas mortalidades de adultos y reclutas, respectivamente; así como a posibles errores en la administración del recurso, aunque no tipificados y por tanto no evaluados.

Se menciona especialmente el posible efecto negativo del derrame del pozo "Ixtoc I" de junio de 1979 a marzo de 1980, como inicio del decremento de la abundancia de camarón, asumiéndose un impacto negativo intenso sobre el ecosistema por la duración del derrame,

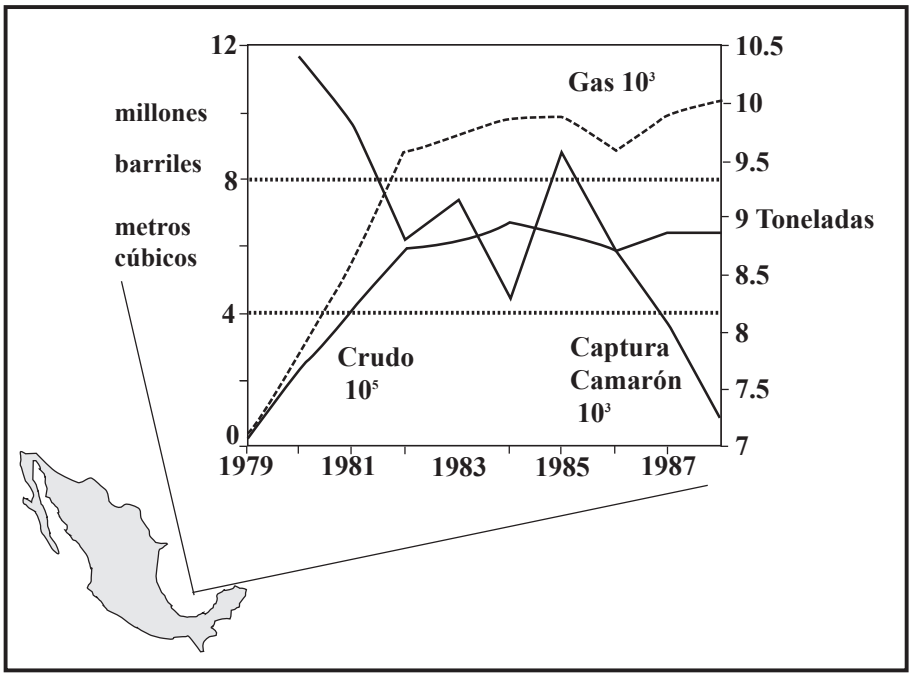


Figura 2. Tendencia de las capturas anuales de camarón y la producción de petróleo crudo y gas natural en la Sonda de Campeche durante la década de los 1980 (Tomada de Arreguín-Sánchez *et al.,* 1997b).

por la cantidad de petróleo vertido, de 3.3 millones de barriles, y por la extensión espacial que alcanzó. Sin embargo no hubo evidencia directa dado que una vez que desapareció la fuente de perturbación, el reclutamiento se recuperó al nivel previo inmediato. No obstante, la idea de una perturbación directa por parte de la industria petrolera permaneció, e incluso los reportes de impacto ecológico sugieren un posible efecto negativo a mediano plazo sobre la biomasa y producción de zooplancton (García-Cuellar *et al*., 2004; García-Cuellar, 2006).

También se mencionó la pérdida del efecto de criadero de las zonas costeras causando bajos niveles de reclutamiento asociado a eventos catastróficos de diversa intensidad, tanto de origen antropogénico (*e.g.* tala de manglar, relleno de costa o interrupción de flujos de marea por obra civil costera), como naturales (*e.g.* pérdida de hábitat por huracanes). No obstante estas hipótesis, no había evidencia contundente que demostrara una relación causa efecto.

A mitad de la década de los 90 se reconoció formalmente el deterioro del recurso a nivel de colapso de la pesquería, promoviéndose un fuerte esfuerzo de investigación científica y técnica multi-institucional y multidisciplinario con el fin de identificar una relación causa-efecto, bajo la premisa, implícita, de que el factor humano era responsable del estado del recurso. Así, se tomaron medidas administrativas limitando el acceso al recurso a través de periodos de veda y excluyendo la pesca de las zonas costeras, especialmente aguas interiores. En esta etapa los estudios pesqueros, además de diagnosticar el colapso de la pesquería, no predecían la

recuperación del recurso. El mejor escenario basado en modelos poblacionales resultó en una recuperación de 18% si se suspendía la pesca por un periodo de 10 años. Los modelos multiespecíficos basados en la estructura trófica del ecosistema (Arreguín-Sánchez, 2002, modificado de Manikchand-Haileman *et al.,* 1998) predecían una recuperación cercana a 40% si se controlaba de manera estricta y planeada la actividad de las otras flotas que operan sobre otros recursos-objetivo. Sin embargo, ambas premisas tomaban como base el tamaño del recurso en ese momento (mitad de los 90) donde el mejor escenario predecía una recuperación cercana al 30% de la abundancia existente al inicio de la década de los 70 (Arreguín-Sánchez, 2001; Arreguín-Sánchez *et al*., 2008), lo cual no reflejaba la recuperación esperada.

En este contexto, la estrategia de manejo del recurso fue declarar como objetivo la recuperación de la población al nivel de rendimiento máximo sostenible de etapas tempranas de la pesquería, manteniendo la talla mínima de captura, la no pesca dentro de las 15 millas de la zona costera, no pesca en aguas interiores, y una veda que se ajustaría año a año de acuerdo a las abundancias observadas; la idea era recuperar la población con base en el control de la mortalidad por pesca. En esos momentos, y de manera adicional, el sector pesquero analizaba la idea de sembrar postlarvas de camarón como medio de incrementar el reclutamiento, y por tanto la abundancia del recurso.

Identificación del efecto ambiental

Ramírez-Rodríguez *et al.* (2006) reportaron la presencia de un efecto ambiental significativo asociado a la abundancia de camarón; particularmente demostraron la existencia de una relación inversa donde los cambios de la temperatura explican de manera significativa cerca del 50% de la variación de reclutamiento, encontrando una relación similar, pero directa, con la salinidad. Por otro lado, Ramírez-Rodríguez *et al.* (2003) reportan cambios históricos en el patrón estacional de reclutamiento, donde para el periodo de 1974 a mitad de la década de los 80 predominaba un patrón con un máximo hacia el otoño; mientras que de mitad de los 80 a la época actual predomina un patrón con un máximo de reclutamiento en el verano (figura 3). Estos cambios parecen estar también fuertemente asociados a cambios en el régimen estacional de temperaturas. Por otro lado, de manera independiente Ramírez-Rodríguez y Arreguín-Sánchez (2003) y Navarrete del Proó (2007) reportan relaciones stock-reclutamento depensatorias para el camarón rosado con base en los modelos de Ricker (1975), Beverton y Holt (1957) (considerando incluso el efecto de la temperatura), y con base en un modelo trofodinámico del ecosistema (ver Zetina-Rejón, 2004 y Walters y Korman, 1999). En todos los casos la relación depensatoria inicia claramente desde los años 70 manteniéndose la tendencia hasta fines de los 90. Asimismo, Zetina-Rejón y Arreguín-Sánchez (2002) y Arreguín-Sánchez (2005, 2006), reportan una tendencia decreciente de la tasa de reclutamiento que viene desde inicios de los años 70 a hasta finales de los 90, esto es, las evidencias indican un decremento de la tasa de reclutamiento de camarón rosado durante tres décadas de manera continua (figura 4) sugiriendo un efecto de largo plazo, probablemente ambiental, afectando a la población.

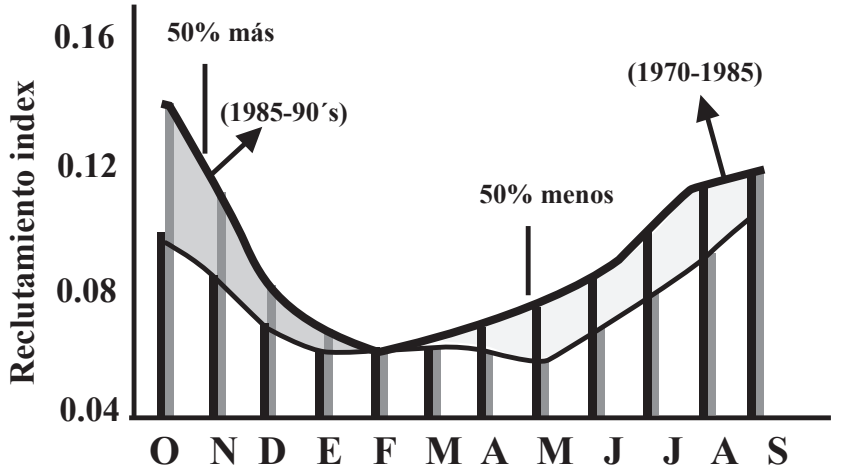


Figura 3. Cambio del patrón estacional de reclutamiento del camarón rosado en la Sonda de Campeche (Adaptada de Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2003)

Arreguín-Sánchez *et al*. (2008) analizó los efectos ambientales catastróficos de corto plazo en relación con la tendencia de la tasa de reclutamiento, y particularmente los efectos de impactos del derrame del pozo "Ixtoc I", de los huracanes Gilberto, Opal y Roxana; y la erupción del volcán Chichonal, que arrojó una cantidad importante de cenizas que se depositó en la zona costera, justo en zonas de crianza de juveniles. En todos los casos se observó una falla de reclutamiento puntual en el tiempo, y de magnitud variable según la intensidad y duración de la perturbación. No obstante, también se observó que el reclutamiento se recuperó una vez que la perturbación desaparecía, aunque la recuperación ocurrió siguiendo una tendencia decreciente de largo plazo (figura 5). Esto sugirió la presencia de un recurso saludable en cuanto a su resiliencia, comportándose como una especie estratega "*r*" típica *sensu* Odum (1972) y Margalef (1974) (corta longevidad y tasa de producción alta), aunque presionada por algún efecto de largo plazo.

En contraste con estos escenarios, las series históricas de la pesquería expresadas por la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), y el esfuerzo pesquero, no mostraban señal de agotamiento del recurso, sugiriendo simplemente que las capturas decrecieron porque el esfuerzo de pesca disminuyó y la CPUE se mantenía estable, sugiriendo una pesquería saludable (figura 6).

Efecto de gran escala: cambio climático

Zetina-Rejón (2004), con base en un modelo trofodinámico del ecosistema basado en el programa "Ecopath with Ecosim" (Christensen y Pauly, 1992; Walters *et al*., 1997; Christensen y Walters, 2004), estimó una serie de tiempo de producción primaria (PP) del sistema Sonda de Campeche - laguna de Términos para el periodo 1970 a 1995. Arreguín-Sánchez *et al.* (2008) mostró que esta anomalía de la PP presenta una tendencia casi paralela con la anomalía del re-

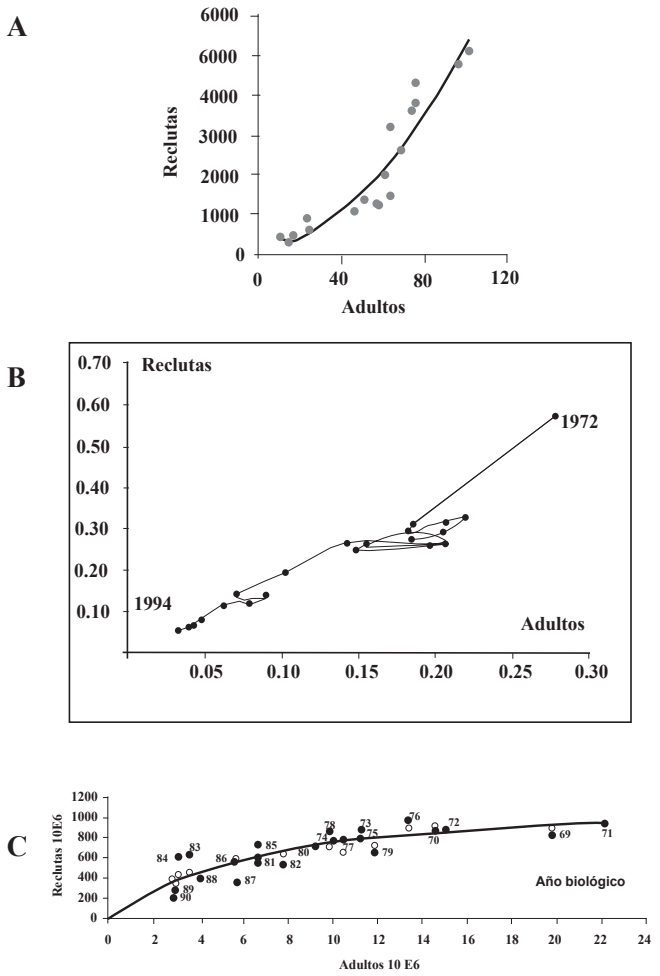


Figura 4. Modelos parentela-progenie para el camarón rosado de la Sonda de Campeche mostrando proceso depensatorio con base en: A) Modelo de Ricker (tomada de Arreguín-Sánchez *et al.,* 2008); b) Modelo Ecosim (Zetina-Rejón, 2004) ; c) Modelo de Bererton y Holt incorporando temperatura (Tomada de Ramírez-Rodríguez y Arreguín-Sánchez 2003).

clutamiento; en ambos casos, presentándose el cambio de fase en la primera mitad de la década de los 80, y coincidiendo con el cambio de fase de PP obtenida a partir de datos de imágenes de satélite para el periodo 1975 a 1985. En este contexto de tiempo, este autor mostró también una relación directa de la anomalía del reclutamiento con la anomalía de la salinidad; y una relación inversa con las anomalías de temperatura, del nivel medio del mar y del índice de oscilación del Atlántico norte (NOA), para el periodo de 1970 a finales de los 90 (figura 7).

Las tendencias de las anomalías de las variables mencionadas en el párrafo anterior respecto a la anomalía de reclutamiento sugieren un efecto de ambiental de largo plazo que afectó la abundancia del recurso camarón, al menos desde inicios de la década de los 70, cuando la pes-

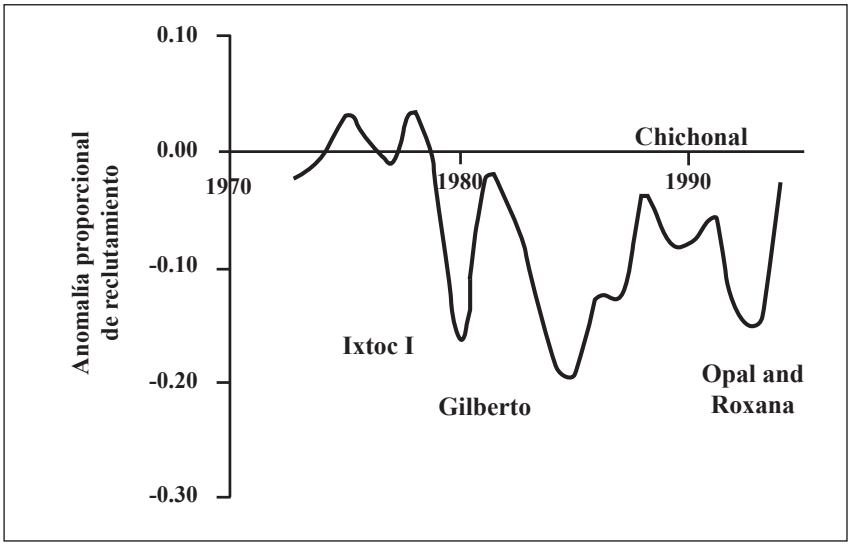


Figura 5. Tendencia de la anomalía del reclutamiento de camarón rosado de la Sonda de Campeche mostrando fallas de reclutamiento como consecuencia de eventos catastróficos de corto plazo (Adaptada de Arreguín-Sánchez *et al.*, 2008).

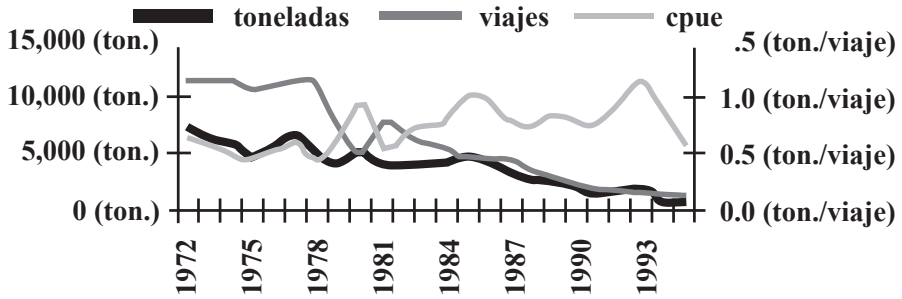


Figura 6. Tendencia histórica de captura, esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo de la pesca de camarón de la Sonda de Campeche.

quería se consideraba saludable y se obtenían altos rendimientos anuales. Asimismo, el cambio de fase en todas las anomalías mencionadas (figura 7) ocurrió en todos los casos hacia la mitad de la década de los 80, y coincide circunstancialmente con los diversos eventos mencionados inicialmente; el inicio de las operaciones de la industria petrolera en la zona marina de la Sonda de Campeche y el derrame del pozo "Ixtoc I" a inicios de los 80; la salida de las flotas cubana y estadounidense a partir de 1980; la reducción importante de la operación de la flota mexicana durante el proceso de cambio de propietario de la iniciativa privada a cooperativas pesqueras, que concluyó en 1984; y el cambio en el patrón estacional de reclutamiento justo a partir la mitad de la década de los 80.

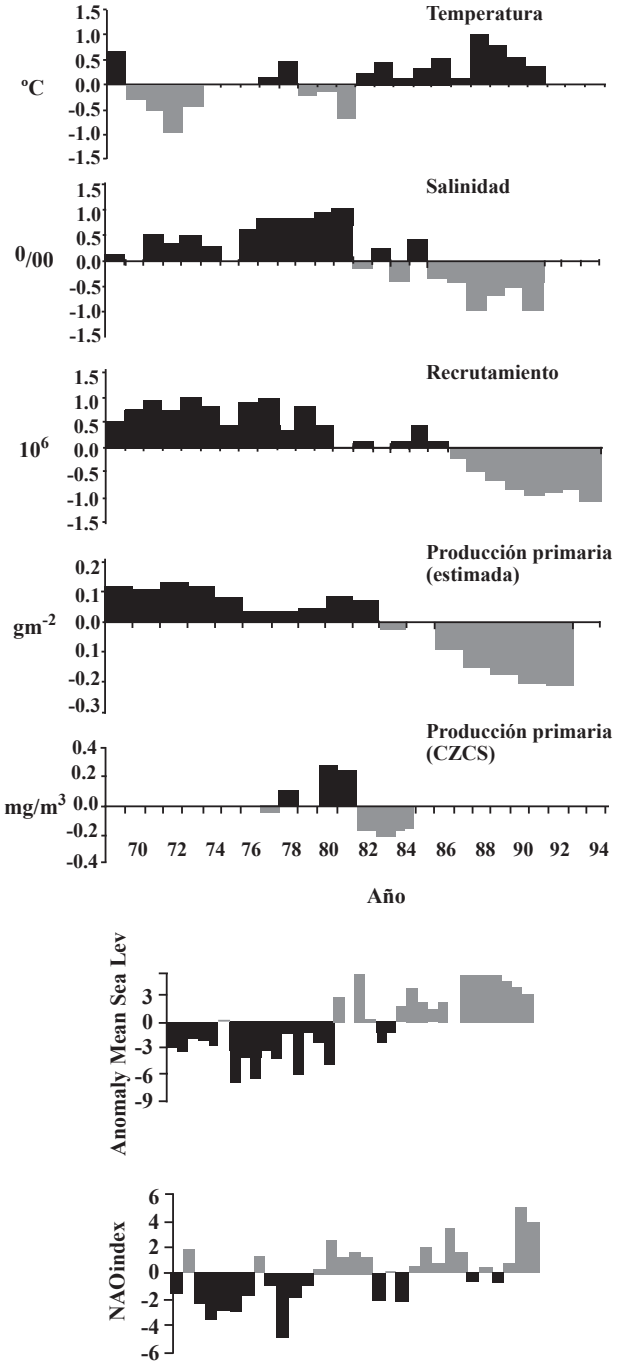


Figura 7. Serie histórica de la anomalía de reclutamiento de camarón rosado de la Sonda de Campeche y su relación con las anomalías de temperatura, salinidad, producción primaria (estimada y observada), nivel medio del mar y el índice de la oscilación del Atlántico Norte (adaptada de Arreguín-Sánchez *et al*., 2008).

Arreguín-Sánchez (2008) sugiere como probable mecanismo la caída global de la capacidad de carga en el banco de Campeche. En principio en la península de Yucatán no hay ríos superficiales que aporten nutrientes a mar que favorezcan la producción primaria. Solo las áreas muy cercanas a la costa reciben una influencia cuyo impacto es muy limitado en términos espaciales al considerar la extensión de la plataforma continental. Lo que esto sugiere es que la producción de la Sonda de Campeche descansa fundamentalmente en a la producción primaria fitoplanctónica. Por otro lado, las corrientes marinas en la Sonda de Campeche son de muy baja intensidad generando un sistema hidrodinámico de muy baja energía, el cual es insuficiente para remover por turbulencia nutrimentos del fondo que permitan reponer la baja en la producción primaria fitoplanctonica que, como muestra la figura 7, ha venido decreciendo desde inicio de la década de los 70.

En términos de la pesquería de camarón rosado de la Sonda de Campeche, la administración actual del recurso establece como objetivo mantener la población en los niveles de abundancia actuales empleando para ello las mismas técnicas mencionadas anteriormente, teniendo como punto central la determinación de inicio y término de la temporada de veda cuyo criterio fundamental es mantener el stock reproductor a través del control de la pesca. Esto en principio supone el mantener el stock saludable tal que, cuando las condiciones ambientales sean propicias, su abundancia se recupere.

Las tendencias observadas no argumentan ni prueban la ausencia o presencia de efectos negativos causados por la industria petrolera, por el desarrollo de la zona costera y efectos derivados, o por la propia pesca. La evidencia sugiere que es la tendencia a largo plazo, aquí interpretado como cambio climático, la que condicionó el patrón decreciente observado, a la cual se sumaron los efectos de los procesos antes mencionados de origen antropogénico. Por ello, el control apropiado de la mortalidad por pesca sigue siendo indispensable, siempre que esta se ajuste a una tasa de cosecha apropiada al tamaño del stock. Es importante llevar a cabo una adecuada administración de la industria petrolera y de las actividades humanas en la zona costera que garanticen condiciones adecuadas del hábitat y zonas de crianza; medidas que sin duda favorecerán el sostenimiento del recurso.

Agradecimientos

El autor agradece el apoyo recibido a través del proyecto SEP-CONACYT clave 104974, GEF-UNIDO-Semarnat, SIP-IPN (20090932), así como al Instituto Politécnico Nacional por los apoyos a través de COFAA y EDI.

Literatura citada

Arreguín-Sánchez, F., 2001. Towards the management of fisheries in the ecosystem context: the case of Mexico. *EU Fish. Bull. Coop*., 14(1-4):4-12

Arreguín-Sánchez, F., 2002. Impact of harvesting strategies on fisheries and community structure on the Continental Shelf of the Campeche Sound, Southern Gulf of Mexico. p.127-134. *In:* T. Pitcher y K. Cochrane (eds.). The use of ecosystem models to investigate multispecies management strategies for capture fisheries. Fisheries Centre Research Reports. 156 p.

Arreguín-Sánchez, F., 2005. Scientific advice for the management of benthic fisheries in Mexico: present status and perspectives. Proc. Simp. Fishing Impact on benthic ecosystems. *Amer. Fish. Soc.* (en prensa).

Arreguín-Sánchez, F, 2006. La pesca en México. p. 13-36. En: P. Guzmán-Amaya y D. Fuentes-Castellanos (eds.). Pesca, Acuacultura e Investigación en México. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Cámara de Diputados. LIX Legislatura / Congreso de la Unión. México D.F., México.

Arreguín-Sánchez F. y E.A. Chávez, 1985. Estado del conocimiento de las pesquerías de camarón en el Golfo de México. *Rev. Investigaciones Marinas CICIMAR*, 2(2):23-44.

Arreguín-Sánchez F., L.E. Schultz-Ruiz, A. Gracia, J.A. Sánchez y T. Alarcón, 1997a. Las pesquerías de camarón de altamar: Explotación, dinámica y evaluación. p.145-172. En: D. Flores-Hernández, P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo y F. Arreguín-Sánchez (eds.). Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México, EPOMEX Serie Científica, Campeche, México. 496 p.

Arreguín-Sánchez F., L.E. Schultz-Ruiz, A. Gracia, J.A. Sánchez y T. Alarcón, 1997b. Estado actual y perspectivas de la pesquería de camarón. p. 185-203. En: D. Flores-Hernández, P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo y F. Arreguín-Sánchez (eds.). Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México, EPOMEX Serie Científica, Campeche, México. 496 p.

Arreguín-Sánchez F., M. Ramírez-Rodríguez, M.J. Zetina-Rejón, y Victor H. Cruz-Escalona, 2008. Natural hazards, stock depletion, and stock management in the southern Gulf of Mexico Pink Shrimp Fishery. *American Fisheries Society Symposium,* 64: 419-428.

Arreguín-Sánchez, F., M. Zetina-Rejón, y M. Ramírez-Rodríguez, 2008. Exploring ecosystem-based harvesting strategies to recover the collapsed pink shrimp (*Farfantepenaeus duorarum*) fishery in the southern Gulf of Mexico. *Ecological Modelling*, 214:83–94.

Beverton, S.J.H., y S.J. Holt, 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Fish. Invest. London, Ser. II, 19: 533 p.

Christensen V., y D. Pauly, 1992. Ecopath II./ a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating metwork characteristics. *Ecological Modelling,* 61:169-185.

Christensen V., y C.J. Walters, 2004. Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations. *Ecological Modelling* 172: 109–139.

García-Cuellar, J.A., F. Arreguín-Sánchez, S. Hernández-Vázquez y D. Lluch-Cota, 2004. Impacto ecológico de la industria petrolera en la sonda de Campeche, México, tras tres décadas de actividad: una revisión. *Interciencia ,* 29(6):311-319.

García-Cuellar M.A., 2006. Análisis del impacto de la industria petrolera en el ecosistema y su relación con las pesquerías de la Sonda de Campeche, México. Tesis Doctor en Ciencias, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, México.

Gracia, A. 1997. Pesquería artesanal de camarón. p. 173-184. En: D. Flores-Hernández, P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo y F. Arreguín-Sánchez (eds.).Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México, EPOMEX Serie Científica, Campeche, México. 496 p.

Gracia, A., A.R. Vázquez-Bader, F. Arreguín-Sánchez, L.E. Schultz-Ruiz y J.A. Sánchez, 1997. Ecología de camarones peneidos. p. 127-144. En: D. Flores-Hernández, P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo y F. Arreguín-Sánchez (eds.). Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México, EPOMEX Serie Científica, Campeche, México. 496 p.

Manikchand-Haileman, S., L.A. Soto y E. Escobar, 1998. A preliminary trophic model of the continental shelf, South-western Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46: 885-899

Margalef, R., 1974. Ecología. Ed. Omega SA, Barcelona

Navarrete del Proó, A., 2007. Análisis de la Biología Pesquera de Camarón Rosado (*Farfantepenaeus duorarum*, Burkenroad, 1939), en la sonda de Campeche, Campeche, México. Tesis de Doctor en Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

Odum E.P., 1972. Ecología. Editorial Interamericana, México. 600 p.

Ponce-Díaz, G., F. Arregín-Sánchez, A. Díaz-de León y P. Alvarez Torres, 2009. Promotion and management of marine fisheries in Mexico. p. 233-251. *In:* G. Winter (ed). Towards Sustainable Fisheries Law, A Comparative Análisis. IUCN Environmental Policy and Law Paper No. 74

Ramírez-Rodríguez, E.M., F. Arreguín-Sánchez, y D. Lluch-Belda. 2003. Recruitment patterns of the pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum* in the southern Gulf of Mexico. *Fisheries Research*, 65:81-88

Ramírez-Rodríguez, M., y F. Arreguín-Sánchez, 2003. Spawning stock recruitment relationship of pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum* in the southern Gulf of México. *Bulletin of Marine Science,* 72(1): 123-133.

Ramírez-Rodríguez, M., F. Arreguín-Sánchez y D. Lluch-Belda, 2006. Tendencias del reclutamiento del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum*, temperatura y salinidad superficial en la Sonda de Campeche, sur del Golfo de México. *International Journal of Tropical Biology and Conservation,* 54 (4): 1241-1245.

Ricker W.E., 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board*, 191:382p.

Walters, C., V. Christensen, y D. Pauly, 1997. Structuring dynamic models of exploited ecosystem from trophic mass-balance assessments. *Rev. Fish. Biol. Fish*., 7:139-172

Walters C.J., y J. Korman, 1999. Linking recruitment to trophic factors: revisiting the Beverton–Holt recruitment model from a life history and multispecies perspective. *Reviews in Fish Biology and Fisheries,* 9: 187–202

Zetina-Rejón M.J., y F. Arreguín-Sánchez, 2002. Flujos de energía y estructura trófica de la Sonda de Campeche, Suroeste del Golfo de México. p. 70-77. En: A. Wakida-Kusunoki, R. Solana Sansóres y J. Uribe-Martínez (eds.). Mem. III Foro de Camarón del Golfo de México y del Mar Caribe. Instituto Nacional de la Pesca, México.

Zetina Rejón, M.J., 2004. Efectos de la pesca en ecosistemas interdependientes: Laguna de Términos y Sonda de Campeche, México. Tesis de Doctor en Ciencias. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur, México.

Solana-Sansores L.R., y G.A. Compeán-Jiménez, 2010. Efectos del cambio climático en la pesquería mexicana del atún del Pacífico, p. 465-472. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Efectos del cambio climático en la pesquería mexicana del atún del Pacífico

L. Rafael de J. Solana-Sansores y Guillermo A. Compeán-Jiménez

Resumen

El Calentamiento Global tenderá a cambiar las condiciones oceanográficas en el Océano Pacífico Oriental (OPO). Esto finalmente repercutirá en la dinámica espacial del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y por tanto en la pesquería mexicana que se desarrolla entorno a esa especie. Al OPO se le considera una región tropical de aguas cálidas y templadas, bañada por tres masas de agua superficiales predominantes. Entre sus características destacan la de presentar una termoclina superficial y una gran influencia de los procesos costeros que se desarrollan en el litoral americano. Esto último, conjuntamente con la presencia de zonas de surgencia, permiten desarrollarse zonas propicias para la reproducción del atún. Esta especie tiene preferencias por aguas cálidas y realiza amplias migraciones, siguiendo señales ambientales. Este comportamiento es el que marca la pauta en la actividad pesquera, observándose que las maniobras de pesca aprovechan las características oceanográficas prevalecientes en el OPO, las señales ambientales (presencia de delfines, objetos flotantes, actividad de alimentación de aves marinas, etc.) y el mismo comportamiento de las poblaciones de atún. Así, la modificación de las condiciones climáticas globales afectará indudablemente a la pesquería del atún, que se verán reflejados en sus patrones de distribución y migración, así como en el éxito de las capturas. Por ello, México deberá redoblar esfuerzos para adaptar esquemas que permitan seguir contando con una pesquería sustentable.

Introducción

La pesquería mexicana del atún se desarrolla en el denominado Océano Pacífico Oriental (OPO). Esta porción de mar abarca aproximadamente unos 35 millones de kilómetros cuadrados, entre las costas americanas y los 150° W y desde los 28° N hasta los 20° S. El OPO cuenta características muy especiales que lo hace exclusivo en el mundo. Por ejemplo, es una región con altos valores de productividad primaria y cuenta con una termoclina relativamente poco profunda, ubicada aproximadamente a 200 m desde la superficie del mar. La principal especie capturada es el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), aunque también se registra una captura relativamente importante de barrilete (*Katsowomus pelamis*). A la primera especie se le considera altamente migratoria, ya que realiza amplios circuitos de migración que abarcan prácticamente todo el OPO. Se supone que las rutas de migración que realiza están ligadas fuertemente a las características oceanográficas prevalecientes en el OPO, como serían la presencia de corrientes cálidas, los frentes oceánicos y señales ambientales que ayudan a los cardúmenes en la localización de sitios con gran abundancia de alimento o propicios para la reproducción.

Los patrones de migración del atún aleta amarilla obedecen a la búsqueda permanente de zonas propicias para el desarrollo y el éxito de las poblaciones. Por ejemplo, el encuentro de señales en la superficie terrestre, como serían los objetos flotantes indica a las poblaciones de atún la presencia de zonas de alimentación. La abundancia de estos objetos flotantes obedece a la cercanía de las costas donde desembocan los ríos, como sería el caso de la bahía de Panamá. Asimismo, las acumulaciones de objetos flotantes u otro tipo de señales en la zona oceánica puede ser consecuencia de la presencia de frentes oceánicos, los cuales son producto de la convergencia de dos corrientes marinas de circulación contraria. Así, los cambios de regímenes de precipitación pluvial en las costas americanas, producto de un cambio climático, tendrán como consecuencia una disminución de las corrientes de los ríos hacia el mar y, por tanto, la disminución de las descargas dulceacuícolas y su cargamento de objetos flotantes. Del mismo modo, cambios globales en las corrientes marinas provocarán cambios importantes en los patrones de distribución de las principales corrientes marinas del OPO. Estos cambios finalmente tendrán consecuencias importantes en la dinámica de la pesquería mexicana del atún aleta amarilla en el Pacífico Oriental.

Elementos medioambientales, sociales-económicos y políticos que afectan el desarrollo de la pesca de atún en el Pacífico Oriental

En la figura 1 se presenta el desarrollo de la pesquería mexicana del atún en el Pacífico Oriental, desde 1950 hasta 2007. Antes de 1980, México participaba de manera marginal en la pesquería. A partir de ese año, como consecuencia de apoyos económicos la captura de atún se duplico. Este crecimiento se estabilizó a partir de 1990, en alrededor de las 100 mil toneladas. A partir de ese año se registran algunos acontecimientos que afectaron a la dinámica pesquera

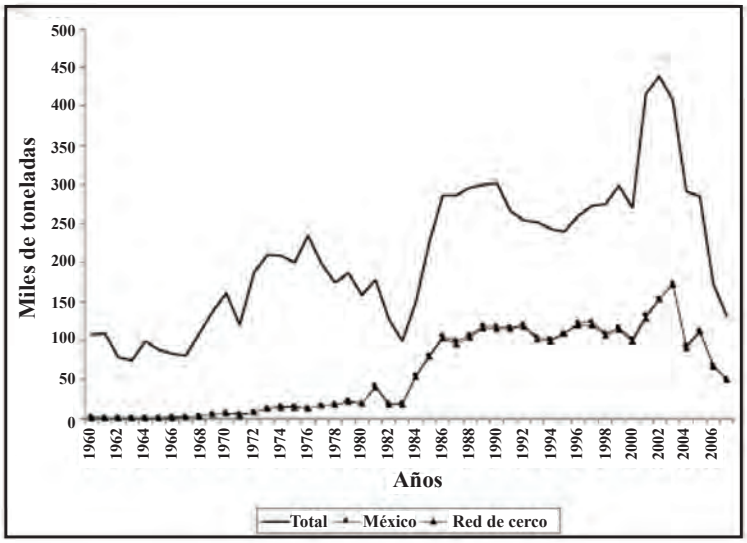


Figura 1. Capturas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Pacífico Oriental (miles de toneladas), realizadas por México (1960 – 2007).

de México: 1) el inicio del embargo atunero, motivado por la mortalidad incidental de delfines (1991); 2) El desarrollo de una pesquería de atún en el sur del OPO, con el uso de Objetos Flotantes Artificiales Agregadores de Peces (FAD, por sus siglas en inglés); 3) El desarrollo de acuerdos internacionales para la protección y conservación de delfines y aprovechamiento del atún; entre los más importantes. Todos estos acontecimientos económicos, sociales y políticos, desarrollaron un nuevo ambiente de desarrollo para la pesquería.

Aunado a lo anterior, en el OPO se han registrado eventos ambientales y en la dinámica del atún aleta amarilla que han afectado los niveles de productividad en la pesquería mexicana. En cuanto a la propia dinámica de la población de atún aleta amarilla se han observado diferentes niveles de reclutamiento. Por ejemplo, se ha registrado que la población de esta especie mostró un alto nivel de reclutamiento durante 1983; sin embargo, en años recientes el ingreso de nuevos individuos a la pesquería ha disminuido a un valor intermedio. Estos cambios de regímenes de reclutamiento, sin embargo, han permitido sostener a la pesca en el OPO e incluso soportar un incremento de la pesca de juveniles en el sur. Desafortunadamente todo indica que esto no podrá ser soportado por mucho tiempo, de tal forma que durante el periodo de 2005 a 2007, el rendimiento pesquero estuvo por debajo del nivel correspondiente al máximo sostenible promedio. "Una estimación del efecto de este tamaño de población reducido es que la depredación por aletas amarillas adultos sobre otras partes del ecosistema es reducida a aproximadamente el 36% de lo que fue en ausencia de una pesquería" (CIAT, 2008).

Como se observa, todos estos aspectos biológicos, ambientales y los provocados por el hombre han afectado la propia dinámica de la pesquería. Si a esto se le adiciona un cambio en el régimen climático, por ejemplo una elevación de la temperatura en la superficie del mar, esta

podrá potenciar a los factores descritos en los párrafos precedentes. Esto, finalmente repercutirá en la pesca mexicana del atún, teniendo como consecuencia cambios importantes en su dinámica, en su productividad y en los beneficios económicos y sociales que esta actividad trae para México.

Efectos del cambio climático en la pesca del atún del Pacífico Oriental

Los atunes tropicales del Pacífico Oriental llevan a cabo su ciclo de vida en las primeras capas superficiales del océano. Todos ellos tienen un comportamiento migratorio, por razones de alimentación y/o por reproducción. Estos lo realizan orientándose por diversos elementos del ecosistema, como los frentes oceánicos, presencia de objetos flotantes, montes submarinos y corrientes marinas. Un cambio en el régimen climático, con el consecuente efecto en la circulación oceánica, tendría efectos significativos en este comportamiento migratorio. En el caso del atún aleta amarilla se pudieran observar los siguientes cambios:

1. **Una modificación de las zonas principales de distribución de los peces.** Se puede prever que los patrones espaciales de la población de atún aleta amarilla se extienda hacia latitudes más al norte. En la figura 2 se presentan los patrones de distribución espacial de los lances de pesca realizados por la flota atunera mexicana (puntos), los cuales coinciden con la presencia de atún. El efecto del calentamiento global en las poblaciones de atún tropical se esquematiza con la dirección de la flecha. Si esto se registra durante los próximos años, el esfuerzo de pesca y de búsqueda de cardúmenes por parte de la flota mexicana tenderá a incrementarse, haciendo más costosas las operaciones de pesca.
2. **Una modificación de las relaciones ecológicas de los atunes tropicales.** Los atunes tropicales se consideran especies altamente migratorias y son muy sensibles a los cambios experimentados en los hábitats. Las migraciones se producen por las necesidades alimenticias de los organismos y por adaptaciones evolutivas para su éxito reproductivo. El calentamiento global, con un efecto importante en las primeras capas del océano, afectará sustancialmente la circulación de las aguas y la distribución de las masas de agua que dominan en el OPO. Estos cambios provocarán que los atunes modifiquen sus trayectorias de sus ciclos migratorios, así como también en la periodicidad en ellas. Del mismo modo, es posible suponer que las zonas importantes de reproducción cambiarán en cuanto a su productividad biológica, de tal suerte que los sitios de desove y crianza se vean disminuidos en alimento disponible afectando la sobrevivencia de los futuros reclutas; esto, independientemente de que la zona de desove se extenderá estacionalmente hasta la boca del Golfo de California. Hasta donde se sabe, la presencia de las larvas de atún aleta amarilla en el Océano Pacífico, es traspacífica aunque está limitada a las aguas tropicales donde su distribución se restringe a las aguas superficiales de no más de 50 a 60 metros de profundidad. En las costas mexicanas del Pacífico se le encuentra desde los 24º N hasta la frontera sur con Guatemala, incluida la zona de las Islas Revillagigedo.

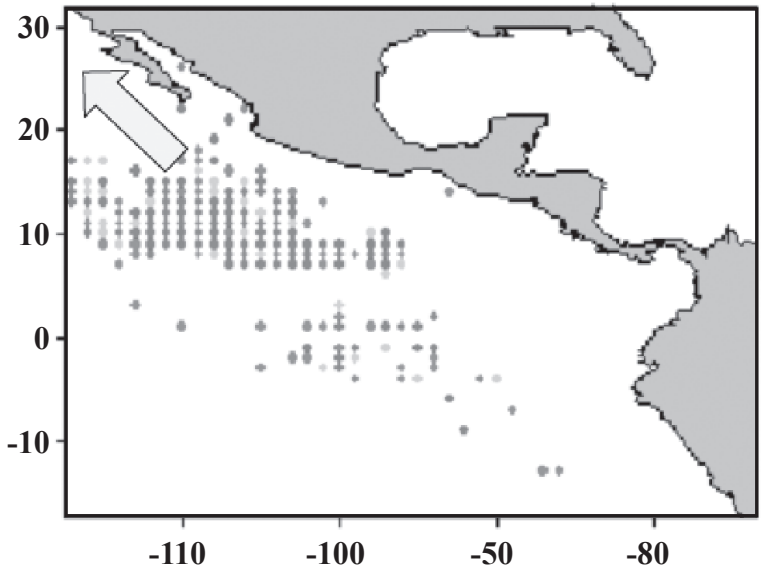


Figura 2. Patrones espaciales de los caladeros de pesca utilizados por la flota mexicana (puntos) y el efecto del cambio climático en el cambio de la distribución del atún tropical (flecha).

Uno de los principales lugares de desove y crianza de la población de esta especie es la bahía de Panamá, aunque también se considera importante el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca. La productividad de estos sitios esta íntimamente ligada por el escurrimiento de los ríos y el aporte de nutrimientos desde la zona terrestre (en el caso de Panamá) y por la presencia de surgencias (en el Golfo de Tehuantepec). Relacionado con esto, pero con una dinámica específica, es el efecto del calentamiento global en los grupos taxonómicos que constituyen el forraje (*e.g.* peces linterna, peces voladores, calamares, etc.), los cuales ocupan los niveles intermedios de la red trófica. Estos elementos son "un vínculo entre la producción primaria en la base de la red trófica y los depredadores de nivel trófico superior" (CIAT, 2008). Aunque existe una gran incertidumbre sobre los efectos en estos grupos sobre la pesca de atún, la mayoría de los científicos están de acuerdo que se tendrá efectos importantes. Finalmente, todos estos cambios en las relaciones ecológicas modificarán la estructura de la población del atún aleta amarilla, de otros atunes tropicales y, por último, en su aprovechamiento pesquero.

3. **Una modificación en la relación con el ambiente físico.** El cambio climático cambiará drásticamente los eventos de corto y mediano plazo. Por ejemplo, algunos autores han sugerido que los eventos de El Niño/Niña serán más frecuentes y más intensos. Esto pudiera ocasionar una dispersión en las poblaciones y escasez de alimentos para los peces, modificando la vulnerabilidad de los atunes al formarse menor cantidad de cardúmenes y la posibilidad de que los que se formen sean de menor tamaño; asimismo

afectar drásticamente la distribución de los huevos y larvas de los atunes tropicales y por tanto el reclutamiento. Otra modificación en el ambiente es la intensificación y alargamiento de la temporada de los huracanes. En el Pacífico oriental la temporada de huracanes suele iniciar durante los meses de verano y terminar en octubre o noviembre. Estos eventos catastróficos de corto plazo (anuales) suelen tener trayectorias que pasan por los principales sitios de pesca de atún en la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de México. Al intensificarse y alargarse la temporada de huracanes esto pudiera ocasionar una disminución de días de trabajo ya que los cardúmenes no pueden detectarse bajo condiciones de mar superiores al nivel 3 de la escala de Beaufort, mayor consumo de combustible en la búsqueda de lugares seguros para la pesca, incrementaría la probabilidad de accidentes en el mar y afectaría enormemente el abasto de atún para las plantas conserveras. Finalmente esto repercutiría en la escasez del producto en los mercados nacionales.

4. **Una modificación en los regimenes de pesca.** El comportamiento de la flota pesquera mexicana esta íntimamente ligada con la presencia de señales en la naturaleza asociados con los cardúmenes de atún en aguas superficiales. Por ejemplo, en la figura 3 se presenta un diagrama que ilustra los comportamientos típicos, de acuerdo con un viaje de

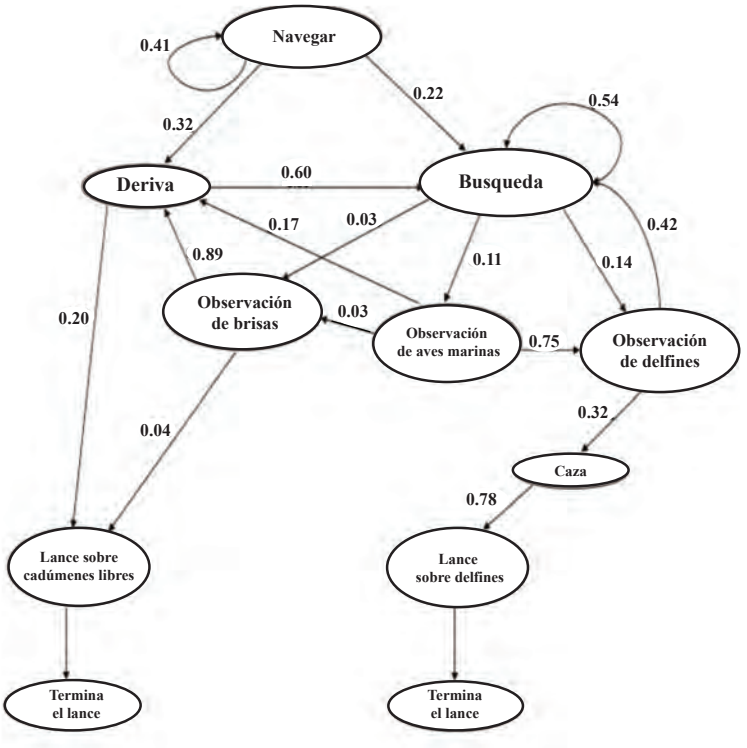


Figura 3. Comportamiento de la flota atunera mexicana, en presencia de señales ambientales.

pesca, que suele realizar una embarcación. Así, un barco navega; busca y encuentra señales o realiza un lance de pesca. Este diagrama se construyó por medio de un modelo de probabilidad de pasar de un estado del barco a otro estado: los círculos representan los estados de un barco y las flechas sus probabilidades de transición. Si es de suponer que el calentamiento global tendrá un efecto en todo el ecosistema marino, las señales utilizadas por la flota pesquera podrán cambiar su distribución. Por ejemplo, aves marinas que se han observado íntimamente relacionadas con los cardúmenes de peces podrán cambiar sus patrones de distribución espacial; lo mismo sucedería con manadas de delfines asociados con la pesca de atún. De esta forma, los efectos del cambio climático en los patrones de distribución deberán ser asimilados por la flota pesquera mexicana, que finalmente se adaptará. Sin embargo, en el proceso de adaptación se consumirá mayor cantidad de combustibles en el desplazamiento de las embarcaciones por el gran ecosistema marino del OPO, además de que el abasto de pescado no podrá ser garantizado. Además de lo anterior, el calentamiento global afectará seriamente algunos elementos de la potencia de pesca de la flota mexicana, como sería el caso de la capturabilidad. Esto pudiera ser el caso si este fenómeno tiende a incrementar la profundidad de la termoclina (capa de agua marina donde se produce un cambio brusco de temperatura), haciendo menos accesible a los peces.

Desarrollo de estrategias en México para mitigar el efecto del cambio climático en la pesca del atún

México, conjuntamente con otros países, deberá diseñar planes de acción para mitigar los efectos del cambio climático sobre la pesca del atún. Estos deberán desarrollarse con un enfoque integral, que comprenda entre otras cosas, lo siguiente:

a) En investigación se deberá realizar estudios con enfoques de manejo ecosistémico, que evalúen las relaciones de los peces con su ecosistema.

b) Se deberán mantener y apoyar de manera sostenida los programas de observadores científicos. Estos, además de realizar monitoreo de la pesca, deberán contar con protocolos específicos para observar otros elementos en la naturaleza.

c) Se deberá apoyar trabajos para desarrollo e innovación tecnológica en la captura, procesamiento y distribución del producto, enfocada a la disminución del gasto energético.

d) Desarrollar políticas de ordenamiento y manejo pesquero con enfoques ecosistémicos y adapatativos.

e) Se deberá incrementar la participación en los foros internacionales de manejo pesquero.

Lo anterior, entre otras cosas, para mitigar el efecto del calentamiento global en la pesquería mexicana del atún tropical en el Pacífico.

Literatura citada

Inter-American Tropical Tuna Commission (CIAT), 2008. Tunas and Billfishes in the Eastern Pacific Ocean 2007. Fishery Status Report No. 6. 140 p.

Bazzino Ferreri, G.A., 2009. Calamar gigante (*Dosidicus gigas*) y cambio climático: adaptaciones y vulnerabilidad, p. 473-482. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Calamar gigante (*Dosidicus gigas*) y cambio climático: adaptaciones y vulnerabilidad

Gastón A. Bazzino Ferreri

Resumen

En el presente capítulo se analizan algunos de los impactos potenciales causados por eventos climático-oceanográficos, tales como El Niño o La Niña, sobre la pesquería del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California y el Océano Pacífico. Además, se examina la reciente expansión geográfica de *D. gigas* con relación a ciertos atributos poblacionales (adaptaciones y vulnerabilidad) y su respuesta frente al cambio climático global (calentamiento global, expansión de la zona de mínimo oxígeno y acidificación de los océanos).

La pesquería de *D. gigas* y la ocurrencia de eventos el Niño/la Niña

La pesquería del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California (GC) es considerada en la actualidad una de las más importantes en el noroeste de México. La captura de esta especie se inició en el GC a principios de los 1970, en su mayoría por pequeñas embarcaciones a escala local. En el año 1980 se otorgaron permisos de pesca a grandes barcos y la captura anual alcanzó las 22 000 toneladas. En 1982, la pesquería se colapsó y el calamar prácticamente desapareció del GC durante casi una década. Algunas posibles explicaciones para dicho colapso incluyeron la posibilidad de una sobreexplotación del recurso o incluso una disminución en la demanda de calamar en los mercados, lo cual podría haber causado que la captura del recurso no significara una oportunidad de negocio atractiva o rentable.

Según los antecedentes, el calamar gigante reapareció a partir de 1989, y para al año 1994 la pesquería reanudó operaciones en la región central del GC reflejando un patrón estacional bien marcado que se mantiene hasta el presente. Durante los meses de verano (mayo-octubre) la pesquería opera en la región de Santa Rosalía (Baja California Sur), mientras que durante el invierno (noviembre-mayo) se localiza en la región de Guaymas (Sonora) (Markaida y Sosa-Nishizaki, 2001). Por otro lado, las capturas comerciales de *D. gigas* en el Océano Pacífico frente a la península de Baja California han sido esporádicas u ocasionales, centrándose principalmente en la región costera frente a bahía Magdalena sólo en algunos años y durante cortas temporadas de pesca, al parecer coincidiendo con la ocurrencia de eventos El Niño (*e.g.* año 1998).

Durante los últimos 10 años, el calamar gigante se ha convertido en una de las pesquerías más importantes del país con capturas que han superado las 100 000 toneladas en algunos años (figura 1). Sin embargo, se ha observado una fuerte variabilidad interanual en la serie histórica de las capturas provocando un grado de incertidumbre en relación al aseguramiento de la materia prima para la industria establecida. Hasta la fecha se desconocen las causas de esta variabilidad aunque las primeras explicaciones sugirieron que puede haber una relación con los patrones migratorios de alimentación, de reproducción o con el éxito del reclutamiento (Klett-Traulsen, 1981; Ehrhardt *et al*., 1982, 1986; Ramírez y Klett-Traulsen, 1985) y más recientemente otros autores han sugerido que dicha variabilidad puede estar relacionada a factores climático-oceanográficos, como la ocurrencia de eventos El Niño o La Niña (Lluch-Cota *et al.,* 1999; Morales-Bojórquez *et al*., 2001; Nevárez-Martínez *et al.*, 2002)..

Los episodios más evidentes de variabilidad espacio-temporal en la disponibilidad de calamar gigante dentro del GC fueron observados durante las temporadas de pesca de 1998 y 2005. En el primer caso coincide con la ocurrencia del fuerte evento El Niño 1997-1998 y en el segundo caso con la presencia de anomalías cálidas durante 2004-2005 similares a las observadas en un evento El Niño débil. De acuerdo a los registros pesqueros (avisos de arribo), a comienzos de 1998 se registró una caída abrupta de las capturas de calamar gigante en las principales áreas de pesca del GC (Guaymas y Santa Rosalía), mientras que en el Océano Pacífico se comenzaron a observar grandes concentraciones de calamar gigante en la zona costera frente a la región

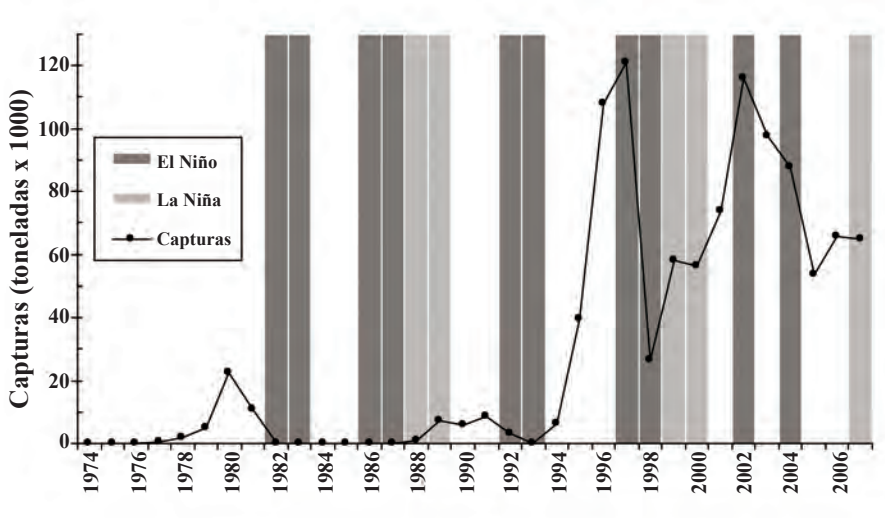


Figura 1. Capturas anuales de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en México durante el período 1974-2007 (datos proporcionados por Sagarpa). Los períodos sombreados indican la ocurrencia de eventos El Niño o La Niña.

de bahía Magdalena, las cuales impulsaron un desplazamiento de la flota pesquera del Golfo hacia dicha zona con registros de capturas que alcanzaron aproximadamente 12 000 toneladas (Nevárez-Martínez *et al.*, 2002).

Los eventos El Niño constituyen la señal interanual más fuerte de variabilidad climática en el GC (Herrera-Cervantes *et al.*, 2007; Lluch-Cota *et al.,* 2007) y en el Océano Pacífico Oriental. Esta posible relación entre la ocurrencia de eventos El Niño y el desplazamiento del calamar gigante por fuera del GC puede estar directamente asociada a un stress fisiológico causado por las altas temperaturas, o indirectamente a través de un efecto negativo sobre las poblaciones de peces mictófidos o de pelágicos menores (*e.g.* la sardina del Pacífico; Lluch-Cota *et al.*, 2007), las cuales constituyen algunas de las presas del calamar gigante dentro del GC (Markaida y Sosa-Nishizaki, 2003).

En este contexto, vale la pena mencionar que algunos de los posibles escenarios futuros de cambio climático contemplan un posible aumento en la amplitud y frecuencia de los eventos El Niño (Collins, 2000a y b; Latif y Keenlyside, 2008; Perry *et al.*, 2009), lo cual podría ocasionar una disminución considerable en la abundancia del calamar gigante dentro del GC y podría reflejarse en una mayor variabilidad interanual de las capturas con efectos negativos sobre la pesquería. Sin embargo, aún se desconoce con certeza cuáles son los impactos potenciales que pueden ocasionar determinados eventos climático-oceanográficos, tales como El Niño o La Niña, sobre la pesquería del calamar gigante en el GC o en el Océano Pacífico (figura 1).

Expansión geográfica de *Dosidicus gigas* y variabilidad climático-oceanográfica

El calamar gigante es una especie endémica del Océano Pacífico Oriental que se distribuye desde California (aprox. 40º N) hasta el sur de Chile (45º S) (Nesis, 1983; Nigmatullin *et al*., 2001). En años recientes se ha observado una expansión significativa de su área de distribución hacia el norte desde la región de California, pasando por la Columbia Británica hasta Alaska (figura 2; Cosgrove, 2005; Gilly, 2005; Wing, 2006; Zeidberg y Robison, 2007).

Es una especie que muestra un crecimiento rápido y un ciclo de vida corto que oscila entre 1 y 2 años (Nigmatullin *et al.*, 2001; Markaida *et al.*, 2004). Estas características en conjunto con una alta plasticidad ecológica o fenotípica (Markaida, 2006; Bazzino *et al.*, 2007) le permiten al calamar gigante una rápida adaptación a cambios en las condiciones ambientales o a cambios de hábitat (Bazzino, 2008; Bazzino *et al.*, 2010). De hecho, se ha demostrado que las especies con tiempos de generación cortos presentan ventajas adaptativas cuando experimentan cambios significativos en su rango de distribución geográfico, ya sea por efecto del calentamiento global (Perry *et al.*, 2005) o también en respuesta a cambios de la estructura trófica del ecosistema (Caddy y Rodhouse, 1998).

Figura 2. Distribución espacial de *Dosidicus gigas*. Se indica la expansión geográfica observada en años recientes (Roper *et al.*, 1984; Nigmatullin, 2001; Gilly, 2005).

A pesar de la capacidad exhibida por *D. gigas* para expandir su área de distribución en el Océano Pacífico Oriental; ¿porqué lo hace en determinados momentos? Esta es una pregunta compleja que incluye variaciones temporales en muchos aspectos biológicos y oceanográficos dentro de una gran variedad de escalas de tiempo. De acuerdo al trabajo publicado por Zeidberg y Robison (2007), la reciente expansión geográfica de *D. gigas* parece coincidir con cambios en las condiciones climático-oceanográficas: a) períodos de calentamiento asociados a los últimos eventos El Niño (1997-98 y 2002); y b) una fase de enfriamiento asociada al último cambio de régimen de temperatura en el Océano Pacífico Oriental que se registró a finales de la década de los años 90 (de templado a frío; Chávez *et al*., 2003).

En este contexto, vale la pena mencionar que el patrón de expansión actual en la distribución del calamar gigante se ha producido en conjunto con numerosos varamientos masivos a lo largo de la costa de California y con avistamientos en zonas más al norte, como Canadá y Alaska. De la misma forma, también se han observado patrones similares de varamientos y de expansión geográfica en el extremo austral del rango de distribución de *D. gigas* (región sur de Chile; Chong *et al.,* 2005), lo cual también ha sido asociado con una intrusión de aguas cálidas y un aumento del flujo en dirección polar.

Cambio Climático: adaptaciones y vulnerabilidad de *Dosidicus gigas*

Uno de los mayores desafíos que enfrentan las ciencias marinas contemporáneas es predecir la respuesta de las poblaciones, comunidades y ecosistemas frente a los cambios climáticos inminentes, tales como el calentamiento global, la expansión de la zona de mínimo oxígeno (ZMO) y la acidificación de los océanos (< pH).

Expansión de la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO)

En los últimos años se han publicado algunos trabajos que incluyen análisis a largo plazo de la dinámica de la ZMO y que describen una tendencia a la disminución del oxígeno disuelto a profundidades intermedias de la columna de agua. Esto es equivalente a un desplazamiento del límite superior de la ZMO hacia menores profundidades o a una expansión de la ZMO, tanto en el Pacífico tropical (Stramma *et al*., 2008) así cómo en el Pacífico subártico (Whitney *et al*., 2007). También se han observado periódicamente anomalías hipóxicas en zonas costeras frente a Oregón (EUA) durante los últimos 5 años (Grantham *et al*., 2004; Chan *et al*., 2008).

Esta expansión de la ZMO parece estar relacionada con la variabilidad climático-oceanográfica a través de diversos procesos y factores. Por ejemplo, el calentamiento global ha provocado una mayor estratificación de la columna de agua, lo cual dificulta el transporte e intercambio de oxígeno entre las capas profundas y superficiales. Por otro lado, se ha observado una tendencia al aumento de la productividad primaria (mayor cantidad de "blooms" fitoplanctónicos), lo cual se refleja en una mayor cantidad de materia orgánica en la columna de agua que conlleva

a una mayor disminución del oxígeno en la columna de agua (Kahru y Mitchell, 2008). Estos cambios en la concentración de oxígeno disuelto a profundidades intermedias constituyen un factor relevante en la estructura funcional del ecosistema pelágico de la Corriente de California y podrían estar representando la expansión de un hábitat que resulta favorable para muchos depredadores mesopelágicos, como es el caso de *D. gigas* (Bograd *et al.,* 2008).

De acuerdo a los resultados obtenidos durante los experimentos de marcaje satelital en el Golfo de California y en el Océano Pacífico, *D. gigas* realiza activas migraciones verticales diarias desde profundidades intermedias características de la ZMO en horas del día, hasta aguas someras cercanas a la superficie en la noche (figura 3; Gilly *et al*., 2006; Bazzino *et al.*, 2010). De hecho, es una especie altamente flexible y que se adapta a fuertes variaciones en algunos parámetros ambientales (temperatura, O_2 disuelto), así cómo al tipo de presas, lo cual le permite un aprovechamiento eficiente de toda la columna de agua. Sin embargo, una migración vertical de este tipo implica la permanencia durante varias horas en un ambiente con déficit de oxígeno (hipoxia), lo cual representa un desafío fisiológico para un calamar tan activo como *D. gigas*.

En este contexto, se realizaron experimentos de respirometría con *D. gigas*, en los cuales se comprobó la existencia de una inhibición (reversible) de su tasa metabólica aeróbica cuando los niveles de oxígeno reflejan condiciones de hipoxia (Gilly *et al*., 2006). No obstante, esta adaptación no puede ser el único mecanismo fisiológico involucrado si tomamos en cuenta los altos niveles de actividad (frecuencia de buceo) reflejados por *D. gigas* a profundidades dentro

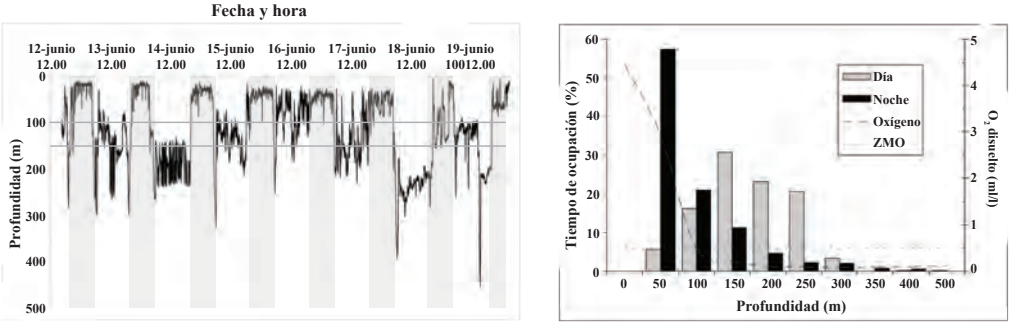


Figura 3. Gráfico izquierdo: migraciones verticales de *Dosidicus gigas* en el Océano Pacífico frente a la península de Baja California. Datos obtenidos con una marca satelital en Junio de 2005. Las líneas punteadas indican aproximadamente el límite superior de la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO; 100-150 m). Los períodos sombreados corresponden a las noches. Gráfico derecho: histograma día-noche con el tiempo ocupado por *D. gigas* en cada franja de profundidad. Las barras grises corresponden al tiempo diurno y las barras negras al nocturno. La línea segmentada corresponde a un perfil de oxígeno disuelto según la profundidad. La línea punteada indica el nivel de oxígeno en la ZMO (0.5 ml/l). Las barras que se observan a la derecha del punto de intersección entre ambas líneas (aprox. 100 m de profundidad) corresponden al tiempo de ocupación dentro de la ZMO (mayoritariamente durante el día y en menor proporción durante la noche). Extraído y modificado de Bazzino (2008) y Bazzino *et al.* (2010).

de la ZMO, comparables a los observados en las aguas bien oxigenadas cerca de la superficie (figura3; Bazzino *et al*., 2010).

De esta forma, se hace evidente la existencia de una fuerte asociación entre el calamar *D. gigas* y la ZMO, independientemente de la región geográfica donde habita. La capacidad de alimentarse tanto en aguas superficiales ricas en oxígeno, así cómo dentro de la ZMO, podría ser altamente ventajoso para un depredador de rápido crecimiento como *D. gigas*. Otros beneficios adicionales podrían incluir una reducción de la competencia y una mayor protección respecto a los depredadores que no toleran las condiciones de hipoxia, tales como los grandes peces pelágicos (Prince y Goodyear, 2006).

Acidificación de los océanos (< pH)

De acuerdo a los modelos climáticos utilizados por el IPCC (por sus siglas en inglés, "Intergovernmental Panel on Climate Change"), las emisiones de CO_2 provocarán un descenso en el pH superficial del océano de hasta 0.3 unidades hacia el final del siglo XXI (Meehl *et al.*, 2007). Este proceso es conocido como acidificación de los océanos (Caldeira y Wickett, 2003). Al mismo tiempo, se espera que continúe el calentamiento global de los océanos (Bindoff *et al*., 2007) y la expansión asociada de la ZMO (Stramma *et al*., 2008).

Rosa y Seibel (2008) sugieren que la acidificación de los océanos (< pH) provocará una inhibición considerable de la tasa metabólica aeróbica (31%) y de los niveles de actividad (45%) del calamar gigante *D. gigas* en el Océano Pacífico Oriental. Esta reducción de la tasa metabólica aeróbica, y posiblemente de la capacidad de locomoción, podría afectar las interacciones predador-presa del calamar gigante, perjudicando el crecimiento, la reproducción y la supervivencia de esta especie. Además, la expansión de la ZMO, obligará al calamar gigante a pasar más tiempo en las capas superficiales durante la noche para alimentarse y recuperarse del déficit de oxígeno sufrido durante las horas del día en sus migraciones verticales dentro de la ZMO (Rosa y Seibel, 2008).

Consideraciones finales

De acuerdo a lo expuesto en este documento, resulta evidente que el calamar gigante *Dosidicus gigas* es una especie altamente flexible y que se adapta rápidamente a fuertes variaciones en algunos parámetros ambientales, particularmente con la temperatura y la concentración de oxígeno disuelto. No obstante, los mecanismos fisiológicos adaptativos o las capacidades migratorias demostradas por esta especie podrían no ser suficientes en el futuro para hacer frente a los cambios ambientales asociados a la variabilidad climático-oceanográfica o al cambio climático (*e.g.* la expansión de la ZMO y/o la acidificación de los océanos). De esta forma, dichas perturbaciones podrán provocar, en el mediano o largo plazo, una reducción del rango de profundidades habitable de *Dosidicus gigas*, aumentando su vulnerabilidad y afectando negativamente a esta especie.

Agradecimientos

Se agradece al Dr. César A. Salinas Zavala (CIBNOR) por los comentarios y sugerencias realizados que enriquecieron el presente manuscrito.

Litertura citada

Bazzino G., 2008. Estructura poblacional, movimientos horizontales y migraciones verticales del calamar gigante (Dosidicus gigas) en el Golfo de California y en el Océano Pacífico frente a la Península de Baja California. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). La Paz, B.C.S., México. 127 p. (disponible en http://cybertesis.cibnor.mx:8080/sdx/cibnor/rsimple.xsp?q=Bazzino&base=documents)

Bazzino G., CA. Salinas-Zavala, y U. Markaida, 2007. Variabilidad en la estructura poblacional del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en Santa Rosalía, región central del Golfo de California. *Ciencias Marinas,* 33(2): 173-186.

Bazzino G, WF. Gilly, U. Markaida, CA Salinas-Zavala, y J. Ramos-Castillejos, 2010. Horizontal movements, vertical habitat utilization and diet of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Pacific Ocean off Baja California Sur, Mexico. *Progress in Oceanography*, 86: 59-71.

Bindoff NL., *et al*., 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 385-432. *In:* S. Solomon S, *et al.* (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Bograd SJ., CG Castro, E. Di Lorenzo, DM. Palacios, H. Bailey, W. Gilly, y FP. Chavez, 2008. Oxygen declines and the shoaling of the hypoxic boundary in the California Current. Geophys. Res. Lett. 35: L12607, doi:10.1029/2008GL034185.

Caddy JF., y PG. Rodhouse, 1998. Cephalopod and groundfish landings: evidence for ecological change in global fisheries? *Rev. Fish. Biol. Fisheries,* 8:431–444.

Caldeira K., y ME. Wickett, 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature,* 425: 365.

Chan F., JA. Barth, J. Lubchenco, A. Kirincich, H. Weeks, WT. Peterson, y BA. Menge, 2008. Emergence of anoxia in the California current large marine ecosystem. *Science,* 319: 920.

Chávez FP., J. Ryan J, SE. Lluch-Cota, y CM. Niquen, 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal changes in the Pacific Ocean. *Science,* 299: 217–221.

Chong J., C. Oyarzún, R. Galleguillos, E. Tarifeño, RD. Sepúlveda, y CM. Ibáñez, 2005. Parámetros biológico-pesqueros de la jibia, *Dosidicus gigas* (Orbigny, 1835) (Cephalopoda:Ommastrephidae) frente a la costa de Chile central (29ºS y 40ºS) durante el periodo 1993-1994. *Gayana* 69: 319-328.

Collins M., 2000a. The El-Niño Southern Oscillation in the second Hadley Centre coupled model and its response to greenhouse warming. *J. Climate,* 13: 1299-1312.

Collins M., 2000b. Understanding the uncertainties in the response of ENSO to greenhouse warming. Geophys. *Res. Lett.,* 27: 3509–3512.

Cosgrove JA., 2005. The first specimens of Humboldt squid in British Columbia. *PICES Press,* 13(2): 30-31.

Ehrhardt NM., PS. Jacquemin, DG. González, RP. Ulloa, BF García, CJ Ortiz, y NA Solís, 1982. Des-

cripción de la pesquería del calamar gigante *Dosidicus gigas* durante 1980 en el Golfo de California. Flota y poder de pesca. *Cienc. Pesq.,* 3: 41-60.

Ehrhardt NM., NA. Solís, PS. Jacquemin, CJ. Ortiz, RP. Ulloa, DG. González, y BF. García, 1986. Análisis de la biología y condiciones del stock del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, México, durante 1980. *Cienc. Pesq.,* 5: 63-76.

Gilly WF., 2005. Spreading and stranding of jumbo squid. Ecosystems Observations for the Monterrey Bay National Marine Sanctuary 2005: 20-22 (available online at http://www.montereybay.noaa.gov/reports/2005/eco/harvestedsp.html.

Gilly WF., U. Markaida, CH. Baxter, BA. Block, A. Boustany, L. Zeidberg, K. Reisenbichler, B. Robison, G. Bazzino, y C. Salinas, 2006b. Vertical and horizontal migrations by jumbo squid, *Dosidicus gigas*, revealed by electronic tagging. *Mar Ecol Prog Ser,* 324: 1–17.

Grantham BA., F. Chan, KJ. Mielsen, DS. Fox, JA. Barth, A. Huyer, J. Lubchenco, y BA. Menge, 2004. Upwelling-driven nearshore hypoxia signals ecosystem and oceanographic changes in the northeast Pacific. *Nature,* 429, 749-754.

Kahru M., y BG. Mitchell, 2008. Ocean color reveals increased blooms in various parts of the World. EOS, Trans. AGU, 89(18): 170.

Klett-Traulsen A., 1981. Estado actual de la pesquería del calamar gigante en el estado de Baja California Sur. Depto. de Pesca México. *Serie Científica,* 21: 1-28.

Herrera-Cervantes H., DB. Lluch-Cota, SE. Lluch-Cota, y G. Gutiérrez-de-Velasco, 2007. The ENSO signature in the Gulf of California using sea surface temperature. *Journal of Marine Research,* 65: 589-605.

Lluch-Cota D., D. Lluch-Belda, S. Lluch-Cota, J. López-Martínez, M. Nevárez-Martínez, G. Ponce-Díaz, G. Salinas-Zavala, A. Vega-Velazquez, JR. Lara-Lara, G. Hammann, y J. Morales, 1999. Las pesquerías y El Niño. p. 137-178. En: VO. Magaña-Rueda (ed.). Los impactos de El Niño en México. DGPC-SG-UNAM-IAI-SEP-conacyt.

Lluch-Cota SE., EA. Aragón-Noriega, F. Arreguín-Sánchez, D. Aurioles-Gamboa, J. Bautista-Romero, RC. Brusca, R. Cervantes-Duarte, R. Cortéz-Altamirano, P. Del-Monte-Luna, A. Esquivel-Herrera, G. Fernández, ME. Hendrickx, S. Hernández-Vázquez, H. Herrera-Cervantes, M. Kahru, M. Lavín, D. Lluch-Belda, D. Lluch-Cota, J. López-Martínez, SG. Marinone, MO. Nevárez-Martínez, S. Ortega-García, E. Palacios-Castro, A. Parés-Sierra, G. Ponce-Díaz, M. Ramírez-Rodríguez, CA. Salinas-Zavala, RA. Schwartzlose, y AP. Sierra-Beltrán, 2007. The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Prog. Oceanogr.,* 73: 1-26.

Markaida U., 2006. Population structure and reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* from the Gulf of California after the 1997–1998 El Niño event. *Fish. Res.,* 79(1-2): 28-37.

Markaida U, Sosa-Nishizaki O. 2001. Reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, 1995-1997. *Fish. Res*., 54(1): 63-82.

Markaida U., y O. Sosa-Nishizaki, 2003. Food and feeding habits of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico. *J. Mar. Biol. Ass.,* 83: 507-522.

Markaida U., C. Quiñónez-Velázquez, y O. Sosa-Nishizaki, 2004. Age, growth and maturation of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico. *Fish. Res.,* 66(1): 31–47.

Markaida U., JJC. Rosenthal, y WF. Gilly, 2005. Tagging studies on the jumbo squid, *Dosidicus gigas*, in

the Gulf of California, Mexico. *Fish. Bull.,* 103(1): 219-226.

Meehl GA., *et al*., 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I. p. 747-845. *In:* S. Solomon, *et al.* (eds.). Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Morales-Bojórquez E., MA. Cisneros-Mata, MO. Nevárez-Martínez, y A. Hernández-Herrera, 2001. Review of stock assessment and fishery biology of *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico. *Fish. Res.,* 54: 83–94.

Nesis KN., 1983. *Dosidicus gigas*. p. 215-231. *In:* PR. Boyle PR (ed.). Cephalopod Life Cycles Vol. I, Species Accounts. Academic Press, New York.

Nevárez-Martínez MO., GI. Rivera-Parra, E. Morales-Bojórquez, J. López-Martínez, DB. Lluch-Cota, E. Miranda-Mier, y C. Cervantes-Valle, 2002. The jumbo squid (*Dosidicus gigas*) fishery of the Gulf of California and its relation to environmental variability. *Investig. Mar.,* 30(1): 193-194.

Nigmatullin ChM., KN. Nesis KN, y AI. Arkhipkin, 2001. A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae). *Fish. Res.,* 54: 9-19.

Pecl GT., y GD. Jackson, 2008. The potential impacts of climate change on inshore squid: biology, ecology and fisheries. *Rev. Fish Biol. Fisheries,* 18: 373–385.

Perry AL., PJ. Low, JR. Ellis, y JD. Reynolds, 2005. Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science,* 308: 1912-1915.

Perry RI., P. Cury, K. Brander, S. Jennings, C. Möllmann, y B. Planque, 2009. Sensitivity of marine systems to climate and fishing: Concepts, issues and management responses. *J. Mar. Syst*., doi:10.1016/j.jmarsys.2008.12.017

Prince ED., y CP. Goodyear, 2006. Hypoxia-based habitat compression of tropical pelagic fishes. *Fish. Oceanogr.,* 15: 451–464.

Ramírez RM., y TA. Klett-Traulsen, 1985. Composición de la captura del calamar gigante en el Golfo de California durante 1981. *Trans. CIBCASIO,* X: 123-137.

Rosa R., y BA. Seibel, 2008. Synergistic effects of climate-related variables suggest future physiological impairment in a top oceanic predator. Proceedings of the National Academy of Sciences. *PNAS,* 105: 20776–20780.

Roper CFE., MJ. Sweeney, y CE. Nauen, 1984. FAO Species Catalogue Vol. 3 Cephalopods of the World. *FAO Fisheries Synopsis,* 125(3): 181-183.

Stramma L., GC. Johnson, J. Sprintall, y V. Mohrholz, 2008. Expanding oxygen-minimum zones in the tropical oceans. *Science* 320: 655-658.

Wing BL., 2006. Unusual invertebrates and fish observed in the Gulf of Alaska, 2004-2005. *PICES Press,* 14 (2): 26-28.

Whitney FA., JH. Freeland, y M. Robert, 2007. Persistently declining oxygen levels in the interior waters of the eastern subarctic Pacific. *Prog. Oceanogr*., 75: 179-199.

Zeidberg LD., y BH. Robison, 2007. Invasive range expansion by the Humboldt squid, *Dosidicus gigas*, in the eastern North Pacific. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 104: 12948–12950.

Lluch-Belda, D., 2010. Cambio climático en México. caso sardina, p. 483-492. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Cambio climático en México: caso sardina

Daniel Lluch-Belda

Resumen

Las poblaciones de sardina (*Sardinops sagax*) del Pacífico costero nororiental presentan cambios dinámicos de distribución y abundancia en respuesta a condiciones cambiantes del ambiente en varias escalas de tiempo: estacional, interanual, decenal y multidecenal. Estos cambios evidencian variaciones de gran alcance en el clima oceánico que no han sido contemplados cuando se proyectan escenarios de calentamiento global por acumulación de gases con efecto invernadero. Basándonos en la historia de tales cambios, sugerimos que los próximos años (posiblemente hasta mediados de la década de los 2020), la Corriente de California sufrirá un enfriamiento similar al experimentado entre ~1940 y mediados de la década de los 1970, y consecuentemente su distribución y abundancia en las áreas norteñas de su distribución máxima declinará.

Introducción

Lo aquí expuesto constituye un conjunto de hipótesis con distintos grados de aceptación y comprobación; algunos de los aspectos que se discuten están en la actualidad sujetos a intenso debate. En lo personal, creo que el esquema global que aquí se presenta es coherente y explica razonablemente bien los hechos observados. Sin embargo, el lector debe tener en cuenta que somos muchos los investigadores interesados en el tema y no todos estamos de acuerdo en cada uno de los aspectos que aquí se plantean.

La pesquería de sardina es un excelente indicador de cambio climático de escalas geográficas regional y global, así como de escalas temporales mensuales, interanuales y de menor frecuencia. Estas características se deben básicamente a su muy considerable movilidad estacional, la interacción entre especies de afinidad templada y tropical, su altísimo potencial de crecimiento poblacional y corta vida. En el presente capítulo se examinan las variaciones que presenta su distribución y abundancia en las escalas de tiempo que se han descrito: estacional, interanual, en la frecuencia de los eventos El Niño/La Niña, decenal (variaciones de 10-20 años) y del régimen (mayor de 30 años). La figura 1 muestra estas escalas de variación en la Corriente de California (Lluch-Belda *et al.*, 2003a).

La pesquería de sardina de México se lleva a cabo en el noroeste del país, incluyendo la costa occidental de la península de Baja California y el Golfo de California. Es una pesquería multiespecífica, que explota especies de afinidad templada, como las sardinas de California (*Sardinops sagax,* en adelante referida simplemente como sardina) y japonesa (*Etrumeus teres*), así como otras de origen tropical, como la sardina crinuda (*Opisthonema* spp., a la que en adelante denominaremos simplemente crinuda); varias especies de anchoas y anchovetas (*Engraulis mordax, Cetengraulis mysticetus*); en menor escala, un escómbrido (la macarela, *Scomber japonicus*) y un carángido (*Oligoplites* spp.). Es la pesquería que aporta el mayor volumen en el país (alrededor del 30%) y el producto se destina en su mayor parte a la obtención de harina y aceites de pescado para la producción de alimentos balanceados para animales (Anón., 2006).

Las poblaciones de sardina de California se distribuyen en la zona de transición templado-tropical del Pacífico nororiental, caracterizada por la mezcla de agua de la Corriente de California proveniente de la divergencia subártica al norte y la tropical de la Corriente Ecuatorial del norte, que penetra al norte como Contracorriente de California (también llamada por algunos autores en ciertas épocas del año Corriente de Davidson); el Golfo de California constituye el extremo meridional de su distribución. Hay una condición evidente en la distribución de la sardina: se limita al norte por temperaturas frías, mientras que el límite sur está definido por temperaturas cálidas; por ende, un enfriamiento de la región extiende su distribución al sur y viceversa: un calentamiento expande su hábitat hacia el norte.

Variación estacional

El ciclo anual de la zona de transición templado-tropical es dinámico y de gran alcance. La Corriente de California se intensifica durante el invierno y primavera, ocasionando que el área

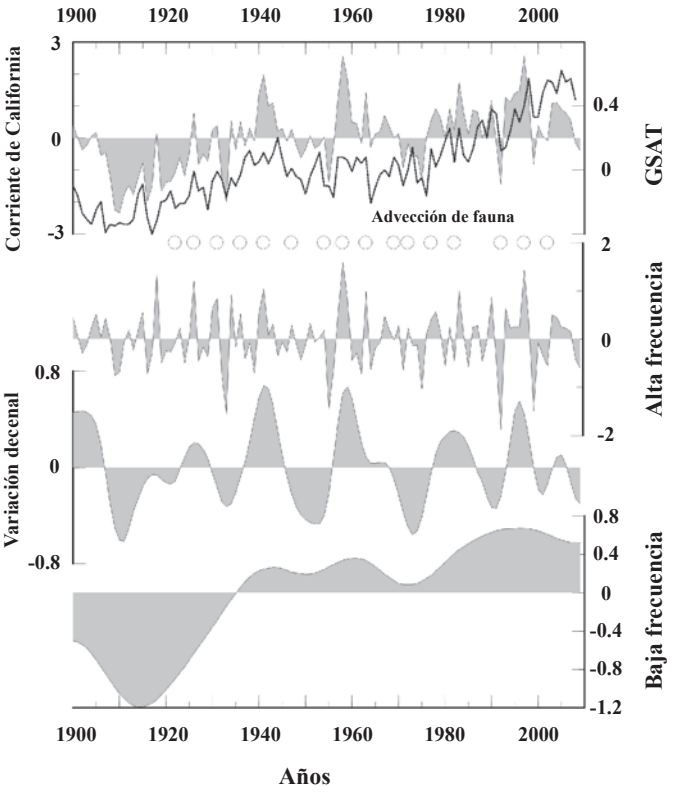


Figura 1. Escalas de variación en la Corriente de California, extraídas del promedio de las anomalías anuales de temperatura superficial del mar en la Corriente de California en cuadrantes de 2° x 2°. La gráfica superior muestra el primer componente (PC1) de todos los cuadrantes (curva sombreada), así como la serie de anomalías de la temperatura global de superficie (GSAT, linea punteada); los círculos indican los eventos de advección de fauna del sur al norte relacionados con los ENOS; las tres gráficas inferiores muestran los valores filtrados de alta frecuencia (<10 años), decenal (10-20 años) y de baja frecuencia(>30 años).

de mezcla se desplace hacia el sur; las menores temperaturas y los más bajos niveles del mar del año se presentan durante abril-mayo, coincidiendo con la máxima advección de la Corriente de California y la intensificación de los vientos del noroeste, que generan considerables surgencias costeras. En el Golfo de California la Corriente de California penetra a través de su boca, los vientos del noroeste se intensifican y provocan un corredor de surgencias a lo largo de la costa continental que lo enfrían y enriquecen. Durante la temporada de enfriamiento los cardúmenes de sardina expanden su distribución hacia el sur, generalmente hasta Topolobampo a lo largo de los corredores de surgencia, aprovechando el enriquecimiento para desovar.

Al iniciarse el verano, los vientos del noroeste se debilitan y las surgencias costeras se detienen. El nivel del mar se incrementa, mientras la capa superficial se calienta, la Corriente de California se debilita y aleja de la costa mientras el agua de origen tropical penetra hacia el norte

creando una amplia zona de mezcla; asimismo, invade el Golfo y penetra a lo largo de la costa continental. Durante el calentamiento anual la sardina se concentra en refugios de verano, la región de las grandes islas en el Golfo de California y la zona de Punta Eugenia-Bahía Sebastián Vizcaíno en la costa pacífica, mientras las especies tropicales (especialmente la crinuda) invaden los espacios ocupados durante este periodo por agua de origen tropical (Lluch-Belda *et al.,* 2003b, Félix-Uraga *et al.*, 2005)

Este ciclo anual es intensificado cada tanto por la ocurrencia de eventos El Niño (ENOS) y La Niña. Si bien la frecuencia del ENOS se ha definido como de entre dos a siete años, sus efectos físicos al norte de la boca del Golfo de California se caracterizan por una frecuencia de cinco años (Lluch-Cota *et al.,* 2003); aproximadamente cada periodo de esta duración hay intensificación de la penetración de agua y organismos de origen tropical hacia la zona templada, con efectos que pueden identificarse hasta la región norte de la Corriente de California, frente a la Isla Vancouver en Canadá. Este fenómeno ha sido relacionado con los eventos ENOS. Los efectos de estos eventos incluyen elevación anómala del nivel del mar, así como profundización de la termoclina y nutriclina (Lluch-Cota *et al.,* 1999). De manera opuesta, los eventos La Niña están relacionados con intensificación de la Corriente de California y advección de organismos de afinidad templada hacia el sur (Lluch-Belda *et al.,* 2005).

Cuando ocurre un evento ENOS, el centro del desove de la sardina se desplaza al norte (Radovich, 1959) en la costa del Pacífico; en el Golfo de California los cardúmenes de sardina no se mueven hacia el sur, sino que permanecen alrededor de las grandes islas, su zona de refugio. Por el contrario, durante los eventos La Niña los cardúmenes de sardina en el Golfo llegan más al sur, a veces hasta Mazatlán (Lluch-Belda *et al.,* 1986; 2003b).

Durante los eventos ENOS, en los que la sardina de California no se mueve hacia el sur hasta las áreas que normalmente son utilizadas por la pesquería (Bahía Magdalena en la costa occidental; la costa de Sonora y Sinaloa en el Golfo), ésta captura sardinas tropicales, particularmente crinuda, que se distribuye en las áreas que la sardina de California ocupa la mayor parte de los años (Lluch-Belda *et al.,* 1986). Como puede apreciarse, esta escala de variación responde a cambios en el patrón de distribución estacional de los cardúmenes de sardina y a su interacción con los cambios de la distribución estacional de especies tropicales.

Este mecanismo explica las variaciones entre años, particularmente en el ciclo del ENOS/La Niña, pero no es la única escala temporal de fluctuaciones en la abundancia de estas especies.

Variación decenal

La variación en escalas decenales (10-20 años; Lluch-Belda *et al.,* 2003) tiene impactos relevantes sobre la abundancia y distribución de las poblaciones de sardina. El mecanismo por el que opera puede hacerse evidente en el evento multianual que se presentó entre 1955 y 1962 (figura 2): coincidiendo con la tendencia temporal de calentamiento de la variación decenal de finales de los 1950s (figura 1), el desove relativo (que había estado restringido mayormente al sur) fue incrementándose hacia el norte, culminando con el establecimiento de una población

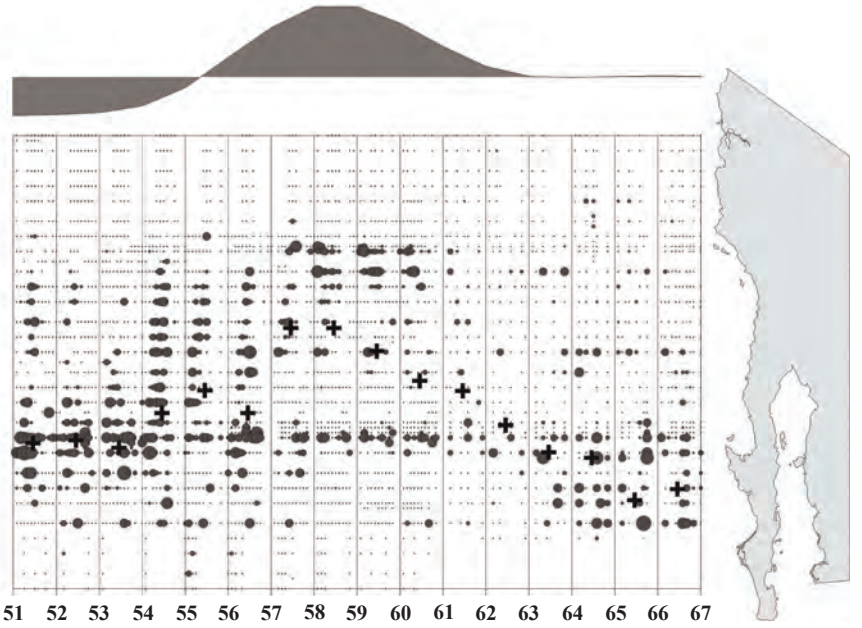


Figura 2. Abundancia promedio de huevos de sardina de California por línea CalCOFI. Los puntos pequeños muestran lugares de muestreo sin presencia de huevos; el tamaño de los círculos grises es proporcional a la abundancia. Las cruces muestran la latitud promedio de desove. La línea llena superior muestra la variación decenal en ese periodo. El mapa a la derecha sirve de referencia.

en la región del sur de California con desoves casi continuos a lo largo del año entre 1957 y principios de 1961. Cuando la variación decenal cambió para dar lugar a una tendencia de enfriamiento, el desove en esa zona disminuyó hasta prácticamente desaparecer (Lluch-Belda *et al.,* 2003). La capacidad de originar una nueva población residente es una de las bases para comprender la escala de fluctuación de menor frecuencia de la abundancia de sardina; se describió hace ya varios años y se basó en sus enormes variaciones sincrónicas en los principales sistemas de mezcla de corrientes mayores, que permitieron la identificación del "Problema del Régimen" (Lluch-Belda *et al.,* 1989).

Variación multidecenal (El problema del régimen)

Durante los periodos de enfriamiento, la zona del sur de California es demasiado fría para el establecimiento de una población residente; cuando se incrementa la temperatura lo suficiente (como sucedió después de 1957) se establece una población permanente; la reproducción en esa área es muy exitosa porque es una zona más productiva que aquella de origen (la de Punta Eugenia-Sebastián Vizcaíno). La población residente crece muy rápidamente. El ecotipo re-

sultante de la reproducción en esa área norteña resulta de mayor tamaño y mayor capacidad de movimiento y, si el periodo de calentamiento es suficientemente prolongado y se expande hacia el polo, los cardúmenes empiezan a extenderse durante la temporada propicia, aprovechando la disponibilidad de zonas de productividad más alta. Esta expansión estacional puede llegar hasta el Golfo de Alaska, aunque la reproducción masiva está restringida a la parte sur de esta nueva área de distribución.

En esta condición, la biomasa de las poblaciones de sardina es máxima; durante el periodo de abundancia anterior, constituyó la pesquería de mayor volumen de Norteamérica, llegando a casi 600 000 ton anuales a finales de los 1930. Cuando la fase de crecimiento culmina, el régimen de enfriamiento que le sigue resulta en la declinación de la abundancia de las poblaciones de sardina de norte a sur (Lluch-Belda *et al.,* 1989) hasta quedar restringidas al extremo sur de su distribución, la costa occidental de la península de Baja California y el Golfo de California. El ciclo completo de crecimiento-declinación ha ocurrido al menos durante los últimos 2 000 años, documentado a través de la abundancia de escamas en los sedimentos laminados de la cuenca de Santa Bárbara (Soutar e Isaac*,* 1969) con una duración promedio de 60 años (Baumgartner *et al.,* 1992).

A lo largo del siglo pasado el ciclo se presentó entre aproximadamente 1910 (baja abundancia), 1940 (alta abundancia) y mediados de los 70 (baja abundancia); el nuevo ciclo de incremento de la abundancia culminó alrededor de 1997 y a partir de entonces parece haberse establecido un nuevo régimen de declinación (Hill *et al.,* 2007; Lo *et al.*, 2007).

La alternancia de abundancia entre sardinas y anchovetas en las principales regiones de mezcla de corrientes templadas y tropicales se debe esencialmente a la competencia entre ellas, dominada por la sardina. Cuando ésta es abundante, la anchoveta se encuentra en baja abundancia; sólo cuando la abundancia de sardina está deprimida se incrementa la de anchoveta aprovechando la productividad de la zona en un nicho muy cercano a la base productiva.

Aunque la causa fundamental de estos ciclos de abundancia reside en la variación climática natural de escala global, es indudable que una pesquería intensa puede acelerar una declinación de manera significativa. Un ejemplo de lo anterior lo podemos apreciar en el presente ciclo de abundancia: tanto en el noroeste del Pacífico (Japón, Corea y China) como en el Pacífico sudamericano (Chile y Perú), las capturas máximas se alcanzaron a finales de la década de los 80s, mientras que en Norteamérica se retrasaron hasta finales de los 90. Esta diferencia es congruente con la baja intensidad de la explotación en esta última área, contrastando con la alta intensidad de la pesca en las dos anteriores.

Las perspectivas futuras

Con estas consideraciones, ¿qué podemos esperar que suceda en los próximos años?

El IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) ha pronosticado que la temperatura se incrementará unos 0.2°C promedio por década las próximas dos décadas, considerando que en las dos décadas más recientes a partir del informe de 1990 esa ha sido la tasa de incre-

mento; a más largo plazo considera que dependerá mayormente de las estrategias que se sigan para controlar las emisiones de gases con efecto invernadero (IPCC, 2007). Hay que resaltar que las proyecciones del IPCC se basan en un escenario de incremento monotónico de la temperatura por efecto antropogénico y no incorporan la variabilidad natural.

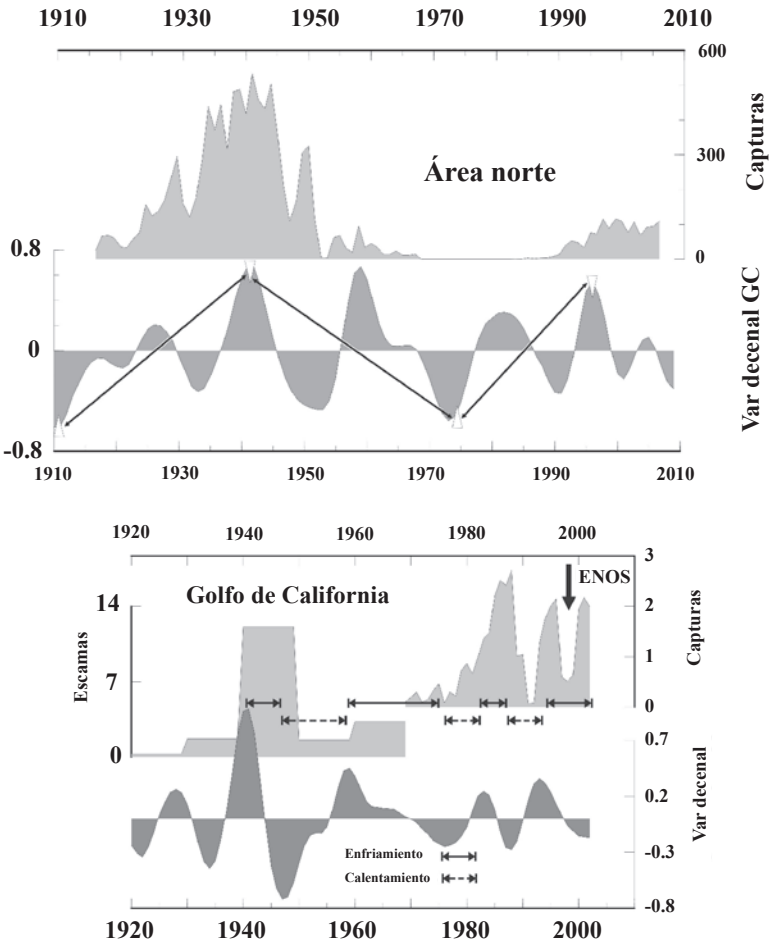


Figura 3. Variación de la abundancia relativa de sardina (capturas): arriba, en el área norte (de Ensenada hasta la Columbia Británica, Canadá; límite boreal de la distribución de sardina); siguiente gráfica es la variación decenal de la temperatura superficial del mar en la Corriente de California. Las puntas de flecha muestran los cambios de régimen identificados, unidos por las líneas de tendencia de enfriamiento y calentamiento de la escala multidecadal. Abajo, Abundancia relativa de sardina (capturas y número de escamas en los sedimentos laminados de la cuenca de Guaymas), comparados con la variación decenal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California, el extremo meridional de distribución de la sardina.

La Corriente de California se ha calentado en promedio, desde principios del siglo xx, 0.135°C por década; 0.2°C a partir del año más frío, 1910. Sin embargo, desde 1997 hasta 2009 se enfrió 0.8°C por década. Esta tendencia se parece mucho a la que se presentó entre 1940 y 1955 (enfriamiento de 0.9°C por década); en la escala del régimen de enfriamiento (1940 a 1976) la Corriente de California se enfrió a una tasa de 0.84°C por década.

Si bien la tendencia de la temperatura global ha sido muy documentada, es factible que la condición de la Corriente de California dependa de condiciones locales, particularmente de cambios mayores en el patrón de corrientes (Lluch-Belda *et al.,* 2003). Si así fuera y se repiten las condiciones que han ocurrido en el pasado, sería concebible que el futuro cercano fuese similar al régimen de enfriamiento de 1940-1976 y podríamos esperar que persista hasta mediados de la década de 2020, caracterizada por una disminución de la abundancia de sardina en su distribución norteña y la restricción de los desoves masivos al extremo meridional de su distribución, Punta Eugenia-Sebastián Vizcaíno y el Golfo de California. En esencia, menor abundancia en el norte, mayor en el sur.

Literatura citada

Anón., 2006. Sustentabilidad y pesca responsable en México, evaluación y manejo. Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de la Pesca. 560 p.

Baumgartner, T., A. Soutar, y V. Ferreira, 1992. Reconstruction of the history of Pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara Basin, California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Reports,* 33: 24–40.

Felix-Uraga, R., V.M. Gomez-Muñoz, C. Quiñones-Velazquez, F.N. Melo-Barrera, K.T. Hill, y W.Garcia-Franco, 2005. Pacific sardine (*Sardinops sagax*) stock discrimination off the west coast of Baja California and southern California using otolith morphometry. *Calcofi Rep.,* 46: 113 – 121

Hill, K. T., E. Dorval, N.C.H. Lo, C. Show, y R. Felix-Uraga, 2007. Assessment of the Pacific sardine resource in 2007 for U.S. management in 2008. U.S. Dept. Comm. Natl. Marine Fish Serv., Southwest Fish. Sci. Center

Lo, N.C.H., B. J. Macewicz, y R.L. Charter, 2007. Spawning biomass of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off california in 2007. U.S. Dept. Comm. Natl. Marine Fish Serv., Southwest Fish. Sci. Center

Lluch-Belda, D., F. J. Magallón, y R. A. Schwartzlose, 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: Possible causes. *Calcofi Rep.,* 27: 136-140.

Lluch-Belda, D., R.J.M. Crawford, T. Kawasaki, A.D. MacCall, R.H. Parrish, R.A. Schwartzlose, y P.E. Smith, 1989. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: The regime problem. *S. Afr. J. Mar. Sci.,* 8: 195-205.

Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, y S.E. Lluch-Cota, 2003a. Scales of interannual variability in the California Current System: associated physical mechanisms and likely ecological impacts. *Calcofi Rep.,* 44:76-85

Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, & S.E. Lluch-Cota, 2003b. Baja California's biological transition zones: refuges for the California sardine. *Journal of Oceanography,* 59: 503-513.

Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, y S.E. Lluch-Cota, 2005. Changes in marine faunal distributions and ENSO events in the California Current. *Fisheries Oceanography,* 14 (6): 458–467.

Lluch-Cota, D. B., D. Lluch-Belda, S. Lluch-Cota, J. López-Martínez, M. Nevárez-Martínez, G. Ponce-Díaz, C. Salinas-Zavala, A. Vega-Velázquez, J.R. Lara-Lara, G. Hamman, y J. Morales, 1999. Las pesquerías y El Niño. Los impactos de El Niño en México. V. O. Magaña R (ed.). México DF, UNAM-Secretaría de Gobernación: 137-178.

Lluch-Cota, D.B., W.S. Wooster, S.R. Hare, D. Lluch-Belda, y A. Parés-Sierra, 2003. Principal modes and related frequencies of sea surface temperature variability in the Pacific coast of North America. *Journal of Oceanography,* 59: 477-488

Radovich J., 1982. The collapse of the California sardine fishery. What have we learned?. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports,* 23: 56-77

Soutar, A., y J. Isaacs, 1969. History of fish populations inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Reports,* 13: 63–70.

Zárate-Noble V.M., y L.R. Solana-Sansores, 2010. Efectos del cambio climático en las poblaciones de ostión (*Crassostrea virginica*) de las lagunas costeras del Golfo de México, p. 493-498. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Efectos del cambio climático en las poblaciones de ostión (*Crassostrea virginica*) de las lagunas costeras del Golfo de México

Víctor M. Zárate-Noble y L. Rafael Solana-Sansores

Resumen

En el litoral del Golfo de México, la extracción del ostión es una actividad cuyo nivel de producción representa la primera pesquería más importante en el litoral y la sexta a nivel nacional. Además, representa una importante fuente de ingresos a las comunidades costeras de los estados litorales del Golfo de México. Sin embargo, en las últimas dos décadas esta pesquería ha mostrado importantes fluctuaciones en los niveles de producción, debido a aspectos de índole humana (sobreexplotación, contaminación y mal manejo de los bancos ostrícolas), pero también por problemas ambientales (perturbaciones climatológicas, azolvamientos de los cuerpos de agua y cambios ecológicos), por lo que es evidente que las poblaciones de ostión son altamente sensibles a variaciones medioambientales. Así, un cambio en el clima y sus efectos en las condiciones medioambientales de los cuerpos de aguas costeros afectarán sensiblemente a las poblaciones de ostión y de manera específica a la del ostión de placer (*Crassosstrea virginica*), especie de mayor interés en el Golfo de México. Entre los impactos del cambio climático en las lagunas costeras del Golfo de México destacan: la erosión de las playas; las inundaciones en el litoral adyacente; un incremento de avenidas de los ríos y tormentas; y el incremento de la salinidad de los estuarios y acuíferos. Estos cambios, de acuerdo con el Panel Internacional de Cambio Climático, serían altamente críticos en los ecosistemas por la modificación a los ciclos geoquímicos y a la dinámica ecológica, lo cual finalmente afectarían a las existencias de ostión. Reconociendo esto, es imperante tomar medidas para la conservación de la especie y la protección de la actividad pesquera y las comunidades del

litoral del Golfo de México. Estas incluirían: el acondicionamiento del ostión para que resista cambios en el medio ambiente; desarrollar programas de aseguramiento de la calidad ambiental en las lagunas costeras y su vigilancia; desarrollar paquetes tecnológicos al alcance de los productores de ostión, así como programas de asesoramiento; y por último, considerar la necesidad de transformar el sector ostrícola, promoviendo la capacitación y la diversificación de actividades.

Introducción

La extracción de ostión en México se remonta históricamente más allá de la época prehispánica debido a la facilidad de colecta que tiene este organismo. Sin embargo, como actividad económica dirigida y constituida se promovió en 1937 con el decreto de exclusividad para las sociedades cooperativas de pescadores, reiterando este hecho para sus formas de extracción, cultivo, aprovechamiento y protección al sector social en la entonces Ley de Pesca de 1992. De esta manera, la historia de la pesquería y su producción, la cual si bien no se ha modernizado en más de 70 años, en los últimos 40 años no ha mostrado ser particularmente estable.

En la figura 1, se muestra la producción de ostión nacional y del Golfo de México en los últimos 23 años en la cual se nota claramente la variabilidad de la producción con picos máximos como el del año 1988 que presentó un récord de 56 582 toneladas y valles como los mostrados en 1993, 1995, 1998 y 2005.

El ostión se mantiene como el sexto producto pesquero más conocido a nivel nacional (Ipsos México, 2008) y el más importante en volumen de pesca en el Golfo de México según las últimas estadísticas pesqueras (Anuario Pesquero, 2007), cabe hacer mención que la participación en volumen del ostión del Golfo de México en los últimos 23 años excede el 92% del anual nacional (figura 1). De acuerdo a las estadísticas del año 2007, se extrajeron en el país 50.2 mil toneladas de ostión proveniente de ambos litorales de los cuales el Golfo de México

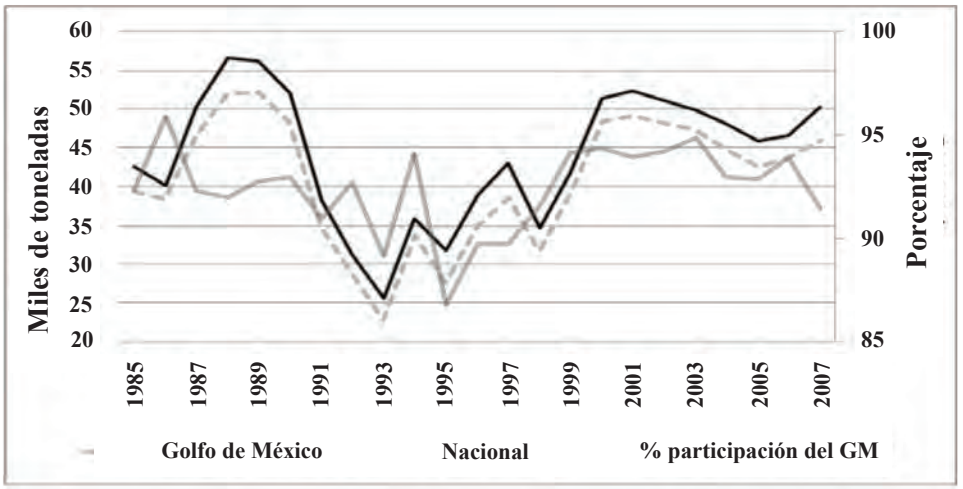


Figura 1. Volumen de captura nacional y regional de ostión (*Crassostrea virginica*) en el Golfo de México entre 1985 a 2007 (miles de toneladas) (Anuarios de Pesca 1986, 1996, 2006 y 2007).

aportó 45.9 mil toneladas y cuyo aporte se concentra en los estados de Veracruz y Tabasco. Esta extracción concentrada ha sido muy variable e incluso con tendencias que se invierten en las diferentes zonas de producción. Es decir, el máximo histórico para Veracruz fue registrado en 1988 con una producción de ostión de 40.5 mil toneladas, mientras que para Tabasco ha sido en el año 2000 con 24.8, sin olvidar que la participación de los cultivos aportaría aproximadamente entre un 60 y 70% más a las producciones anuales mencionadas como extractivas.

Al hablar de una tendencia a la baja de la producción pesquera y acuícola de ostión, significa confrontar los aspectos de una sobreexplotación, debido a una intensificación del esfuerzo pesquero en las lagunas costeras al grado de extraer organismos de tallas juveniles y agotamiento de los bancos silvestres (Palacios-Fest y Vargas-Rangel, 2002), problemas de azolvamiento, contaminación de los sistemas lagunarios, perturbaciones climatológicas, cambios ecológicos y problemas sanitarios que en algunos casos han ocasionado el colapso de los bancos ostrícolas (Lango-Reynoso, 2002). Es decir, todos estos elementos ambientales y antropogénicos impactan y son capaces de comprometer la resiliencia de las poblaciones silvestres y cultivadas si se toma en cuenta que su distribución en el Golfo de México se presenta en las lagunas costeras de norte a sur. Desde la Laguna Madre hasta la laguna San Andrés en Tamaulipas, de la Costa y Pueblo Viejo hasta el sistema lagunar de Alvarado en Veracruz, del sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona hasta Mecoacán en Tabasco, y de Términos hasta Sabancuy, en Campeche.

Efectos del cambio climático en las lagunas costeras del Golfo de México y en las poblaciones de ostión

De acuerdo al Panel Intergubernamental de Cambio Climático, desde 1998 se estimaron cuatro grandes impactos en el Golfo de México debido a la elevación del nivel medio del mar. Estos son los siguientes:

Erosión de las playas, aspecto que pone de manifiesto la vulnerabilidad de las bocabarras y sistema natural de intercambio de agua en la lagunas costeras, tomando en cuenta además el efecto de incremento de las mareas en tiempo de tormenta que tendrán un mayor grado de erosión y modificación del perfil litoral.

Inundaciones, que considera la intrusión a zonas de hasta 50 cm por arriba del actual nivel del mar; es decir, las planicies naturales de inundación y zonas bajas se verán afectadas, algunas de manera intermitente y, otras, de manera permanente al modificar las condiciones de salinidad prevalecientes.

Incremento de daños por inundaciones y tormentas. Efecto derivado del anterior punto, que junto con el efecto de oleaje de tormentas y mareas vivas afectarán zonas hasta 1 m por arriba del nivel medio del mar actual de manera intermitente, las cuales seran afectadas al menos cada 100 años, además de sumarse al efecto de transporte litoral que hará más severo el flujo y reflujo de la lagunas costeras provocando un efecto de inundación sinérgico.

Incremento de la salinidad de los estuarios y acuíferos. Esto provocará una intrusión salina a las fuentes de agua dulce subterránea, lo cual pondrá en riesgo el abasto para el consumo humano, el mantenimiento de la producción de alimentos, la industria y los ecosistemas, aspecto comparable con el de las sequías.

De manera coincidente de las 18 regiones marinas prioritarias que se identifican en el Golfo de México (Conabio), ocho de estas cuentan con las condiciones ambientales para albergar poblaciones importantes de ostión, de estas mismas, se han considerado vulnerables al efecto de la elevación del nivel medio del mar cuatro regiones: 1) La Pesca-Rancho Nuevo en Tamaulipas; 2) Pueblo Viejo-Tamiahua y 3) Sistema Lagunar de Alvarado; en Veracruz, y 4) Los Pantanos de Centla-Laguna de Términos, en Tabasco y Campeche respectivamente. Estos sistemas son los que actualmente mantienen la mayor producción de ostión en el Golfo México.

De acuerdo a lo descrito por el Panel de Cambio Climático se podrían considerar los efectos en estas áreas y zonas circundantes como altamente críticos sobre los ecosistemas, por la modificación a los ciclos geoquímicos, al efecto sobre los procesos físicos y dinámica ecológica. Esta transformación secuencial de ambientes estuarinos a ambientes marinos asumirá un efecto negativo en la permanencia natural de los bancos silvestres de ostión, debido a la incapacidad natural del ostión para soportar cambios severos de temperatura y salinidad.

Los problemas de control de los bancos ostrícolas desde el punto de vista pesquero y acuícola son factibles de abordar con estrategias locales de conservación y buenas prácticas de manejo. Sin embargo, existen aspectos que son mucho más complejos y peligrosos para la salud humana como la contaminación por plaguicidas y por microorganismos patógenos que se hacen patentes en los organismos filtradores como el ostión, por sus características de bioacumulación. Los escurrimientos del continente hacia el mar que se suceden estacional y espacialmente hacia las lagunas costeras ponen de manifiesto el carácter de las lagunas costeras como receptáculo y filtro de esta contaminación por metales pesados, microorganismos y plaguicidas, aspecto que se acrecentará con los fenómenos severos de lluvia y depresiones tropicales (tormentas y huracanes).

Al estimar que la extracción de ostión en el Golfo de México beneficia a una población de pescadores mayor a ocho mil, organizados en 64 sociedades cooperativas de producción pesquera que obtienen una derrama económica estimada en poco más de 100 millones de pesos anuales, es posible dimensionar el impacto económico como el fenómenos social que de éste se podrá desprender. Aunado a lo anterior, es necesario considerar que actualmente parte de las familias de los pescadores se involucran en el desconchado (sobre todo mujeres) y en las prácticas de siembra de *concha verde* (conchas con ostiones juveniles fijados) lo cual hará más extenso el impacto sociocultural.

Desarrollo de estrategias en México para mitigar el efecto del cambio climático en la pesca de ostión del Golfo de México

Las modificaciones y efectos que sufrirán los ecosistemas costeros en el Golfo de México es algo que evidentemente no se podrá contrarrestar, ni mucho menos detener. Por ello, todas las estrategias que se aboquen a mitigar el efecto en la pesca de ostión deberán estar dirigidas a la manipulación del recurso. Por mencionar algunas:

1) Se deberá considerar que dadas las condiciones de cambio en los ecosistemas, será inevitable pensar en la necesidad de un acondicionamiento del ostión para que sea más resistente a las condiciones adversas del medio, así como la producción de semilla neoacondicionada para la repoblación.
2) Analizando las condiciones de contaminación en las lagunas costeras y escorrentías, así como las dificultades para ejercer una vigilancia al respecto y asegurar la calidad de las aguas, se deberá considerar promover la migración de las actuales prácticas de extracción al semicultivo y cultivo ostrícola, de tal manera que quienes dependen de esta actividad puedan mantener su sustento e incluso incrementarlo con un mejor producto (inocuo y trazable).
3) Para poder migrar de una práctica extractiva a una controlada de cultivo, será necesario poner a disposición de las sociedades cooperativas pesqueras paquetes tecnológicos, programas de asesoramiento permanente (extensionismo acuícola), planes crediticios, asesoría legal y administrativa, que fortalezcan la organización y funcionamiento interno de las cooperativas.
4) Además de considerar la transformación del sector, es importante que éste sea reforzado con opciones múltiples de capacitación y diversificación de actividades. Es decir, la opción de invertir en otras actividades alternas a la acuícola o semiacuícola como pueden ser la ecoturística (transportación, alimentos, pesca deportiva, observación de la naturaleza, deportes extremos y alojamiento) o la producción alimentaria alterna (agricultura orgánica, hidroponia, composteo y granjas orgánicas), entre otros.
5) Es importante que el sector productivo pesquero asuma la inherente responsabilidad social que tiene de proporcionar alimentos inocuos, por lo que se requiere una fuerte concientización del sector para identificar los cambios que se darán en el medio ambiente y en sus propias comunidades, además de proporcionarles una base conceptual del cambio climático aplicable a su realidad.

Literatura citada

Ipsos México, 2008. Estudio Cuantitativo de Usos y Hábitos: Consumo de pescados y mariscos en México. Eds. Ipsos Marketing y Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 96 p.

Lango Reynoso, F., 2002. Programa Regional de Ostión. p. 39-50. En: R. Solana Sansores, R. y C. Quiroga Brahms (eds.). Memorias del primer foro regional sobre ostión de Tamaulipas, Veracruz y Tabasco, 25 y 26 de abril del 2002, Tuxpan, Ver. México.

Palacios-Fest, M., y R. Vargas-Rangel. 2002. Pesquería de Ostión. p. 235-241. En: A.P. Guzmán, C. Quiroga, B., C. Díaz, L., D. Fuentes, C, C. M. Contreras y G. Silva-López (eds.) La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo. Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Universidad Veracruzana. Xalapa.

Rodríguez-Hernández A.A., S. Hernández Gonzáles, y R.J. Solana-Sansores, 2010. Efectos del cambio climático en las poblaciones de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*), p. 499-504. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Efectos del cambio climático en las poblaciones de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*)

A. Anahí Rodríguez-Hernández, Salome Hernández Gonzáles y L. Rafael Solana-Sansores

Resumen

La ballena gris (*Eschrichtius robustus*) es quizá la ballena más conocida del Pacifico Oriental. Esta especie cuenta con la atención de científicos y la sociedad civil, debido principalmente a que es fácil admirarla en sus travesías desde las áreas de alimentación en las islas Aleutianas y Alaska, hasta las lagunas costeras de la península de Baja California donde se reproduce. Las migraciones estacionales que realiza la población oriental seguramente están orientadas por señales ambientales, tanto físicas y químicas, como por la propia naturaleza del ciclo de vida de estos cetáceos. Por ejemplo, se ha observado que el desplazamiento de los individuos de esta especie puede estar afectado por el ruido en el ecosistema, por la presencia de objetos flotantes (tránsito de embarcaciones), la presencia de basura en el mar, los desechos tóxicos vertidos desde las embarcaciones o desde las costas, e incluso por cambios importantes de la temperatura del mar. Estos elementos externos tienen un efecto significativo en los gastos energéticos que deberá realizar cada individuo de la población para alcanzar su meta. Bajo esta perspectiva, el cambio climático, con el subsecuente efecto en la elevación de la temperatura de la superficie del mar y los posibles cambios en los regímenes de lluvias y en los escurrimientos de agua desde el continente, podrán tener un efecto importante en el comportamiento migratorio de la ballena gris en el Pacífico Oriental.

Introducción

De la gran diversidad de mamíferos marinos en las aguas mexicanas, la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) es una de las especies que presenta características biológicas particulares que la hacen de gran interés para los investigadores y la sociedad en general. Esta especie es considerada, en comparación con otros cetáceos, la ballena más primitiva que existe y es el único representante vivo de la familia Eschrichtiidae. Posee hábitos costeros y migratorios bien definidos que hacen que sea muy accesible para la sociedad mexicana, especialmente del noroeste de México, la cual tiene la oportunidad de admirarla en su travesía desde sus áreas de alimentación en las islas Aleutianas y Alaska, hasta las lagunas costeras de la península de Baja California, para su reproducción y crianza.

En la actualidad el rango de distribución de la especie de ballena gris (*E. robustus*) se limita a dos regiones en el Océano Pacífico Norte. La población occidental o "coreana" de probablemente solo unos cientos de individuos, se localiza en la región oeste del Pacífico, entre el mar de Ojotsk y Corea meridional. La otra población, conocida como oriental o "californiana", se distribuye al este del Pacífico Norte, en el Mar de Bering, el Mar de Chukchi y el oeste del Mar de Beaufort, en su zona de alimentación y en la península de Baja California, en su área de reproducción. Se estima que esta población esta integrada por más de 26 000 individuos. En tiempos pasados existió una tercera población de ballena gris localizada en el océano Atlántico Norte, pero debido a la caza indiscriminada de la especie fue llevada a la extinción entre el siglo xvii y el siglo xviii.

La migración anual de la especie es sin duda un aspecto importante y característico en la ballena gris, ya que esta especie realiza una de las migraciones más largas y probablemente, de mayor gasto de energía para los individuos, recorriendo más de 18 000 km desde sus zonas de alimentación hasta la zona de reproducción y crianza y de regreso. Su patrón general de migración es similar al de la mayoría de las ballenas, esto es: áreas reproductivas de invierno en latitudes bajas, en aguas cálidas y áreas de alimentación de verano en latitudes altas, en aguas más frías. Este comportamiento migratorio es seguramente una adaptación evolutiva, que le permite asegurar una mayor sobrevivencia de las crías en condiciones de climas tropicales y además asegurar su alimento en estado adulto en aguas con abundancia de su principal alimento, el denominado "*krill*" que es abundante en los fondos del Pacífico Norte, frente a las costas de Alaska e islas Aleutianas.

Es importante mencionar, contrariamente a lo mencionado arriba, como en toda migración el recorrido completo no es realizado por el total de la población de ballena gris. Esto es debido a que por ser la reproducción el principal motivo de la migración, no todos los individuos son sexualmente maduros. De este modo, durante cada invierno la población de ballena gris suele encontrarse dispersa a lo largo de la costa occidental de América, desde la mitad sur del estado de California, Estados Unidos hasta la península de Baja California, México y en número variable dependiendo de las condiciones climáticas. Incluso, puede alcanzar latitudes tales que en algunos años puede también observarse dentro del Golfo de California. En la figura 1, se presenta la trayectoria general que sigue la población de ballena gris.

Figura 1. Esquema de la ruta de migración que sigue la ballena gris (*E. robustus*) desde las áreas de alimentación, en el Mar de Bering hasta las lagunas costeras de la península de Baja California (área de reproducción).

Las migraciones que realiza la población de ballena gris año con año seguramente estan orientadas por señales ambientales, tanto de orden físico y químico, como por la propia naturaleza del ciclo de vida de estos cetáceos. Por ejemplo, se ha observado que el desplazamiento de los individuos de esta especie puede afectarse por ruido intenso en el ecosistema, por la presencia de objetos flotantes (tránsito de embarcaciones), la presencia de basura en el mar, los deshechos tóxicos vertidos desde las embarcaciones o desde las costas, e incluso por cambios importantes de la temperatura del mar. Estos elementos externos pueden tener un efecto significativo en los gastos energéticos que deberá realizar cada individuo de la población para alcanzar su meta. Por ejemplo, los ruidos que rebasan un valor de 185 dB re 1 μPa a 1m^2, afectarán sensiblemente la comunicación entre ballenas, la detección de obstáculos y la trayectoria a un individuo de ballena gris. Asimismo, niveles altos de mercurio Hg, pueden acumularse en la capa de grasa de las ballenas dañando seriamente el hígado, riñón y músculo.

Efectos del cambio climatico en la población de ballena gris (*Eschrichtius robustus*)

Los efectos del cambio climático en la población de ballena gris (*E. robustus*) y sus efectos en México, pueden ser, entre otros, los siguientes:

Efectos en los individuos de ballena gris y la disponibilidad de alimento. Debido al posible cambio en la circulación marina por efecto del cambio climático, la disponibi-

lidad de alimento para la ballena gris podría verse afectada. Al sufrir un incremento de temperatura en la superficie de los océanos, los procesos metabólicos de las poblaciones de fitoplancton, base de la cadena alimenticia cambiarán. A su vez, repercutirá en los consumidores primarios, como el "krill" que modificará sus patrones de distribución y abundancia. Dado que estos crustáceos constituyen la principal fuente del alimento de la ballena gris, la adaptación de los individuos a este nuevo esquema de distribución de su alimento incrementará su gasto energético en su búsqueda. Por ejemplo, en años recientes se ha observado un adelgazamiento en el cuerpo de algunos ejemplares de la ballena gris de la población oriental. Las señales de su "*adelgazamiento son bastante claras, ya que se han fotografiado ballenas con lomos flácidos, costillas muy marcadas y con partes de la cola muy cóncavas; estos, sin lugar a dudas, son signos de debilidad de los individuos*" (Swartz, 2007[1]). La falta de alimento y la debilidad causada en la ballena gris influirá en una dificultad manifiesta de los individuos para alcanzar a nadar las distancias desde sus zonas de alimentación a las lagunas costeras de la península de Baja California en donde se reproduce habitualmente.

Efectos en la población de la ballena gris. Como consecuencia de los cambios en la temperatura de las aguas superficiales y costeras, la población de ballena gris podría cambiar gradualmente sus rutas de migración, así como sus lugares de alimentación y sus sitios de reproducción. Debido al efecto del cambio climático, las corrientes cálidas del Ecuador tenderán a presentar límites cada vez más norteños. A su vez, las corrientes que viajan de norte a sur, como la Corriente de California, que se mezclan con aportes de aguas frías de Alaska tendrán límites más al norte de los que se observan actualmente. Las ballenas gris que actualmente llegan a las costas mexicanas para su reproducción y crianza, podrán encontrar sitios de reproducción en regiones más al norte de las latitudes de México. Es decir, si se considera que la migración de la ballena gris es una adaptación evolutiva de búsqueda y encuentro de sitios adecuados para su reproducción y crianza, es posible pensar que, con menor gasto energético, podrá encontrar sitios semejantes en latitudes altas a los actualmente utilizados para esos fines. De igual manera, se pudiera presentar que esta población de ballenas ya no llegue a los lugares habituales de alimentación, al modificarse los patrones de distribución de su alimento. El efecto del cambio climático para la población de la ballena gris, desde esta perspectiva es un estrechamiento en su patrón espacial de distribución en el Pacífico americano.

Efectos en el sector turístico en México. La ballena gris es un recurso turístico de gran trascendencia para México y en especial para los estados de la península de Baja California. Se estima que en la región se tiene una la derrama económica cercana a los 10 millones de dólares anuales, con una capacidad incluso de incrementar al doble esta captación de divisas por actividades turísticas de observación de ballenas. Además, se

[1]http://www.vanguardia.com.mx/diario/noticia/masnoticias/internacional/provoca_calentamiento_global_adelgazamiento_de_ballenas_grises/11393.

considera que la actividad ecoturística ligada a la observación de ballena gris, durante los primeros tres o cuatro meses del año, contribuye al desarrollo regional, beneficiando directamente a comunidades asentadas alrededor de las lagunas costeras de: Guerrero Negro, San Ignacio, puerto Adolfo López Mateos y el puerto San Carlos, en la península de Baja California. Si la distribución y los sitios de reproducción de la población oriental de ballena gris cambia por efecto del cambio climático, la economía de las comunidades costeras en la región noroccidental de México podrán ser fuertemente afectadas, reflejándose en un estancamiento del desarrollo regional.

Estrategias en México para mitigar el efecto del cambio climatico

México deberá reaccionar ante el cambio climático para mitigar los efectos que producirá en las actividades turísticas que giran alrededor del recurso ballena gris (*E. robustus*). En primera instancia, deberá reforzar los trabajos de investigación acerca de la fisiología, comportamiento y modelación matemática de los efectos del cambio global sobre los individuos de esta especie y de los patrones de distribución espacial. Asimismo, deberá ser un promotor de normas voluntarias que regulen el aprovechamiento racional de la ballena gris y su ecosistema marino, como sería el desarrollar y adoptar manuales de buenas prácticas en torno a la conservación de esta especie y en general de los mamíferos marinos. Esto permitirá mostrar al mundo que la industria turística mexicana en torno a la ballena gris, y el uso del ecosistema marino, es una industria con sustentabilidad ambiental. Además, en foros internacionales, deberá ser promotor de tratados internacionales para una regulación de la industria turística conjunta en la región del Pacífico americano, principalmente con Estados Unidos y Canadá. De esta forma, podrá crear paquetes turísticos atractivos para la visita en todos los sitios declarados como santuarios para la reproducción y crianza de ballena gris, incluso en tiempos donde se observé un acentuado efecto del cambio climático.

Lluch Cota D. B., y S. Lluch Cota, 2010. Efectos ambientales sobre la pesquería del abulon en la península de Baja California. p. 505-518. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Efectos ambientales sobre la pesquería del abulon en la península de Baja California

Daniel B. Lluch Cota y Salvador E. Lluch-Cota

Resumen

La pesquería del abulón es la principal actividad económica de muchas comunidades de la costa occidental de la península de Baja California, gracias a la fuerte demanda y elevado valor comercial que el producto alcanza en los mercados internacionales. Pesa a los esfuerzos realizados para su correcto manejo, la captura declinó drásticamente a partir de principios de los setenta, sin que hasta la fecha se hayan recuperado los niveles observados con anterioridad a este colapso. El presente trabajo analiza dichos cambios en relación con la variabilidad ambiental, y sobre esta base, intenta una evaluación preliminar sobre la vulnerabilidad de la pesquería de abulón ante el calentamiento global. A partir de este caso, se argumenta que el conocimiento actual aún no permite anticipar los efectos de calentamiento global en los ecosistemas marinos regionales, particularmente porque los escenarios globales potenciales, más desarrollados para el ambiente terrestre, resultan inciertos y hasta contradictorios respecto del clima marino. En consecuencia, es necesario trabajar en la implementación de modelos con la resolución espacial y temporal que permita analizar a escala regional las variables, estructuras y procesos oceánicos más significativos desde el punto de vista ecológico.

Introducción

La pesquería del abulón es la principal actividad económica de muchas comunidades de la costa occidental de la península de Baja California, gracias a la fuerte demanda y elevado valor comercial que el producto alcanza en los mercados internacionales. Los abulones son moluscos gasterópodos del género *Haliotis*, el cual abarca diferentes especies que sostienen pesquerías relevantes en Australia, Sudamérica y Norteamérica. Todas las especies son herbívoros estrictos, alimentándose de macroalgas como *Macrocystis, Sargassum, Eisenia, Gelidium* y otros, y del pasto marino *Phyllospadix torreyi* (León y Muciño, 1996; Serviere-Zaragoza *et al.,* 1998). Para su estrategia de defensa necesitan de un sustrato rocoso, al que se sujetan gracias a su píe (epipodium) musculoso y fuerte, protegiendo así su cuerpo blando con la concha.

Para la región noroeste de México existen cinco especies de abulones: *H. fulgens, H. corrugata, H. cracherodii, H. rufescens* y *H. sorenseni* (Guzmán del Próo, 1992). No obstante, la producción pesquera está basada en las dos especies más importantes, el abulón amarillo (*H. corrugata*) y el abulón azul (*H. fulgens*).

Los orígenes de su explotación en México se remontan a mediados del siglo XIX, con las primeras operaciones de pesca realizadas por extranjeros (Cox, 1962; León y Muciño, 1996); primero, hacia 1860, por parte de pescadores chinos que empezaron la pesca en la zona intermareal, y a partir de 1900 por parte de pescadores japoneses que ya usaban un sistema de buceo básico (Guzmán del Próo, 1992). A partir de 1940 la pesquería es desarrollada por nacionales, que fundaron pueblos y campos pesqueros a lo largo de la costa occidental y crearon las primeras cooperativas pesqueras (figura 1). Desde entonces, y hasta la fecha, la actividad económica de los asentamientos humanos en la zona continúa dependiendo fuertemente de la explotación del recurso.

Los más o menos 30 asentamientos de la zona centro dependen casi únicamente de la pesquería de abulón y langosta, y tienen en total casi 10 000 habitantes. En los años 1990 y hasta 1997 la población creció casi 40%, y con esto el número de personas que dependen de los recursos pesqueros (Ramade-Villanueva *et al.,* 1998). La mayoría de la gente está concentrada en donde se encuentran las cooperativas: Isla de Cedros, Isla Natividad, Bahía Tortugas, Bahía Asunción, La Bocana y Punta Abreojos. Además existen al menos siete campos pesqueros temporales durante las temporadas de pesca (Ponce-Díaz *et al.,* 1998).

A diferencia de lo que suele ocurrir en otras explotaciones pesqueras, desde las fases iniciales del desarrollo de la pesquería se implantaron medidas para su manejo. Así, desde 1926 se establecieron tallas mínimas de captura, basadas en las existentes en este tiempo en California, Estados Unidos (Guzmán del Próo, 1992). Desde el año 1956 había una veda (de enero a marzo), que en 1972 se ajustó al periodo julio-agosto en función de los nuevos conocimientos sobre el desove en la zona. En 1956 también entró en vigor la nueva regulación de las tallas mínimas de la extracción, que se subieron nuevamente en 1981. A la fecha, han existido diferentes intentos de mejorar la situación del recurso a través de nuevas regulaciones (León y Muciño, 1996).

Pese a estos esfuerzos, la captura declinó drásticamente a partir de principios de los setenta (figura 2), sin que hasta la fecha se hayan recuperado los niveles observados con anterioridad a

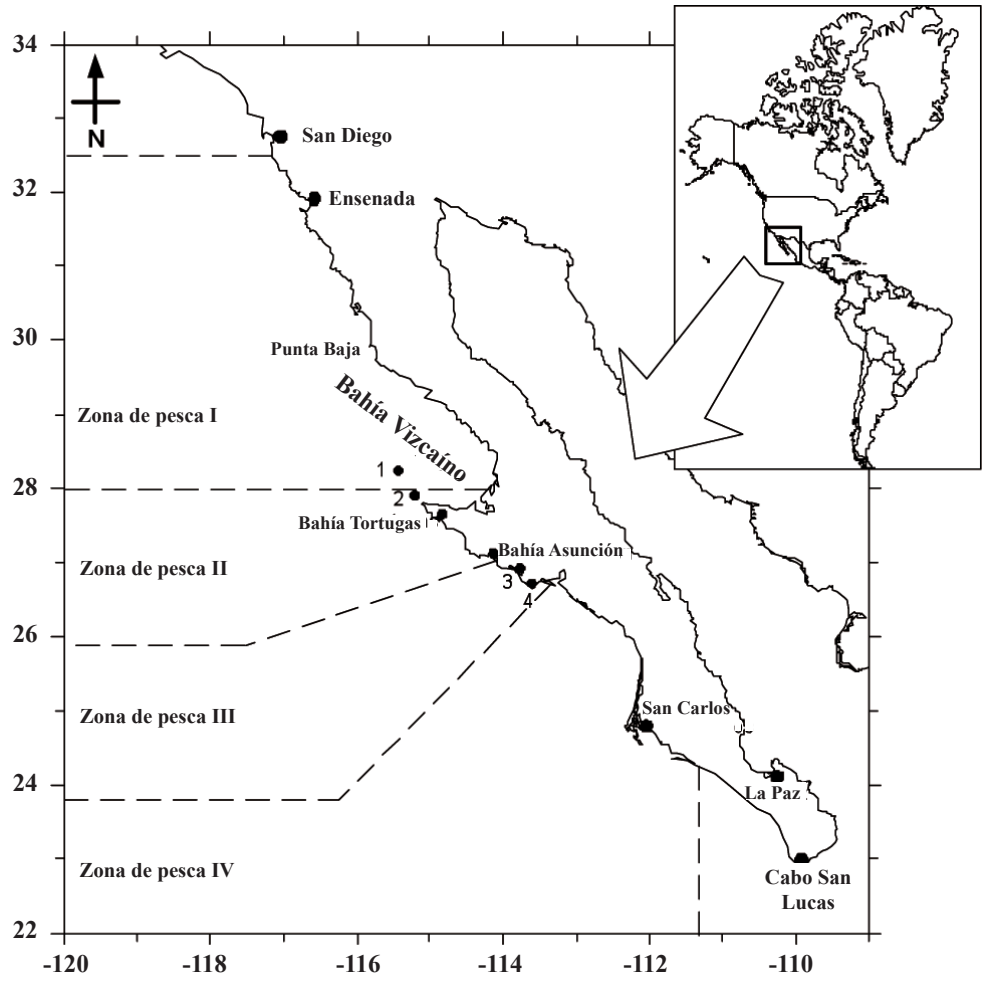


Figura 1. Zonas de pesca de abulón y ubicación de las nueve cooperativas de la zona centro: 1 Isla Cedros; 2 Isla Natividad; 3 San Hipólito; 4 Punta Abreojos. La localidad de Bahía Tortugas tiene tres cooperativas, mientras que en Bahía Asunción existen otras dos. Tomado de Keyl (2004).

este colapso. Cabe señalar que las tendencias en las capturas de las dos especies principales revelan diferentes comportamientos (figura 3). En los años de mayor producción, la especie más importante para la pesquería de la Baja California era *H. corrugata*, y a partir de 1980 ha sido *H. fulgens* que, hasta finales de los ochenta, mantuvo más o menos el mismo nivel de capturas. Este stock cayó a partir de 1990, y no como el abulón amarillo que había caído desde 1969. En conjunto, las bajas abundancias de ambas especies resultaron en que en el año 2000 las capturas totales en todas las zonas fueran menores de 200 toneladas, unas 30 veces inferiores al máximo histórico observado en 1951 (INP, 2000).

Este colapso ha sido motivo de preocupación, más aún si se considera la tendencia al crecimiento poblacional de las comunidades que explotan el recurso. Si bien históricamente la

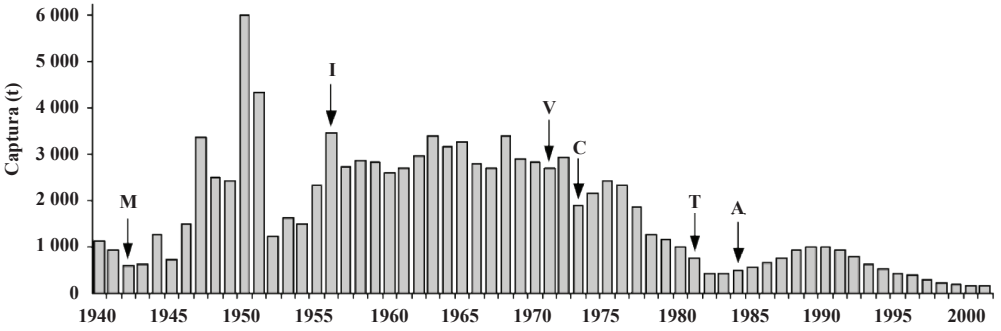


Figura 2. Capturas históricas y medidas de manejo. M: explotación del recurso exclusiva por mexicanos; I: veda de enero a marzo; V: cambio de la veda del invierno al verano; C: introducción de las cuotas máximas por cooperativas (TACC); T: vedas prolongadas y disminución de las tallas mínimas; A: obligación de entregar los abulones en concha para controlar tallas mínimas. Tomado de Keyl (2004).

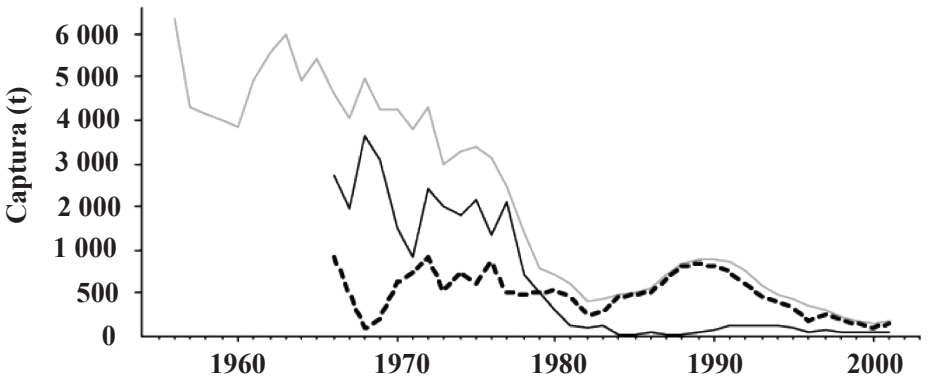


Figura 3. Capturas totales y de las dos especies de las cooperativas de la zona centro. Línea gris: capturas totales; línea negra: capturas de *H. corrugata*; línea discontinua: capturas de *H. fulgens*. Tomado de Keyl (2004).

disminución en las capturas había sido compensada por el incremento en los precios internacionales, la reciente contracción del mercado pone en evidencia que la situación actual del recurso no permite sostener los ingresos de las organizaciones en la medida en la que se requiere. Actualmente, la pesquería de abulón es objeto de un muy completo esquema de manejo que involucra estimaciones de abundancia anuales por banco, así como cuotas de captura derivadas de dichas estimaciones y de consideraciones explícitas sobre los efectos de la variabilidad ambiental. Como resultado de dicho manejo, así como de condiciones climáticas más favorables, la pesquería se encuentra una recuperación lenta pero sostenida a partir de su mínimo histórico.

Efectos ambientales en la pesquería de abulón

Diversas investigaciones han mostrado que el desarrollo de los recursos pesqueros no depende solamente de la mortalidad causada por la pesquería, sino también de la variabilidad del clima, los cuales son capaces de impactar la abundancia de los recursos tanto positiva como negativamente (Lluch-Cota y Ponce-Díaz, 2000; Guzmán del Próo *et al.,* 2003).

Las posibles relaciones entre los factores climáticos y los ecosistemas marinos aún no son bien conocidas; no obstante, parece claro que los mecanismos son complejos e involucran tanto cambios en la estructura poblacional como desestabilización de la red trófica resultantes de procesos fisiológicos individuales, de competencia espacial, de diferentes tasas de depredación y competencia por recursos, del aumento o la disminución de agentes de enfermedades, de cambios en la disponibilidad de alimento, de cambios en la distribución de las poblaciones y en la ubicación de los centros de distribución, de los sitios, condiciones y temporadas para el desove, maduración y crecimiento de larvas, juveniles y adultos. Todos estos factores no solamente son complejos en sí, sino que interactúan y dificultan la determinación exacta de las influencias sobre los ecosistemas y las especies (Lluch-Cota y Ponce-Díaz, 2000).

Mientras que se ha demostrado una conexión importante entre el clima y las biomasas o capturas comerciales de especies pelágicas, existen relativamente pocos ejemplos en especies bentónicas pese a que los efectos de los cambios climáticos en variables físicas relevantes desde el punto de vista ecológico están bien documentados. Uno de los primeros análisis en este sentido fue realizado por Lluch-Belda *et al.* (1997). Aplicando modelos poblacionales a las series de rendimiento de la pesquería, dichos autores encontraron diferencias notables en el crecimiento poblacional en función del régimen climático, y señalaron la necesidad de considerar dichos regímenes en la aplicación de los modelos con fines de manejo.

Respecto de estos cambios de régimen, Hare y Mantua (2000), mostraron cambios sincrónicos a escala decadal en más de 60 series de abundancia de poblaciones biológicas y en casi 40 series de tiempo de factores climáticos para el Pacífico de Norteamérica. Aplicando la técnica de componentes principales, los autores derivaron una serie indicadora de esta variación a la que denominaron Oscilación Decadal del Pacífico (PDO). La figura 4 muestra este indicador del PDO junto con las capturas totales de abulón, lo que permite apreciar el estrecho paralelismo entre la abundancia del recurso y la variabilidad ambiental en el ecosistema de la Corriente de California.

A fin de explorar estos paralelismos, Lluch-Cota y Ponce-Díaz (2000) aplicaron modelos de biomasa dinámica sustituidos en diferentes términos por funciones matemáticas lineales de la temperatura, documentando una fuerte dependencia del rendimiento del recurso respecto de la temperatura superficial del mar (figura 5).

Posteriormente, Keyl (2004) aplicó este enfoque al análisis de las tendencias de las capturas por especie, encontrando diferentes comportamientos con respecto a la influencia de la variabilidad climática inducida por la oscilación decadal del Pacífico (PDO) (figura 6). Los resultados mostraron que el rendimiento del stock del abulón amarillo (*H. corrugata*) depende fuertemente de las condiciones climáticas, mientras que el stock del abulón azul (*H. fulgens*)

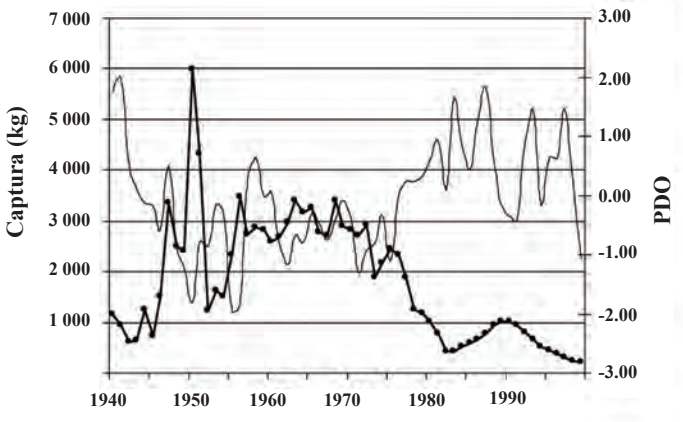


Figura 4. Serie de capturas totales de abulón (línea con puntos) y el índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO).

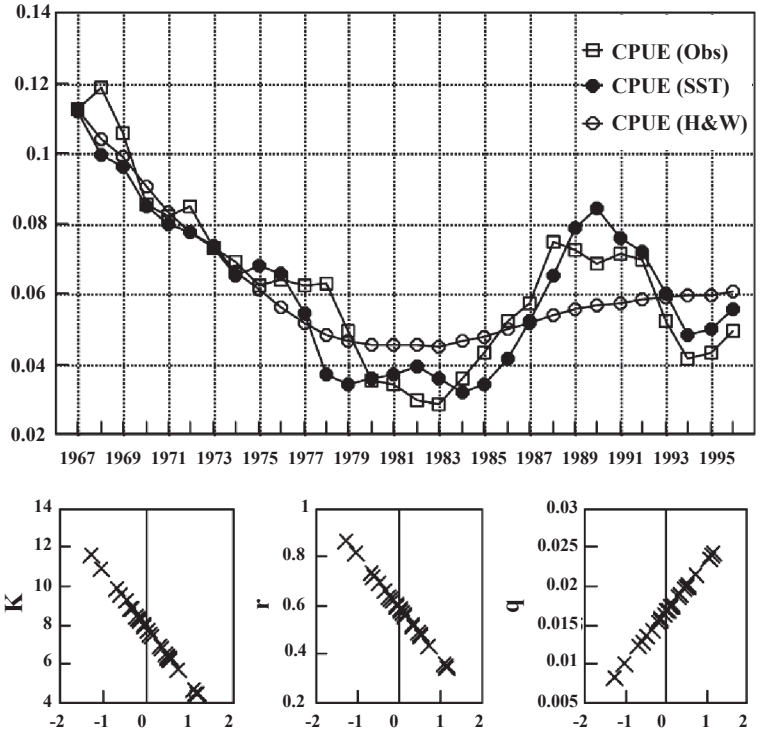


Figura 5. Rendimientos de la pesquería de abulón (captura por unidad de esfuerzo, CPUE), y su ajuste mediante el modelo de biomasa dinámica de Hilborn y Walters (1992). CPUE (Obs): rendimientos observados. CPUE (H&W): resultados del ajuste del modelo en su versión original. CPUE (SST): resultados del ajuste del modelo substituyendo los parámetros *K, r* y *q* por funciones lineales de la temperatura, mismas que se presentan en los paneles inferiores. Tomado de Lluch-Cota y Ponce-Díaz (2000).

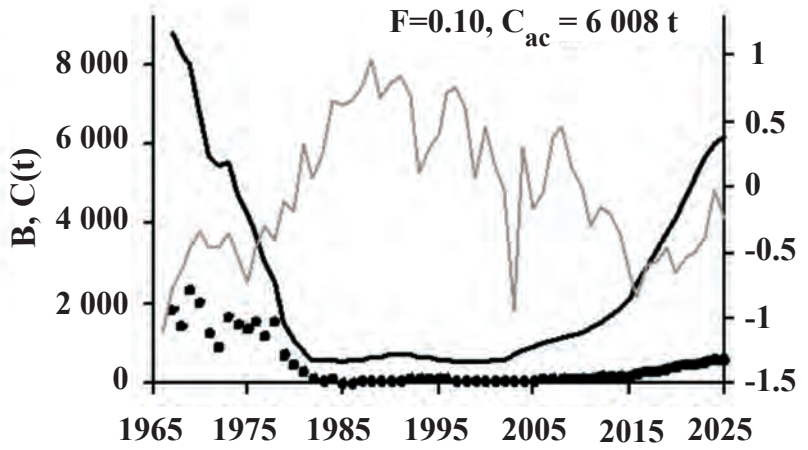


Figura 6. Pronósticos de capturas (toneladas, línea negra) y biomasa (individuos, puntos) para el abulón amarillo, considerando un manejo con cuota fija (C=6 008 ton) y mortalidad por pesca F = 0.10. La línea gris corresponde al pronóstico de la trayectoria del PDO derivado de análisis espectral (ver texto). Tomado de Keyl (2004).

no muestra dicha dependencia. Tras identificar que el abulón amarillo crece más durante los periodos decadales fríos, propuso que el efecto de la variabilidad climática es básicamente denso-independiente, e intentó un pronóstico empírico de este recurso sobre la base de la modelación espectral del índice del PDO. El modelo pronostica una tendencia sostenida al enfriamiento para las próximas décadas, que combinado con una estrategia de manejo conservadora conduciría a una progresiva recuperación del recurso.

Esta es justamente la situación que caracteriza actualmente a la pesquería, donde la aplicación de un manejo adecuado (INP, 2000) junto con condiciones climáticas predominantemente frías, sobre todo a partir del intenso evento La Niña de 1998, han conducido en los últimos años a una recuperación gradual de las poblaciones de abulón, particularmente del amarillo.

Posibles consecuencias por el calentamiento global

La mayor limitante para evaluar la vulnerabilidad de la pesquería de abulón ante el calentamiento global es que no existen, para los mares mexicanos, escenarios formales (*e.g.* derivados de la modelación) a escala regional. Esta carencia impone opciones menos adecuadas: extrapolar al medio marino los escenarios establecidos para el clima terrestre e, intuir los cambios regionales a partir de escenarios del clima marino referidos a escalas espaciales mayores.

Por ejemplo, un escenario del IPCC (Albritton *et al.*, 2001) anticipa un incremento global en el nivel medio del mar. Sus impactos ecológicos, entre los que se menciona la destrucción de hábitat costeros críticos para diversas especies (Costa *et al.,* 1994), dependerán de la velo-

cidad con la que el cambio ocurra. Para el Pacífico mexicano el ritmo de incremento global de 1-2 mm por año parecería menor, considerando la adaptación que exhiben dichos ecosistemas ante variaciones naturales mucho más amplias (por ejemplo en eventos como El Niño).

Los eventos asociados El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) son de especial relevancia para los ecosistemas marinos del Pacífico mexicano. En un inicio, se sugirió que un posible efecto del calentamiento global sería un incremento en la frecuencia e intensidad de eventos El Niño (Trenberth, 1999); no obstante, en la actualidad esta posible relación es materia de controversia. Por ejemplo, Gergis y Fowler (2008) documentaron, mediante un análisis de reconstrucción histórica de eventos El Niño y La Niña desde 1525 a la fecha, que el 43% de los eventos extremos, y el 28% de todos los eventos ENSO (El Niño y La Niña) identificados ocurren en el siglo XX. Más aún, el 30% de todos los eventos extremos del periodo de estudio entero ocurrieron de 1940 a la fecha. A partir de sus resultados, los autores sugieren que el ENSO puede estar operando de manera diferente entre las épocas preindustrial e industrial.

Recientemente, Trenberth *et al.* (2007) reportaron que posterior al cambio de régimen de mediados de los 1970, caracterizado por condiciones relativamente cálidas en el Pacífico ecuatorial y central, se ha presentado una tendencia a eventos El Niño más fuertes y largos que en el periodo de registros anterior. Esta tendencia sugiere, de nuevo, que la actividad del ENSO está relacionada al cambio climático.

No obstante, la comunidad científica dedicada a la modelación climática reconoce que no es posible inferir formalmente ninguna tendencia, dado que los diversos modelos que actualmente se utilizan no son capaces de simular la dinámica del ENSO (Latif y Keenlyside, 2008).

Para el caso de el abulón, los eventos El Niño se han asociado con bajos rendimientos, por lo que el posible aumento de su frecuencia e intensidad implicaría un escenario negativo para esta pesquería. Esta relación fue examinada por Lluch-Cota y Ponce-Díaz (2000) sobre la base de las desviaciones de los rendimientos de la pesquería de abulón ajustados al modelo de biomasa dinámica de Hilborn y Walters (1992); es decir, examinando la variabilidad en los rendimientos una vez descontado el efecto de la extracción. Estas desviaciones se presentan en la figura 7, junto con la serie de tiempo de las cosechas comerciales de *Macrocystis* (Casas-Valdez *et al.,* 2003), la macroalga más importante en las comunidades bentónicas en las que se desarrolla el recurso.

Es posible en efecto identificar bajos rendimientos asociados a tres de los cuatro eventos El Niño registrados durante el periodo examinado; más aún, la misma figura muestra las tendencias paralelas que existen entre los rendimientos del abulón y los volúmenes de *Macrocystis*. Pese a que la cosecha sólo puede ser considerada como un indicador muy grueso de los cambios reales en la abundancia del alga, ya que la explotación del recurso se realiza a bajos volúmenes que dependen más de la demanda internacional que de las existencias en el medio, el paralelismo entre los rendimientos de ambos recursos refuerza la idea de que un incremento en la frecuencia o la intensidad de los eventos El Niño, como consecuencia del calentamiento global, tendrá efectos negativos no sólo sobre el abulón, sino sobre las especies clave de la comunidad en la que éste se desarrolla, tal como ha sido documentado por diversos autores (Cox, 1962;

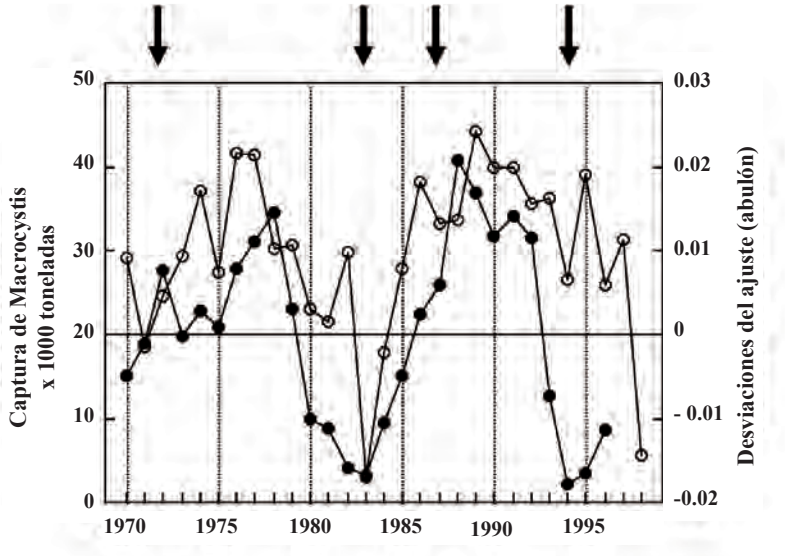


Figura 7. Desviaciones del modelo de biomasa dinámica de Hilborn y Walters (1992) para los rendimientos de las capturas totales de abulón (puntos negros), junto con las capturas de la macroalga *Macrocystis* (puntos vacíos). Las flechas en la parte superior indican los eventos El Niño registrados en el periodo (1972-73, 1982-83, 1986-87 y 1992-93). Tomado de Lluch-Cota y Ponce-Díaz (2000).

Johnson, 1971; Tegner, 1989; Tissot, 1990; Guzmán del Próo *et al.*, 1991; Guzmán del Próo, 1994; Vega *et al*., 1994).

La certidumbre en torno de este escenario, aunque adverso, permitiría explorar alternativas de adaptación y mitigación. No obstante, no es el único escenario posible. Bakun (1990), por ejemplo, sugirió que el calentamiento global, al incrementar el gradiente térmico tierra-océano, resultaría en una intensificación de las surgencias costeras, lo que implicaría condiciones relativamente frías en el Sistema de la Corriente de California. Ambos escenarios, radicalmente diferentes, permiten apreciar la gran incertidumbre que existe respecto de los impactos más probables a nivel regional. Incluso si existiera certeza en cuanto al escenario, el hecho de que las respuestas biológicas en general son no lineales (*e.g.* Cury y Roy, 1989) impide la generalización y obliga al análisis caso por caso. Finalmente, debe considerarse que la señal del calentamiento global, cualquiera que sea, no es la única ni, al menos de momento, la más importante fuente de variabilidad regional. De hecho, las posibles tendencias del cambio global son muy poco evidentes en la generalidad de los registros oceánicos regionales, dominadas por el ENSO y por fluctuaciones decadales e interdecadales naturales de mayor amplitud. Su interacción con las tendencias derivadas del calentamiento global será determinante respecto de los impactos en la generalidad de los recursos pesqueros, especialmente los masivos y los bentónicos de alto valor como el abulón.

Consideraciones finales

Parece claro que el conocimiento actual todavía no permite anticipar los efectos de calentamiento global en los ecosistemas marinos: los escenarios globales potenciales, más desarrollados para el ambiente terrestre, resultan aún inciertos y hasta contradictorios. Es mucho lo que deberá avanzarse en los próximos años en la implementación de modelos con la resolución espacial y temporal que permita analizar a escala regional las variables, estructuras y procesos oceánicos más significativos desde el punto de vista ecológico. Es crítico además que dichos esfuerzos incorporen la variabilidad natural: dada su magnitud, ninguno de los escenarios que se deriven de dichos modelos sería de utilidad práctica en ausencia de dicha consideración.

Al mismo tiempo, es necesario desarrollar un conocimiento mínimo suficiente sobre los efectos ecológicos de la variabilidad ambiental, tanto la natural como la asociada al calentamiento global. Hasta el momento dichos efectos han sido apenas abordados para unas pocas especies, y partiendo de un enfoque autoecológico que suele ignorar la complejidad de la estructura, función y adaptabilidad de los ecosistemas marinos. Finalmente, la modelación pesquera (la que con fines de manejo intenta predecir las tendencias de las poblaciones explotadas) deberá empezar a considerar al ecosistema como objeto de estudio y a incorporar los efectos ambientales, lo que implica alejarse de sus enfoques más tradicionales.

Es urgente avanzar en estas direcciones a fin de evaluar la vulnerabilidad no sólo de la pesquería de abulón, sino del sector pesquero en general. Dentro de la incertidumbre derivada de la falta de conocimientos suficientes, algo es seguro con o sin calentamiento global, la actividad pesquera seguirá coexistiendo con una variabilidad climática cuyos efectos son mucho más dramáticos de lo que la experiencia en el medio terrestre permite intuir.

En términos de adaptación, el sector pesquero nacional cuenta con un margen de maniobra: un potencial de recursos aún no explotados, un desarrollo acuícola todavía incipiente, y un amplio margen para incrementar el valor de la producción y acceder a mejores mercados mediante el procesamiento y la certificación de sus productos (Lluch-Cota y Hernandez-Vazquez, 2006). No obstante, el aprovechamiento de este margen está limitado por una percepción de riesgo elevado, derivado en buena medida de los efectos de la variabilidad climática, que entre otras cosas dificulta el crédito y desalienta la inversión en el sector. Este es quizá el aspecto que más puede agravarse por el calentamiento global, más allá de sus efectos reales, por la mera percepción de un riesgo aún mayor.

¿Cómo reducir el riesgo? Antes que nada, mediante el desarrollo de la investigación orientada hacia líneas como las mencionadas en párrafos anteriores. La infraestructura y los recursos humanos necesarios, aunque claramente insuficientes, existen ya en cierta medida. Una condición indispensable para aprovecharlos es la implementación de esquemas de monitoreo; sistemáticos, autónomos, permanentes y preferentemente compatibles con esquemas globales como el Global Ocean Observing System (GOOS). Dichos esquemas, hoy prácticamente inexistentes, deberán alimentar bases de datos en tiempo real y de libre acceso sobre las principales variables físicas y biológicas de los mares mexicanos.

Contar con esta información básica facilitará abandonar el manejo tradicional de los recursos pesqueros, cada vez más cuestionado a nivel mundial (Botsford *et al*., 1997), y avanzar hacia un esquema de manejo más adaptativo y por tanto más capaz de reaccionar con rapidez ante los cambios. Ello implica modificar muchos aspectos del manejo, no sólo los meramente técnicos (*e.g.* modelos pesqueros) sino también los administrativos y hasta los legales. Por ejemplo, es casi imposible que una medida regulatoria cualquiera pueda adecuarse rápidamente mientras dicha gestión sea conducida por una instancia centralizada, e implique además un complicado proceso en el seno del Poder Legislativo Federal.

Finalmente, el desarrollo de un manejo adaptativo de los recursos pesqueros deberá pasar por la delegación de esta facultad a las regiones en las que los recursos se explotan. El manejo regional no sólo tiene una visión más cercana de los problemas inmediatos, es además el que más fácilmente puede implementar esquemas participativos que involucren no sólo a la autoridad sino también a los usuarios y al sector académico directamente involucrado en la problemática. La presente no es la primera vez en la que esto se plantea a la luz de la alta variabilidad de los recursos pesqueros y de la fuerte incertidumbre que rodea a su explotación. En todo caso la ocasión es oportuna: las acciones que permitan al sector pesquero enfrentar sus retos hoy son las mismas que le permitirán aprovechar su margen de maniobra e incrementar su adaptabilidad ante el cambio global.

Agradecimientos

Esta contribución es resultado del proyecto "Biodiversidad y vulnerabilidad en ecosistemas marinos costeros" (Clave 83339, CONACYT Ciencia Básica). Se agradece a Carlos Pacheco Ayub por el apoyo técnico recibido.

Literatura citada

Albritton, D.L., *et al.,* 2001. Technical Summary. p. 21-83. *In*: J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden and D. Xiaosu (eds.). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge Univ. Press, UK.

Bakun, A., 1990. Global climate change and intensification of coastal upwelling. *Science*, 247:198-201.

Botsford, L.W., J.C. Castilla, y C.H. Peterson, 1997. The management of fisheries and marine ecosystems. *Science*, 227: 509-515.

Casas-Valdez, M., E. Serviere-Zaragoza, D. Lluch-Belda, R. Marcos y R. Águila, 2003. Effects of climatic change on the harvest of the kelp *Macrocystis pyrifera* at the Mexican Pacific coast. *Bull. Mar. Sci.,* 73: 445-456.

Costa, M.J., J.L. Costa, P.R. Almeida y C.A. Assis, 1994. Do eel grass beds and salt marsh borders act as preferential nurseries and spawning grounds for fish? An example of the Mira estuary in Portugal. *Ecological Engineering*, 3, 187-195.

Cox, K.W., 1962. California abalones, family Haliotidae. Calif. Fish and Game. Fish Bull., 118. 133 p.

Cury, P., y C. Roy, 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can J. Aquat. Fish. Sci.,* 46: 670-679.

Gergis, J., y A.M. Fowler, 2008. A history of ENSO events since A.D. 1525: implications for future climate change. Climatic Change. DOI: 10.1007/s10584-008-9476-z

Guzmán del Próo, S.A., D. Lluch-Belda, D.B. Lluch-Cota, S. Hernandez, y C.A. Salinas Zavala, 1991. Efecto de cambios climáticos en la abundancia del abulón en la costa Pacífica de la península de Baja California. Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos marinos bentónicos de la Península de Baja California (ms. no publicado).

Guzmán del Próo, S.A., 1992. A review of the biology of abalone and its fishery in Mexico. *In*: S.A. Shephard, M.J. Tegner, y S.A. Guzmán-del Próo (eds). Abalone of the World. Biology, Fisheries and Culture. Fishing News Book, Oxford, 608 p.

Guzmán del Próo, S.A., 1994. Biología, ecología y dinámica de la población del abulón (*Haliotis spp*) de Baja California. México. Tesis Doctoral, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biologicas, México DF.

Guzmán del Próo, S.A., L. Carreón-Palau, J. Belmar-Pérez, J. Carrillo-Laguna y R. Herrera-Fragoso, 2003. Effects of the 'El Niño' event on the recruitment of benthic invertebrates in Tortugas Bay, Baja California Sur. *Geofísica Internacional,* 42: 429-438.

Hare, S.R. y N.J. Mantua, 2000. Empirical evidence for North pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Progress in Oceanography*, 47: 103-145.

Hilborn, R., y C.J. Walters, 1992. Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty. Chapman & Hall, New York, 570 p.

INP, 2000. Abulón. p. 119-158. En: Instituto Nacional de la Pesca. Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo 1999-2000. Instituto Nacional de la Pesca, México.

Johnson, M. W., 1971. The Palinurid and Scyllarid lobster larvae of the tropical Eastern Pacific and their distribution as related to the pervailing hydrography. *Bull. Scripps. Inst. Ocean.,* 19: 1-36.

Keyl, F., 2004. Evaluación y manejo del recurso marino *Haliotis spp.* (abulón) en la península de Baja California, México, mediante un modelo pesquero-climático. Universidad de Costa Rica, 121 p.

Latif, M., y N.S. Keenlyside, 2008. El Niño/Southern Oscillation response to global warming. PNAS. published online before print December 5, 2008. doi:10.1073/pnas.0710860105

León, C.G., y M. Muciño, 1996. Pesquería de abulón. p. 15-41. En: V.M. Casas y G. Ponce D.,(eds.) Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur, Vol. I. Semarnap, Gobierno del Estado de Baja California Sur, FAO, UABCS, CIB, CICIMAR-IPN, CRIP-INP, Cet del Mar La Paz.

Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, S.E. Lluch-Cota y S. Hernández-Vázquez. 1997. Análisis de la pesquería de abulón de la península de Baja California. Informe Técnico para la Semarnap, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 31 p.

Lluch-Cota, D.B., y S. Hernández-Vázquez (eds), 2006. Desarrollo sustentable de la pesca en México: Orientaciones estratégicas. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste/ Senado de la República. 436 p.

Lluch-Cota, D.B., y G. Ponce-Díaz, 2000. Situación actual y perspectivas de la pesquería de abulón. p. 1-15. En: Memorias del Taller Curso Intensivo y Repoblamiento del Abulón, Resultados de la Granja Demostrativa. FIRA-B de M/CIBNOR, noviembre del 2000, La Paz, BCS. México.

Ponce-Díaz G., A. Vega-Velázquez, M.R. Ramade-Villanueva, G. León-Carballo y R. Franco-Santiago, 1998. Socio-economic characters of the abalone fishery along the west coast of the Baja California Peninsula, México. *J. Shell. Res*., 17: 853-857.

Ramade-Villanueva, M.R., D.B. Lluch-Cota, S.E. Lluch-Cota, S. Hernandez-Vazquez, A. Espinoza-Montes y A.Vega-Velazquez, 1998. An evaluation of the annual quota mechanism as management tool in the mexican abalone fishery. *J. Shell. Res*., 17: 847-851.

Serviere-Zaragoza, E., D. Gómez-López, y G. Ponce-Díaz, 1998. The natural diet of the green abalone (*Haliotis fulgens* Philippi) in the southern part of its range, Baja California Sur, México, assesed by an analysis of gut contents. *J. Shell. Res.,* 17: 777-782.

Tegner, M. J., 1989. The California abalone fishery: Production, ecological interactions, and prospects for the future. p. 401-420. In: J.F. Caddy, (ed.) Marine Invertebrates Fisheries: Their Assessment and Management. Wiley, New York.

Tissot, B. N., 1990. El niño responsible for decline of black abalone off Southern California. *Hawaii Shell News,* 38(6): 3-4.

Trenberth, K.E., 1999. The extreme weather events of 1997 and 1998. *Consequences*, 5(1): 3-15.

Trenberth, K.E., P. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling *et al*., 2007. Observations: surface and atmospheric climate change. *In*: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquiz *et al.* (eds) Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of WGI to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY.

Vega V.A., G. León C. y M. Muciño D., 1994. Sinopsis de información biológica, pesquera y acuacultural de los abulones (*Haliotis spp*) de la península de Baja California, México. Sepesca-CIBNOR, 117 p.

González-Peláez, S. S., y D. B. Luch-Cota, 2010. Cambio climático y la pesquería de la almeja generosa (*Panopea spp*) en el Pacífico mexicano, p. 519-532. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Cambio climático y la pesquería de la almeja generosa (*Panopea spp*) en el Pacífico mexicano

Sergio Scarry González-Peláez y Daniel B. Luch-Cota

RESUMEN

La almeja generosa es un recurso de alto valor económico y de reciente explotación en la región noroeste de México. En esta pesquería se capturan dos especies: *P. abrupta*, de afinidad templada, se captura a lo largo de la costa Pacifico de Baja California; y *P. globosa*, de afinidad tropical, en localidades dentro del Golfo de California y en Bahía Magdalena, en la costa occidental de Baja California Sur. Ambas especies presentan particularidades en su historia de vida que las perfilan como particularmente susceptibles a los cambios ambientales. El registro fósil sugiere que las especies del género *Panopea* han habitado las costas del Pacifico mexicano desde hace ya varios miles de años, periodo en el cual han experimentado cambios en sus patrones de distribución. Un escenario de calentamiento oceánico pudiera tener mayores efectos sobre las poblaciones de *P. abrupta*, limitando su ocurrencia o restringiéndolas a habitas más profundos. Por su parte, en *P. globosa* se ha determinado experimentalmente que posee una alta capacidad de tolerancia térmica, por lo cual se cree que esta pudiera compensar fisiológicamente el incremento en la temperatura. Por el contrario, se ha planteado la posibilidad de enfriamientos generalizados en sistemas de surgencias como el de la Corriente de California, que podrían implicar efectos negativos sobre las poblaciones de *P. globosa* en Bahía Magdalena, BCS. Dada la longevidad de ambas especies y sus tiempos generacionales largos, es probable que los efectos en sus poblaciones a corto y mediano plazo sean poco perceptibles; no obstante, la presión por pesca en combinación con cambios ambientales

desfavorables pudieran contribuir a acelerar procesos de extinción local en los límites de la distribución de ambas especies, susceptibles de ser iniciados por cambios climáticos tanto naturales como resultantes del calentamiento global.

Introducción

El cambio global ha puesto de manifiesto la necesidad de entender las consecuencias del cambio climático sobre la estabilidad de los ecosistemas y sus efectos sobre las actividades económicas que se derivan de su explotación. En el caso de los ecosistemas marinos, esto presenta un reto particularmente difícil por la gran cantidad de variables físicas (*e.g.* temperatura, disponibilidad de nutrientes, profundidad, tipo de sustrato, corrientes, etc.) y biológicas (*e.g.* competencia, depredación, crecimiento, reproducción, migración, etc.) que interactúan entre si de formas complejas, no lineales, y por ello difícilmente predecibles.

En México, todavía son escasos los estudios encaminados a determinar los posibles efectos del cambio global sobre recursos pesqueros (Lluch-Cota, 2004). En principio, porque no existen escenarios formales derivados de la modelación del cambio global a escala regional para los mares mexicanos. Ello obliga a considerar extrapolaciones al medio marino de escenarios establecidos para el clima terrestre; o bien a intuir los cambios regionales a partir de escenarios del clima marino referidos a escalas espaciales mayores. Por otro lado, y aún cuando se logre establecer algún escenario ambiental razonable, no es posible generalizar la respuesta que presenten un conjunto de especies que responden de manera diferenciada en función de las características hidrodinámicas de las masas de agua, de la presencia de barreras hidrográficas y geográficas para extenderse, y de las adaptaciones y preferencias que definen su historia de vida, incluyendo su reproducción, su capacidad de dispersión y su longevidad (Hiscock *et al.,* 2004).

Es además necesario ubicar la posible magnitud del cambio climático en un contexto histórico, a fin de poder dimensionar su efecto potencial sobre las poblaciones marinas. Los ecosistemas marinos están sujetos a intervalos de variabilidad de diversa escala temporal, que van desde las mareas hasta la escala geológica. Si la amplitud de la variabilidad ambiental es pequeña, los organismos pueden responder con una variedad de ajustes metabólicos (Hochachka y Somero, 2002). Sin embargo, cuando una población experimenta un cambio ambiental fuera del rango normal, pueden responder en una de tres formas (Clarke, 1996): migración, cuando los organismos se reubican en áreas más favorables; adaptación, cuando se seleccionan las variedades resistentes al cambio ambiental; y extinción, cuando la especie es incapaz de adaptarse o migrar.

El registro fósil de organismos marinos ha mostrado que los cambios en el ambiente han modificado gradual y constantemente la composición y distribución geográfica de las especies (*e.g.* Roy *et al.,* 2000 y 2001). En la actualidad, la intensidad y rapidez del cambio climático posiblemente este modificando la distribución geográfica de plantas y animales alrededor del mundo a ritmos más acelerados (Parmesan *et al.,* 1999), lo que ha motivado el interés por entender sus efectos tanto a nivel del ecosistema como de los recursos que sostienen una actividad

económica y que, por su naturaleza sésil, representan un riesgo mayor que otras poblaciones explotadas con capacidad de desplazamiento (Clarke, 2001; Roy *et al.*, 2001). Ello es el caso de la almeja generosa, un recurso de elevado valor económico cuya explotación ha venido creciendo en el noroeste de México.

Características de la pesquería

La almeja generosa (figura 1) es un recurso pesquero de reciente explotación en el noroeste mexicano; hasta hace pocos años, se desconocía la existencia de bancos susceptibles de explotación en México. El objetivo de esta pesquería es la extracción y comercialización *in vivo* de dos especies, *Panopea abrupta* en la costa Pacifico de Baja California y *P. globosa* dentro del Golfo de California y costa occidental de Baja California Sur, específicamente en el complejo lagunar Bahía Magdalena (figura 2).

Los primeros bancos se detectaron hacia finales de la década de los noventa en la región norte del Golfo de California, concretamente en el litoral de Baja California, y a partir del 2000 crece el interés por su explotación. Los primeros permisos de pesca se otorgaron en el año 2002, bajo el esquema de pesca de fomento. La captura se realiza en zonas submareales mediante buceo asistido con bombas que eyectan agua para remover a los organismos del substrato. La mayor parte de la captura es enviada viva a los mercados asiáticos, aunque también existe mercado para almeja congelada. El mercado prefiere las almejas grandes y de coloración pálida a las pequeñas y de color más oscuro; esta calidad está inversamente relacionada con la edad de la almeja y la profundidad a la que ésta se desarrolló (Goodwin y Pease, 1987).

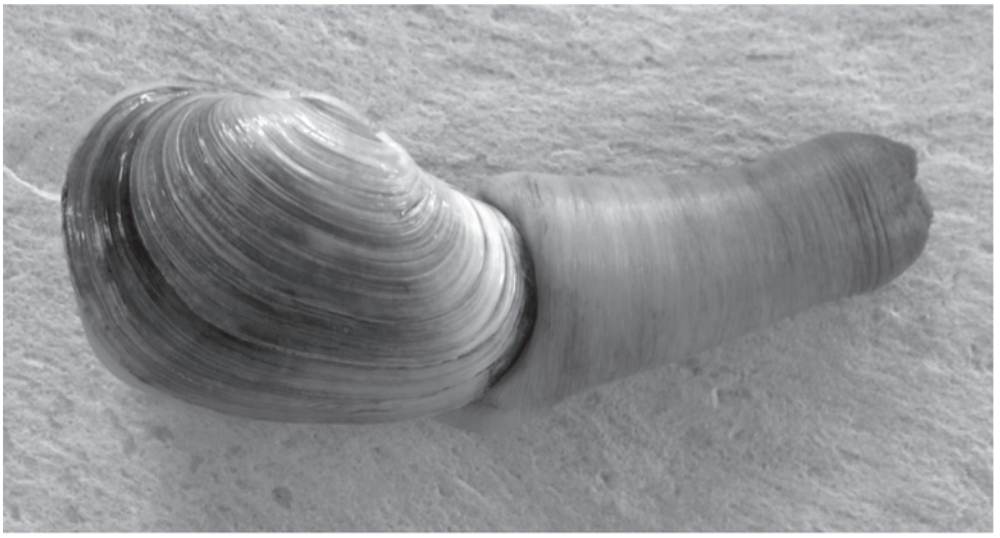


Figura 1. Vista lateral de una almeja generosa *in vivo*, capturada en Bahía Magdalena.

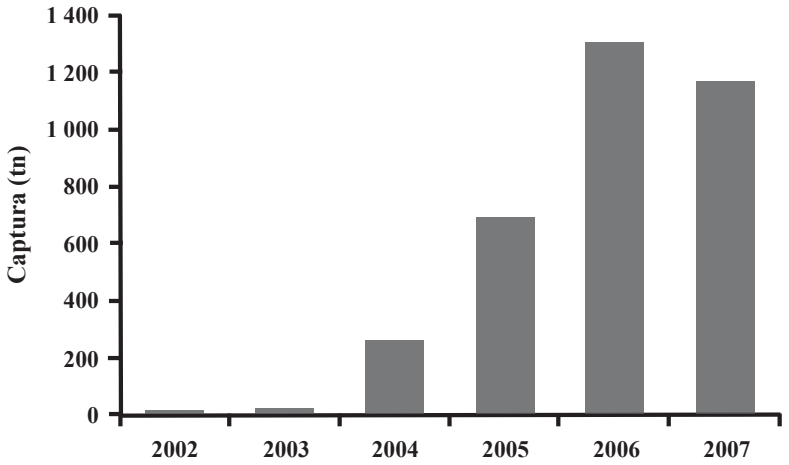


Figura 2. Registros de captura de almeja generosa en el estado de Baja California.

La pesquería ha resultado muy atractiva para numerosos pescadores artesanales, pues representa un beneficio económico elevado comparable, en términos unitarios, a los que se obtienen en pesquerías de especies de muy alto valor como el abulón y la langosta. Se trata además de un recurso de fácil acceso, en función de las altas densidades poblacionales existentes, particularmente en el norte del Golfo de California, y de que es posible su explotación por buceo aplicando artes de pesca relativamente sencillos y de bajo costo. En consecuencia, su explotación se han venido incrementando conforme se descubren e integran nuevos bancos a los esquemas de explotación, lo que la significado un incremento en el esfuerzo pesquero. En la actualidad sus capturas se mantienen por arriba de las 1 000 toneladas anuales (figura 3).

Características del recurso

En lo general, las especies del genero *Panopea* presentan en su historia de vida particularidades que las hacen susceptibles ante modificaciones de factores físicos del ambiente. Ocurren en fondos blandos arenosos y areno-lodosos desde la zona intermareal hasta más de 110 m de profundidad, donde los adultos viven sedentarios, profundamente enterrados en el substrato y alimentándose por filtración del fitoplancton presente en la columna de agua mediante dos sifones fusionados en una estructura, el "sifón", que en algunas especies llega a alcanzar hasta un metro de largo (Andersen, 1971; Bernard, 1983).

Como el de la generalidad de los pelecípodos, su ciclo de vida comprende varios estadios que incluyen el huevo fertilizado, una larva trocófora, dos estadios de larva veliger, una fase postlarval, el juvenil y el adulto. En todos los estadios las tasas de crecimiento, y por tanto la edad, son extremadamente variables y dependen tanto de las condiciones de salud de los organismos como de factores ambientales (Goodwin y Shaul, 1984).

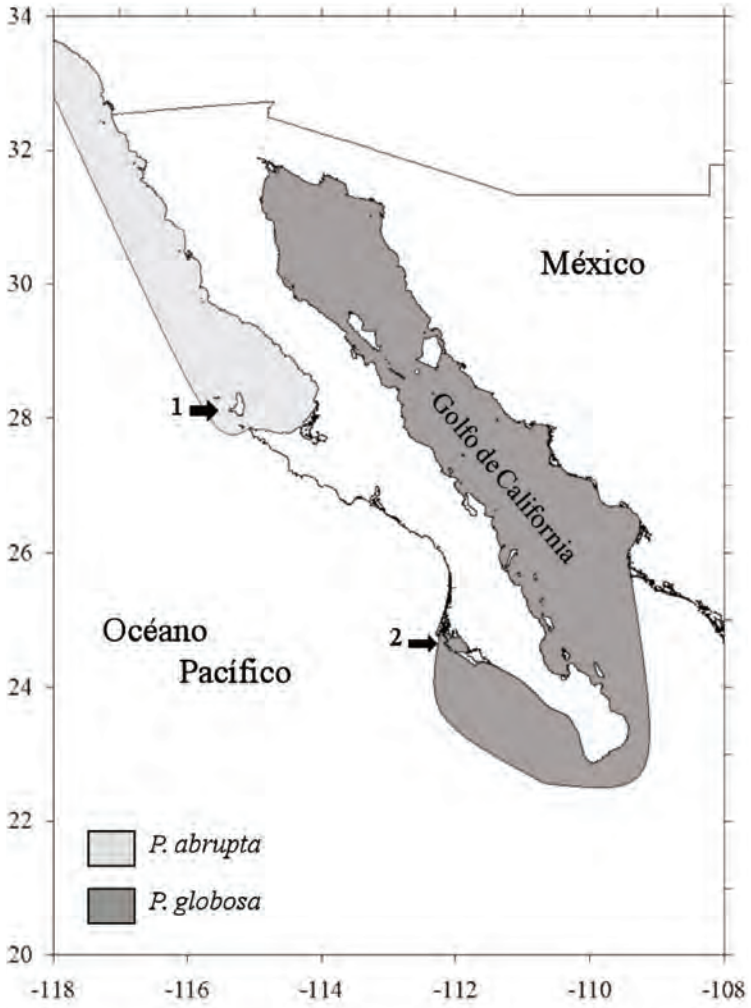


Figura 3. Distribución de las especies de almeja generosa en el noroeste de México. (1= Isla Cedros, BC; 2= Bahía Magdalena, BCS).

En promedio, los estadios planctónicos tienen una duración acumulada que varía de 16 a 35 días a 16 grados C, mientras que los juveniles pueden vivir desde los dos hasta los ocho años de edad para alcanzar tallas de alrededor de 7.5 mm, la talla promedio de madurez sexual (Goodwin, 1976). Como es el caso de muchas especies marinas cuyas estrategias involucran la producción y liberación de grandes cantidades de gametos al medio, las variaciones en factores como la salinidad y la temperatura han mostrado ser de gran importancia respecto de la formación y sobrevivencia de las larvas (Goodwing, 1973), y en general del éxito en el reclutamiento de nuevos individuos a la población (Valero *et al.,* 2004).

Pese a la alta fecundidad característica de este tipo de moluscos, entre las especies de *Panopea* que se han analizado las tasas de reclutamiento son muy bajas, lo que se atribuye a muy altas

mortalidades de las fases larvarias. Para *P. abrupta*, Goodwin y Shaul (1984) encontraron valores en el rango de 0-2.5 juveniles por metro cuadrado por año dependiendo de la localidad, y diferencias importantes en la densidad de reclutas entre zonas explotadas (0.54 ind. m^{-2}) y no explotadas (0.78 ind m^{-2}). Estas diferencias son indicativas que la actividad extractiva tiene un efecto adverso sobre el reclutamiento, si bien el mecanismo asociado no ha sido bien establecido.

Una vez reclutados los juveniles, su crecimiento es acelerado; por ejemplo, para *P. abrupta* se han encontrado tasas de hasta 30-60 mm por año durante los tres o cuatro primeros años; no obstante, a partir de los diez años se torna asintótico y virtualmente cesa (Andersen, 1971). Estudios de juveniles de *P. abrupta* sembrados en el medio natural han arrojado tasas de crecimiento de hasta 68.6 mm en un año, lo que permitiría tallas comerciales (680 g de peso total) en sólo 4-5 años (Goodwin y Pease, 1989). Las tasas de crecimiento son muy variables en función de la localidad (Goodwin, 1976; Breen y Shields, 1983; Harbo *et al.*, 1983). Si bien no cesa por completo, el crecimiento disminuye en invierno conforme los organismos disminuyen su actividad y pasan periodos más largos con sus sifones retraídos. Es probable que el crecimiento varíe además en función de las velocidades de corrientes, el tipo de sedimento y la profundidad del agua, ya que las mayores tallas suelen ocurrir en zonas relativamente someras, con alta dinámica y sustratos arenosos y areno-lodosos (Goodwin y Pease, 1987).

Aunque desde que son juveniles viven enterrados en el substrato, es hasta después de alcanzar su madurez sexual y conforme el sifón crece que los organismos son capaces de enterrarse a profundidades que los ponen a resguardo de casi cualquier depredador; lo que explica que la mayor mortalidad natural se presenta en las fases tempranas y que en los adultos la mortalidad sea reducida. Para *P. abrupta*, por ejemplo, se han estimado tasas anuales entre 0.01-0.05 (Breen y Shields, 1983; Harbo *et al.,* 1983). La sobreviviencia de adultos y juveniles está directamente relacionada con la profundidad a la que el organismo logra enterrarse (Sloan y Robinson, 1983) una vez que alcanza los 60 cm queda virtualmente libre de cualquier predador excepto el hombre.

Como resultado de ello, las poblaciones están compuestas principalmente por individuos adultos que superan los diez años de edad, y que pueden llegar a ser muy longevos. La edad de adultos y juveniles puede ser estimada a partir de la lectura de marcas de crecimiento en las conchas (Shaul y Goodwin, 1982), lo que ha permitido establecer las distribuciones de frecuencias por edades para diferentes especies y localidades. Por ejemplo, para *P. abrupta* en Washington la edad promedio de los individuos es de 46 años (Bradbury *et al.,* 2000); y se tienen registros de organismos que han alcanzado los 168 años (Bureau *et al.,* 2002). Otros ejemplos son el de *P. abbreviata* en Argentina con una longevidad próxima a los 40 años (Morsan y Ciocco, 2004), mientras que en Nueva Zelanda, *P. zelandica* supera los 80 años (Gribben y Creese, 2005). Para México, las estimaciones preliminares de la longevidad en *P. globosa* de Bahía Magdalena sugieren que esta puede llegar a superar los 40 años de edad (González-Peláez *et al.*, en prep.).

En síntesis, las especies del género se caracterizan por (1) sus hábitos sésiles, (2) sus bajas tasas de reclutamiento, (3) su elevada longevidad, y (4) una muy baja mortalidad en adultos. Todo ello confiere a las especies del género al menos dos cualidades relevantes como modelo de estudio. La primera es que sus poblaciones deben reflejar en mayor medida que otras los efectos del cambio climático, dada a su baja capacidad de adaptación derivada de periodos generacionales excepcionalmente largos. La segunda es la factibilidad de asumir que la tasa de mortalidad natural, en etapas adultas, es fundamentalmente el resultado de procesos netamente fisiológicos, dada la virtual ausencia de depredadores naturales.

Estas características explican que esta almeja sea considerada un buen indicador de la influencia de factores ambientales sobre el crecimiento poblacional en ecosistemas costeros. Por ejemplo, en estudios con estas y otras especies se ha logrado interpretar la estructura de tallas mediante la aplicación de modelos teóricos basados en la distribución de energía para explicar la masa corporal (Roy *et al.*, 2000); como es el caso de la relación empírica entre la talla y algunos atributos como la tasa metabólica, el tiempo de intercambio, el periodo de desarrollo ontogénico y la esperanza de vida (Brown *et al.,* 1993). En el caso de *P. abrupta*, la estructura de tallas de sus poblaciones ha permitido incluso reconstruir series históricas para explorar, desde el punto de vista estadístico, las fluctuaciones pasadas en la intensidad de sus reclutamientos en relación con índices ambientales costeros (Valero *et al.,* 2004).

Efectos ambientales

Una de las primeras ideas respecto de patrones macro ecológicos relevantes en términos de los posibles efectos del calentamiento global es la de Stevens (1989), en el sentido de que la gran diversidad frecuentemente vista en los trópicos puede ser explicada porque las especies que ahí habitan tienen un rango de distribución muy estrecho mientras que a latitudes altas hay una mayor proporción de especies con rangos amplios (*i.e.* la Regla de Rapoport).

Dicho patrón ha sido explicado en términos de las diferencias en la tolerancia de especies tropicales y templadas ante variaciones climáticas; la idea inicial fue que los organismos que habitan en latitudes bajas son sujetos de menos variación climática y por lo tanto su distribución tiende a ser limitada a un rango latitudinal estrecho. En contraste, las especies de latitudes altas pueden estar adaptadas a variaciones climáticas de mayor amplitud. Partiendo de dicho supuesto, podría suponerse por ejemplo que el cambio climático puede tener poco o nulo efecto sobre las poblaciones de especies de afinidad templada que habitan en la zona de transición entre la región templada y la tropical, como es el caso de *P. abrupta* en la costa occidental de Baja California.

No obstante, conforme más poblaciones marinas han sido investigadas en años recientes respecto de sus patrones macro ecológicos, se ha hecho evidente que las primeras interpretaciones podrían ser relativamente simplistas. Por ejemplo, Roy *et al.* (2001) encontraron evidencia paleontológica de que el tamaño del cuerpo de las especies de moluscos se relacionó mejor con los cambios de rango geográfico ante la variación climática ocurrida en el pleistoceno; y que,

en general, las especies de cuerpo grande resultaron más inestables que las de tamaño pequeño. Esta diferencia, según los autores mencionados, pudiera ser más determinante respecto de las tendencias de las poblaciones marinas hacia la expansión de su hábitat (o bien hacia su extinción local) en respuesta a cambios del clima. Las especies de *Panopea* figuran dentro de la categoría de las almejas de mayor talla, y aunque típicamente habitan ambientes templados, existen al menos dos especies que presentan cierta afinidad tropical, siendo *P. globosa* en el Pacífico mexicano una de ellas (Yonge, 1971).

Aunque los procesos subyacentes al valor adaptativo del tamaño corporal son poco conocidos, parece claro que los rangos de distribución de las especies son determinados por complejas interacciones entre los gradientes ambientales y factores bióticos como el tamaño de la población y tasas de dispersión (Davis *et al.,* 1998; Case y Taper, 2000), muchos de los cuales se correlacionan con el tamaño corporal. Más aún, Brown (1995) propuso que la morfología, la fisiología y las características ecológicas están relacionadas con el tamaño del cuerpo; tal relación, según el autor, estaría integrando el fenotipo y el papel de la estructura y limitación funcional. En este contexto se sugiere que el tamaño corporal y en general los diversos parámetros de la historia de vida de moluscos marinos pueden, desde una perspectiva macro ecológica y analizados a lo largo de su intervalo de distribución, aportar elementos que permitan predecir algunas posibles respuestas de sus poblaciones ante el cambio climático (Roy *et al.,* 2001).

Los gradientes ambientales en los que se distribuyen las especies afectan directamente su reclutamiento, su crecimiento, su mortalidad, su reproducción y la densidad de sus poblaciones; siendo esperable que en los límites de distribución, o sub-óptimos, las poblaciones sean menos abundantes y resulten más expuestas a procesos de extinción local. En el caso de *Panopea spp*., los límites actuales de distribución entre *P. abrupta* y *P. globosa* se encuentran en la costa pacifico de la península de Baja California, y sus poblaciones más cercanas parecen estar separadas por al menos 500 km (González-Peláez *et al.*, en preparación). La población con distribución más tropical de *P. abrupta* se encuentra en isla Cedros, BC (28° 10′), mientras que el límite templado para *P. globosa* se encuentra en Bahía Magdalena, BCS (24° 38′).

Estas poblaciones muestran evidencias de que actualmente existen en los límites de tolerancia de las especies correspondientes, al presentar muy bajas densidades y estar restringidas a zonas relativamente profundas. En contraste, *P. abrupta* es muy abundante en áreas costeras de Washington (EUA), Columbia Británica (Canadá) y Alaska (EUA) (Campbell *et al.*, 1998), donde llega a ser la especie dominante en la comunidad bentónica en términos de biomasa. Por su parte, *P. globosa* es abundante en la zona del Alto Golfo de California, donde además ocupa fondos relativamente someros, mientras que en Bahía Magdalena existe a profundidades mayores a 10 m, en temperaturas que oscilan entre los 14 y 24 grados centígrados (figura 4). Respecto de las diferencias entre ambas especies de *Panopea*, los registros de temperatura superficial muestra 4°C de diferencia entre sus límites de distribución en la costa occidental de Baja California (figura 5); aunque es muy probable que entre estos limites conocidos (Isla de Cedros y Bahía Magdalena) existan poblaciones aún no identificadas de ambas especies (ver figura 3).

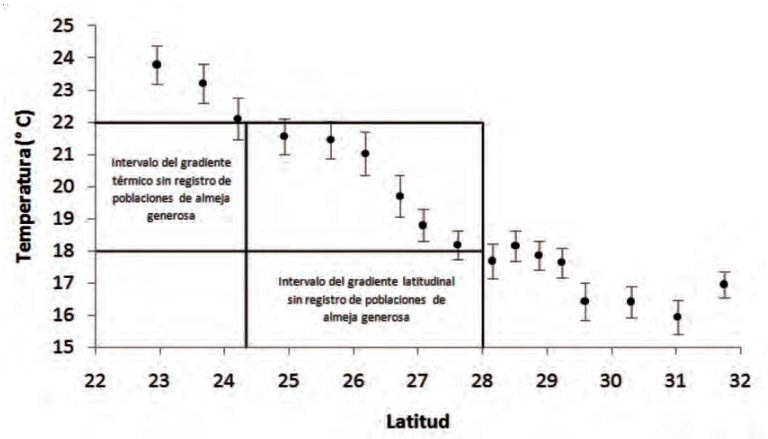


Figura 4. Temperatura superficial promedio para la costa Pacifico de la Península de Baja California 1998-2007 (intervalos al 95 % de confianza).

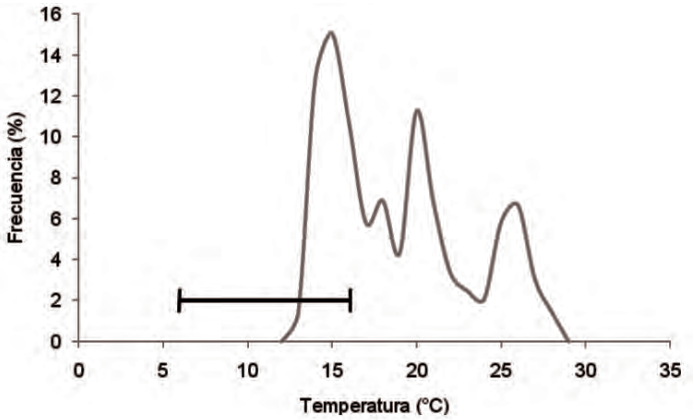


Figura 5. Frecuencia de temperaturas registradas *in situ* para bahía Magdalena durante 2008 y su comparación con el intervalo de temperatura (línea negra) donde habita *P. abrupta* en Washington y British Columbia (Goodwin, 1973).

Otro elemento que ofrece una idea de los posibles cambios de distribución de ambas especies a larga escala es el registro fósil, mismo que indica que miembros del genero *Panopea* han habitado las costas del Pacifico americano durante millones de años. Por ejemplo, existen registros de *P. generosa* variedad taeniata en diferentes localidades costeras del Golfo de California y en Bahía Magdalena, con edades geológicas que van de los 100 000 al millón y medio de años (Dall, 1918; Durham, 1950). Al respecto, cabe notar que esta especie es morfológicamente idéntica a *P. globosa*; más aún, un análisis preliminar de la proporción entre su longitud y su ancho sugiere que se pudiera tratar de la misma especie (González-Peláez *et al.,* en prepara-

ción). Por otro lado, recientemente se identificó lo que parecen ser seudo-fósiles (*e.g.* conchas con una antigüedad menor de 100 000 años) de *P. abrupta*, provenientes del interior del Golfo de California (González-Peláez *et al.,* en preparación). De confirmarse, ello sugeriría que las poblaciones de ambas especies han venido experimentado una alternancia en su distribución dentro del Golfo de California, resultado de los cambios ambientales en escala de varios miles de años.

Posibles escenarios

La identificación de la posible respuesta de las especies de *Panopea* en el noroeste de México ante el calentamiento global es en la actualidad imposible, en la medida en la que no existen escenarios formales de cambio climático a escala regional. En un extremo, podría suponerse que el calentamiento global resultará en un calentamiento oceánico generalizado, tal como ha sido señalado para diversos ecosistemas marinos en otras regiones (Belkin, 2009). En el caso de las poblaciones de *P. abrupta* de Washington y la Columbia Británica, sería posible esperar incrementos en la abundancia del recurso; en función de que se ha demostrado una correlación positiva entre los reclutamientos, estimados a partir de la estructura de tallas y edades, y la temperatura del mar (Valero *et al.,* 2004). En contraste, sería esperable observar disminuciones de abundancia, que podrían llegar hasta la extinción local, en las poblaciones de *P. abrupta* localizadas en el límite tropical de su distribución; esto es, en la costa occidental de la península de Baja California.

Por otra parte, el calentamiento generalizado no es el único escenario posible; de hecho, el sistema de la Corriente de California ha experimentado condiciones relativamente frías durante las décadas recientes (Belkin, 2009). Al respecto, Bakun (1990) sugirió que el calentamiento global, al incrementar el gradiente térmico tierra-océano, resultaría en una intensificación de las surgencias costeras, lo que pudiera implicar condiciones relativamente frías tanto en el Sistema de la Corriente de California como a lo largo del corredor de surgencias de la costa oriental del Golfo de California. De ser el caso, son las poblaciones de *P. globosa* ubicadas en el límite templado de la distribución de la especie las que podrían experimentar bajos crecimientos poblacionales; particularmente los bancos que actualmente sostienen la captura en Bahía Magdalena, BCS.

La existencia de escenarios potenciales opuestos permite apreciar la gran incertidumbre que prevalece respecto de los cambios climáticos más probables a nivel regional resultantes del calentamiento global. Más aún, cualquiera que sea el sentido del cambio asociado al calentamiento global este estará modulado por otras escalas de variabilidad climática natural, tales como las asociadas a El Niño como a fluctuaciones decadales e interdecadales, que en otros recursos bentónicos han mostrado ser determinantes respecto de la variabilidad de sus poblaciones (véase Lluch-Cota y Lluch-Cota, p. 505-518).

Más allá de los posibles escenarios climáticos, es claro que como recurso *Panopea spp* presenta una serie de características biológicas que se traducen en bajos crecimientos poblacionales, lo

que implica que incluso incrementos marginales en los niveles de mortalidad pudieran tener efectos acumulativos considerables sobre el tamaño de sus poblaciones. La creciente presión que estas poblaciones podrían experimentar, en ausencia de mecanismos efectivos de control y regulación de la mortalidad por pesca, es amenaza suficiente como para considerar que es urgente la implementación de esquemas de manejo que, entre otros aspectos, deberían incluir estimaciones rutinarias de la abundancia y la densidad en los bancos como condición para el otorgamiento de cuotas de captura sostenibles. Dicho esquema, además, tendría que tomar en consideración los potenciales incrementos en la mortalidad por otras causas, incluyendo tanto la variabilidad ambiental natural como los posibles efectos del calentamiento global.

Literatura citada

Andersen, A.M. Jr., 1971. Spawning, growth and spatial distribution of the geoduck clam, *Panope generosa* (Gould) in Hood Canal, Washington. Ph.D. Thesis. University of Washington, Seattle. 133 p.

Bakun, A., 1990. Global climate change and intensification of coastal upwelling. *Science*, 247: 198-201.

Belkin, M.I., 2009. Rapid warming of Large Marine Ecosystems. *Progress in Ocean.,* 81 (1): 207-213.

Bernard, F.R., 1983. Catalogue of the living bivalvia of the eastern Pacific Ocean: Bering Strait to Cape Horn. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. No. 61. 102 p.

Bradbury, A., B. Sizemore, D. Rothaus, y M. Ulrich, 2000. Stock assessment of subtidal geoduck clams (*Panopea abrupta*) in Washington. Marine Resources Unit, Fish Management Division, Fish Program. 52 p.

Breen, P.A., y T.L. Shields, 1983. Age and size structure in five populations of geoduck clams (*Panope generosa*) in British Columbia. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 1169. 62 p.

Brown, J.H., 1995. Macroecology. The University of Chicago Press, Chicago, IL. 269 p.

Brown, J.H., P.A. Marquet y M.L. Taper, 1993. Evolution of body size: consequences of an energetic definition of fitness. *The American Naturalist,* 142(4): 573-584.

Bureau, D., W. Hajas, N.W. Surry, C.M. Hand, G. Dovey, y A. Campbell, 2002. Age, size structure, and growth parameters of geoducks (*Panopea abrupta* Conrad, 1849) from 34 locations in British Columbia sampled between 1993 and 2000. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 2413.

Case, T.J., y M.L. Taper, 2000. Interspecific competition, environmental gradients, gene flow, and the coevolution of species borders. *The American Naturalist*, 155: 583-605.

Clarke, A., 1996 The influence of climate change on the distribution and evolution of organisms. p. 375-407. *In:* I. A. Johnston and A. F. Bennett (eds). Animals and temperature: phenotypic and evolutionary adaptation, vol. 59 Society for Experimental Biology seminar series. Cambridge, UK Cambridge University Press.

Clarke, A., 2001 Benthic organisms and environmental variability in Antarctica: responses to seasonal, decadal and long-term change. *Ocean Polar Res*., 23, 433–440.

Campbell, A., R.M. Harbo, y C.M. Hand, 1998. Harvesting and distribution of Pacific geoduck clams, Panopea abrupta, in British Columbia. p. 349-358. *In:* G.S. Jamieson y A. Campbell (eds.). Proceedings of the North Pacific Symposium on Invertebrate Stock Assessment and Management. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 125.

Dall, W.H., 1918. Pleistocene fossils of Magdalena Bay, Lower California, Collected by Charles Eussell Orcutt. *Nautilus,* 32: 23-26

Davis, A.J., L.S. Jenkinson, J.H. Lawton, B. Shorrocks, y S. Wood, 1998. Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. *Nature*, 391: 783-786.

Durham, J.W., 1950. 1940 E.W. Scripps Cruise to the Gulf of California, Part II: Mesogascopic Paleontology and Marine Stratigraphy. Geological Society of America Memoir 43, 216 p.

Goodwin, C.L., 1973. Effects of salinity and temperature on embrios of the geoduck clam (*Panope generosa* Gould). *Proc. of the National Shellfisheries Association,* 63: 93-95.

Goodwin, C.L., 1976. Observations of spawnings and growth of subtidal geoducks (*Panope generosa*, Gould). *Proc. Nat. Shellfish. Assoc*., 65:49-58.

Goodwin, C.L., y B. Pease, 1987. The distribution of geoduck (*Panope abrupta*) size, density and quality in relation to habitat characteristics such as geographic area, water depth, sediment type, and associated flora and fauna in Puget Sound Washington. Wash. Dep. Fish. Tech. Rep. No. 102. 44 p.

Goodwin, C.L., y B. Pease, 1989. Species profiles: life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (Pacific Northwest)-Pacific geoduck clam. U.S. Fish. Wildl. Serv. Biol. Rep. 82(11.120). U.S. Army Corps of Engineers, TR EL-82-4. 14 p.

Goodwin, C.L., y W. Shaul, 1984. Age, recruitment and growth of the geoduck clam (*Panope generosa*, Gould) in Puget Sound Washington. Wash. Dep. Fish. Prog. Rep. No. 215. 30 p.

Gribben, P.E., y R.G. Creese, 2005. Age, growth, and mortality of the New Zealand geoduck clam, *Panopea zelandica* (Bivalvia: Hiatellidae) in two north island populations. *Bulletin of Marine Science*, 77(1): 119–135.

Harbo, R.M., B. E. Adkins, P.A Breen, y L. Hobbs, 1983. Age and size in market samples of geoduck clams (*Panope generosa*). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 1714. 77 p.

Hiscock, K., A. Southward, I. Tittley, y S. Hawkins, 2004 Effects of changing temperature on benthic marine life in Britain and Ireland. *Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst*., 14: 333–362.

Hochachka, P. W., y G.N. Somero, 2002 Biochemical adaptation: mechanism and process in physiological evolution. Oxford, UK. Oxford University Press.

Lluch-Cota, D.B., 2004. El Sector Pesquero, p. 327-335. En: J. Martinez. y A. Fernández (eds). Cambio Climático: Una visión desde México. INE-Semarnat, México.

Morsán, E., y N.F. Ciocco, 2004. Age and growth model for the southern geoduck, *Panopea abbreviata*, of Puerto Lobos (Patagonia, Argentina). *Fisheries Research,* 69: 343-348.

Parmesan, C., N. Ryrholm, C. Stefanescu, J.K. Hill, C.D. Thomas, H. Descimon, B. Huntley, L. Kila, J. Kullberg, T. Tammaru, W.J. Tennent, J.A. Tomas, y M. Warren, 1999. Polewardshifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature,* 399:579–83

Roy, K., D. Jablonski, y K.M Martien, 2000. Invariant size-frequency distribution along a latitudinal gradient in marine bivalves. *Proc. of the National Academy of Sciences of the Unites States of America*, 7: 13150-13555.

Roy, K., D. Jablonski, y J.W. Valentine, 2001. Climate change, species range limits and body size in marine bivalves. *Ecology Letters*, 4: 366-370.

Shaul, W., y C.L. Goodwin, 1982. Geoduck (*Panope generosa*: Bivalvia) age as determined by internal growth lines in the shell. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.,* 39:632-636.

Sloan, N.A., y S.M.C. Robinson, 1983. Winter feeding by asteroids in a subtidal sand bed in British Columbia. *Ophelia,* 22(2):125-140.

Stevens, G.,C., 1989. The latitudinal gradient in geographical range: how so many species coexist in the tropics. *American Naturalist,* 133: 240-256.

Valero, J.L., C. Hand, J.M. (Lobo) Orensanz, A.M. Parma, D. Armstrong, y R. Hilborn, 2004. Geoduck (*Panopea abrupta*) recruitment in the Pacific Northwest: long-term changes in relation to climate. *CalCOFI Rep.,* 45: 80-86.

Yonge, C.M., 1971. On functional morphology and adaptive radiation in the bivalve Superfamily Saxicavacea (Hiatella (=Saxicava), Saxicavella, Panomya, Panope, Cyrtodaria). *Malacologia,* 11: 1-44.

Espejel, I., O. Delgado-González, G. Seingier, C. León, F. Rosete, M.C. Arredondo-García, A. García-Gastelúm y J. L. Fermán-Almada, 2010. Ordenamiento ecológico territorial y desarrollo costero, p. 533-544. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Ordenamiento ecológico territorial y desarrollo costero

Ileana Espejel, Oscar Delgado-González, Georges Seingier, Cuauhtémoc León, Fernando Rosete, M.C. Arredondo-García, Alejandro García-Gastelúm y José Luis Fermán-Almada

Resumen

El ordenamiento ecológico y territorial (OET) aplicado en zonas costeras es hasta ahora, el mejor instrumento dentro de la política ambiental en México para planificar el desarrollo sustentable de sus costas y tal vez la única plataforma desde la perspectiva territorial para adaptarse a los efectos de un clima cambiante. Si se implementa junto con otros instrumentos económicos y de educación ambiental que lo apoyen y fortalezcan, es posible enfrentar los desastres asociados al cambio climático. Uno de los objetivos del OET es evitar el aumento del riesgo costero: es decir, no permitir más infraestructura ni áreas pobladas en sitios peligrosos y, donde ya hay riesgos costeros, plantear una estrategia para minimizarlo. El objetivo de este capítulo es analizar los 169 municipios costeros mexicanos agrupados en unidades costeras homogéneas (UCH, combinación de regiones hipsográficas y grandes ecosistemas marinos), que han sido propuestas como parte de un sistema de regionalización para el OET de los mares y costas mexicanos, bajo dos dimensiones complementarias: 1) a través de un índice que refleja la diversidad de actividades para el desarrollo económico costero (adiciona linealmente indicadores relacionados al personal ocupado en pesca, acuicultura, turismo y minería; porcentaje de superficie cultivada por habitante y carga total manejada por los puertos) y 2) con la peligrosidad costera expresada mediante un índice formado por la proporción de longitud de costa, la proporción de planicie costera, el número de bahías y lagunas y eventos meteorológicos extremos en 100 años. La comparación y análisis de ambas visiones resulta en seis clases de riesgo costero. La estrategia metodológica propuesta considera la incorporación

del peligro costero en los mapas base del OET, esperando que la consideración del peligro, como una limitante para el desarrollo económico tradicional, evite el aumento de la del riesgo costero particularmente ante escenarios de cambio climático.

Introducción

Se reconoce que el cambio climático tendrá un impacto significativo en las poblaciones costeras y sus ecosistemas, con consecuencias económicas, sociales y ecológicas, por arriba de las posibilidades de sus respectivas sociedades para enfrentar y recomponer los impactos. Sin embargo, los ordenamientos ecológicos y territoriales no son suficientemente impulsados ni orientados para ser utilizados como plataforma analítica, metodológica o de planeación para enfrentar el reto del cambio climático. Esto sucede entre otras cosas por que los cambios físicos en el territorio se perciben como graduales y para la mayoría de los gobiernos locales, ante sus necesidades apremiantes de servicios, el largo plazo, queda fuera de su foco. Es interesante destacar esta suerte de paradoja, cuando los municipios apenas estaban entendiendo el tema del desarrollo sustentable, la participación pública y gobernabilidad, ahora deben abrir aún más su perspectiva, apurar el paso, resumir y preocuparse por los efectos de un clima cambiante, tema que por su complejidad, es polémico en la prensa mundial. Todo lo cual no ayuda a promover la acción certera de la población en general, y en particular, mucho menos la de autoridades locales.

Se proyecta que la peligrosidad del territorio costero aumentará: aumento en el nivel del mar, incremento en la frecuencia de los eventos de tormentas, incremento en la severidad de éstos, y cambios en los patrones de precipitaciones dependiendo de la región, el nivel del mar se ha elevado varias veces por sobre la media global o, de hecho, ha disminuido (IPCC, 2007). Lo más importante es que mientras las proyecciones de los modelos actuales indican una variabilidad substancial en el futuro del nivel del mar, tanto en las escalas locales como regionales, el IPCC concluye con seguridad que los impactos son abrumadoramente negativos (Titus, 1998; EPA, 1989; FEMA, 1991 y 2000; IPCC, 2007).

El objetivo de este capítulo es describir la actual peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo de los 169 municipios de la costa mexicana. Entendiendo que el riesgo está en función de la peligrosidad y la vulnerabilidad (Riesgo=f(P,V) donde Peligro es también considerado una amenaza y la vulnerabilidad un agregado de condiciones sociales, económicas y de un medio biofísico alterado. Se considera que, ante la imposibilidad de incidir en los peligros (tormentas, huracanes, etc.), sólo queda trabajar en reducir la vulnerabilidad. En este sentido, la utilización del OET se vuelve una estrategia de adaptación (León *et al.*, 2009)

La costa de un municipio costero es peligrosa si además de observar impactos de huracanes y tormentas en los últimos 100 años la extensión de su litoral es grande, posee una gran proporción de planicie costera, de bahías y de cuerpos de aguas protegidos tipo lagunas costeras, ya que estas condiciones físicas proporcionan espacios más susceptibles a inundarse ante los escenarios proyectados por el cambio climático; elevación del mar y mayor intensidad y frecuencia de eventos meteorológicos extremos. Asimismo, la población que vive en las planicies

costeras de dichos municipios es vulnerable a sufrir inundaciones. Por lo tanto, las unidades costeras son más vulnerables si hay más infraestructura y servicios que generen empleos (pierden económicamente más). Un municipio costero está en mayor riesgo de inundación y de sufrir pérdidas lamentables (humanas y económicas) ante escenarios de cambio climático, si es peligroso ante inundaciones y si vive mucha población y hay infraestructura valiosa. En este capítulo no se consideran los indicadores demográficos porque fueron incluidos por Seingier *et al.* en esta obra (p. 669-688).

Entre las soluciones para enfrentar el cambio climático se proponen básicamente dos estrategias: reducir las emisiones de gases que promueven el efecto invernadero, conocida como mitigación. La otra es la adaptación al cambio climático, y concierne a todos, pero en especial a los planificadores del uso del suelo en los países en vías de desarrollo, que en muchos lados se cruza con la agenda de protección civil (alerta temprana, manejo y prevención de desastres, etc.) y es sobre esta estrategia, que el ordenamiento ecológico tiene un alto potencial preventivo y por supuesto sobrada injerencia.

El OET se fundamenta en la ecología del paisaje, considera e incluye distintas escalas espaciales y temporales, lo cual permite distinguir los cambios regionales de los locales. Los resultados del OET se convierten en instrumentos legales flexibles (se decretan como ley pero se pueden revisar cada 5 o 10 años) derivan de un trabajo interdisciplinario y, se construyen y legitiman mediante la participación ciudadana. Todo lo cual hace de este proceso un excelente vehículo de educación ambiental a todos los niveles (Espejel, 2009)

Si se considera a la zona costera mexicana como un espacio estratégico para el desarrollo del país, donde se proyectan y concentran grandes obras de infraestructura portuaria, petrolera, industrial, ciudades nuevas, centros para el desarrollo turístico y habitacional de segundos hogares para extranjeros, es de suma importancia planificar y reordenar su crecimiento basados al menos en la consideración de la elevación del nivel del mar y el aumento en la intensidad de eventos meteorológicos extremos (*e.g.* sequías, ondas de calor, huracanes, lluvias torrenciales, etc.). Así entonces, el OET cobra importancia como instrumento de planificación territorial.

Estado del arte

Para analizar los municipios costeros se utilizó la zonificación de los mares y costas mexicanos diseñada por Escofet (2004) y que a su vez ha sido propuesta por Espejel y Arredondo (2008) para utilizarse en los ordenamientos regionales de la zona costera o de mesoescala. Las Unidades Costeras Homogéneas (UCH) tienen un componente biofísico marino que corresponde a los cinco grandes ecosistemas marinos de México: Corriente de California, Pacífico costero de Centroamérica, Golfo de California, Golfo de México, Mar Caribe y, de otro componente biofísico terrestre que corresponde a las siete regiones hipsográficas costeras: Sierras Peninsulares de Baja California, Llanuras Costeras de Vizcaíno-Magdalena, Llanura Costera Oriental del Golfo de California, Sierra Madre del Sur, Istmo de Tehuantepec-Sierra Madre de Chiapas, Llanura Costera del Golfo de México y Península de Yucatán (con drenaje superficial), Lla-

nura Costera del Golfo de México y Península de Yucatán (sin drenaje superficial). Los seis municipios de la península de Baja California que tienen litoral en ambos Pacífico y Golfo de California fueron divididos en dos, acorde con el límite de las regiones hipsográficas (figura 1).

Los usos de los espacios costeros en México

El uso de la zona costera en México ha obedecido a situaciones circunstanciales en su devenir histórico, más que a una planeación integral orientada al beneficio a largo plazo (León, 2004). Actualmente la distribución del uso del suelo costero cobra importancia porque la población se mueve hacia el mar (Gutiérrez de MacGregor y González Sánchez, 1999; León, 2004; Azuz y Rivera, 2010).

Hoy en día, en la costa se realizan diversas actividades económicas en un gradiente de intensidad de usos que va desde la explotación de recursos no renovables hasta el no uso, pasando por diversos grados de aprovechamiento y conservación. Entre los principales se encuentran la extracción de petróleo y gas, principal fuente de divisas para el país, otras minerías como la ex-

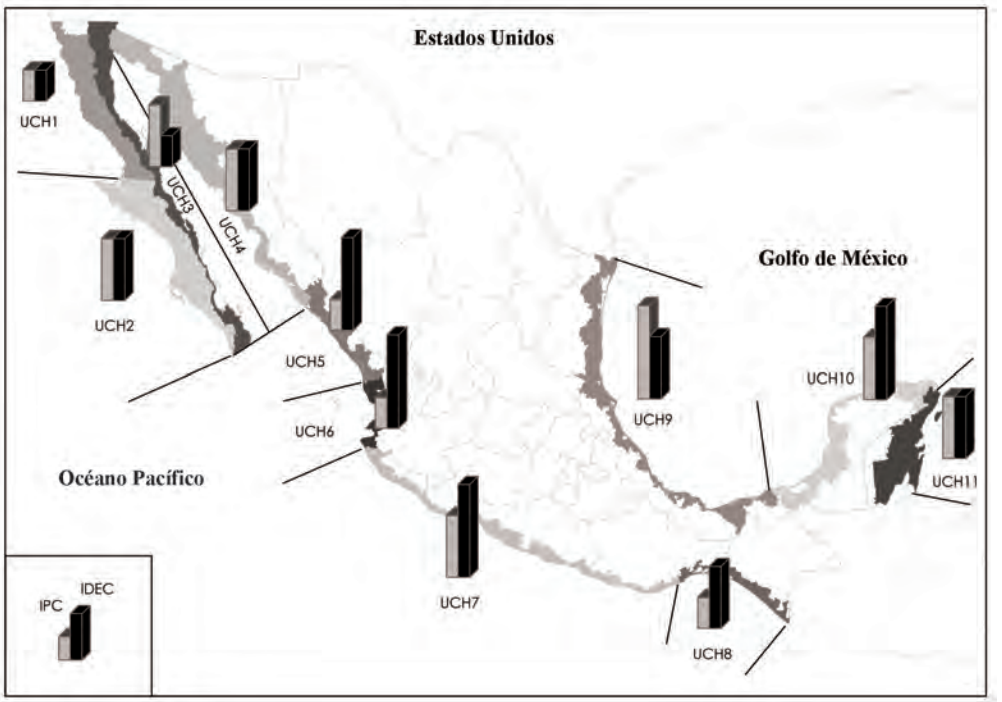


Figura 1. Mapa de de Unidades Costeras Homogéneas (UCH) que muestra las dos visiones para analizar la vulnerabilidad de la costa mexicana. Un índice que expresa la diversificación de las actividades económicas costeras (IDEC) y otro que refleja la peligrosidad costera (IPC).

tracción de arena y pétreos, el turismo en varias modalidades (desde turismo de aventura hasta zonas urbanas habitacionales de turismo masivo), la agricultura y la ganadería con diversidad de tipos de pastoreo y cultivos de riego y temporal, el transporte marítimo y el comercio asociados a grandes obras de infraestructura urbana terrestre y marina, la pesca y la acuacultura.

Según datos el Banco de México, las actividades que participaron en la economía nacional en el 2003 son las actividades terciarias, el comercio y todos los servicios, que generaron el 72%, las del sector secundario, en su más amplia concepción, el 25.1% y las primarias tan sólo el 5.7%. Todos estos usos han consumido grandes porciones de ecosistemas costeros con vegetación costera que fungen o fungían como agentes protectores de la costa (Seingier, 2009).

Las condiciones políticas, económicas, sociales y geográficas bajo las cuales se han originado y desarrollado cada uno de los usos del suelo costero han sido diferentes, lo cual ha dificultado contar con una planeación a largo plazo que asegure la sustentabilidad de las mismas. Sin embargo, es innegable que estas actividades han servido de apalancamiento en el desarrollo económico de México. Por ejemplo, con datos del censo económico de INEGI en 2005, la participación de los estados costeros al producto interno bruto nacional durante el periodo 1993-2004 fue de 36%, 23% en la costa Pacífico y 13% en la costa del Golfo de México. Con un aumento porcentual de 0.5% observado en los estados costeros fronterizos en el norte, Baja California y Tamaulipas, y de 0.25% en la frontera sur en Quintana Roo.

En la tabla 1 y figura 1, la descripción de las UCH muestra una costa mexicana heterogénea, cuando unas son complejas por agrupar 41 municipios otras constan de tres solamente; unas UCH cuentan con extensos litorales, otras no tanto; mientras unas están muy pobladas (4, 7 y 9), otras están casi despobladas; cuando unos conjuntos de municipios están muy marginados, otros pocos, son de los menos marginados del país, no sólo de la costa (León, 2004); pero empieza a ser una proporción considerable de la población mexicana la que vive en la costa con respecto a todo el país (16% en el 2000).

Índice de Diversidad de Actividades Económicas (IDEC)

Para construir el índice de diversidad de actividades económicas, se utilizaron los censos económicos del 2005 del INEGI y se seleccionaron las variables que se refieren a la población ocupada en diferentes actividades, en este caso básicamente hay personas que usan el mar y están empleadas en la pesca y acuacultura, mientras que las personas que trabajan en la tierra están ocupadas en hoteles (indicador de turismo) y en la minería (se refiere fundamentalmente a actividades petroleras). Asimismo, se agregó un indicador que reflejara el uso agropecuario al calcular la superficie cultivada por habitante del municipio. Otro aspecto importante debía reflejar la importancia de los puertos, por lo que se agregó como indicador la tasa de crecimiento en 10 años de la carga total de los puertos. Todos los datos se normalizaron y se sumaron sin ponderarlos. En la tabla 2 se muestra cada indicador del índice de diversificación económica costera, ordenado por importancia. Hay UCH especializadas, es decir con una mayor proporción de personas ocupadas en un sólo sector, por ejemplo la UCH 1 es básicamente portuaria

Tabla 1. Datos de la población en los municipios de cada Unidad Costera Homogénea (UCH) según el censo de INEGI de 2000.

Unidad costera homogénea (UCH)	Número de municipios	Superficie total en km²	Longitud (km)	Número de localidades	Número de habitantes	% de la población total	% de los población total del país (97.5 millones)	Índice de marginación promedio
1 (BC)	3	43 049	800	1 901	1 640 170	11	2	-0.4813
2 (BCS)	5	54 765	1700	1 615	106 600	1	0	-0.0835
3 (BC,BCS)	7	41 002	1600	2 824	1 081 724	7	1	-0.5136
4 (SON)	17	80 310	1500	5 799	2 416 431	16	2	-0.2916
5 (SIN)	8	21 626	400	2 541	1 377 868	9	1	-0.1014
6 (NAY,JAL)	6	7 450	300	923	520 554	3	1	-0.2520
7 (COL, MICH, GRO, OAX)	35	33 789	1300	4 721	2 008 426	13	2	0.2528
8 (OAX,CHIS)	20	13 038	500	4 249	908 248	6	1	0.0849
9 (TAMS,VER, TAB)	41	46 749	1400	10 212	3 944 909	25	4	-0.0815
10 (CAM, YUC)	22	35 014	900	2 794	751 053	5	1	-0.0243
11 (QROO)	5	33 781	800	1 785	812 245	5	1	-0.0386
Total	169	410 572		39 364	15 568 228	100	16	

en cambio la UCH 10 es pesquera, petrolera y portuaria (por Cd. del Carmen, en Campeche y Pto. Progreso en Yucatán) y la UCH 7 también es diversa en cuantos a proporción de personas ocupadas ya que tiene casi todos los usos en los primeros lugares y cuenta con la mayor proporción de superficie cultivada por habitante (Delgado-González, 2010).

Índice de Peligrosidad Costera (IPC)

Los indicadores de la tabla 3 se normalizaron y sumaron sin ponderarlos para obtener el Índice de Peligrosidad Costera, entre mayor sea su valor, mayor será el grado de peligro, es decir la clase 3 de la figura 1 y tabla 4. Los datos provienen de Seingier (2009). Es claro que hay UCH con un IPC mayor ante eventos de cambio climático que otras. En la figura 1 es patente que la UCH donde hay más eventos meteorológicos extraordinarios y una longitud de costa con bahías y lagunas costeras, el IPC es mayor, como por ejemplo, la UCH 9 donde vive el 25% de la población costera (3 944 909 habitantes en 10 212 localidades (tabla 1). Asimismo, hay UCH casi sin peligrosidad costera como son las UCH 1,5, 6 y 8 que corresponden a 3 243 km de longitud de costa de 37 municipios. Es importante mencionar que 6 de las 11 UCH tienen un IPC medio, casi la mitad de ellas y que comprenden 124 municipios costeros donde vive casi la mitad de la población costera de México (47%).

Para analizar la peligrosidad y la vulnerabilidad juntas se construyó la tabla 4 donde se ordenan los pares de datos normalizados priorizando al IPC.

Tabla 2. Unidades costeras homogéneas UCH ordenadas por cada indicador que forma el Índice de Diversificación del Desarrollo Económico Costero.

UCH	Porcentaje de población empleados en pesca	UCH	Porcentaje de población empleados en acuicultura	UCH	Porcentaje de población empleados en hoteles (turismo)	UCH	Porcentaje de población empleados en minería (básicamente petrolero)	UCH	Porcentaje de superficie cultivada por habitante (indicador de desarrollo agropecuario)	UCH	Tasa de crecimiento (1995/2005)de la carga total en puertos
10	2.31	6	0.28	6	2.92	10	1.89	7	0.70	10	8.2
8	1.43	4	0.26	11	2.84	9	0.39	4	0.43	5	6.9
7	1.25	5	0.19	2	2.30	7	0.11	6	0.42	7	5.8
2	1.14	10	0.05	7	1.14	3	0.11	5	0.36	9	3.9
6	1.04	7	0.05	5	0.53	11	0.08	8	0.25	2	3.2
4	0.96	8	0.03	10	0.39	8	0.07	10	0.22	11	3.2
5	0.92	1	0.02	3	0.36	4	0.05	9	0.15	1	2.5
9	0.75	3	0.02	1	0.26	5	0.04	3	0.13	8	0.1
3	0.40	9	0.01	9	0.26	2	0.03	2	0.12	4	-0.3
1	0.18	2	0.01	4	0.22	6	0.02	11	0.11	3	-2.1
11	0.09	11	0.00	8	0.15	1	0.01	1	0.02	6	0

Tabla 3. Indicadores para construir el Índice de Peligrosidad Costera asociado a las UCH mostradas en el mapa de la figura 1.

UCH	Línea de costa (km)	De planicie costera (km²)	Número de bahías y lagunas costeras	Número de eventos meteorológicos extremos ponderados por tipo
1 (BC)	1 114	8 311	15	2
2 (BCS)	3 287	33 929	14	0
3 (BC,BCS)	1 928	20 385	31	177
4 (SON)	3 609	51 763	23	149
5 (SIN)	655	13 340	10	60
6 (NAY,JAL)	443	5 665	6	53
7 (COL,MICH, GRO, OAX)	1 731	16 800	34	232
8 (OAX,CHIS)	1 031	9 514	8	52
9 (TAMS,VER,TAB)	3 614	47 619	35	467
10 (CAM, YUC)	2 268	35 015	14	393
11 (QROO)	1 160	33 778	8	270

Lecciones aprendidas

Ante la situación actual de los cinco usos de suelo costero descritos en la tabla 2 y la peligrosidad (tabla 3) que se proyecta con modificaciones en la columna de eventos meteorológicos extremos ante los escenarios de cambio climático, es inminente que la vulnerabilidad de la población con empleo (figura 1) y la infraestructura costera que propicia esos empleos, también estará aumentando. Más que nunca es urgente incorporar el concepto de riesgo (función de la peligrosidad y la vulnerabilidad) en OET.

Las tendencias del uso de suelo, deterioro de las barreras naturales que amortiguan los impactos de las mareas de tormenta, los vientos asociados a huracanes, y la propia erosión de las costas (dunas, arrecifes, manglares entre otros) representan un reto del manejo y conservación del territorio y de los ecosistemas en general. Ante los distintos escenarios del cambio climático (incluso los más optimistas) y el desmantelamiento que se está dando de los atributos de la zona costera (pérdida de los servicios ambientales como mencionan Ezcurra *et al*., 2009) hará que los impactos sean mucho más costosos,

La sugerencia principal de este trabajo es que tanto el ordenamiento ecológico (más asociado a las zonas rurales) como el territorial (más asociado a las zonas urbanas) consideren la peligrosidad de su territorio como parte de la información básica al empezar un proceso de OET. Es decir, junto con carreteras, curvas de nivel y uso actual de suelo, es necesario plasmar los sitios que ofrecen algún peligro para el desarrollo como son zonas naturalmente inundables, vegetación que se incendia, montañas y cerros donde hay sismos y deslaves, etc. Si desde el inicio se considera la peligrosidad del territorio, ésta será una condicionante para el desarro-

Tabla 4. Clases de riesgo, una función de la peligrosidad costera y la vulnerabilidad del personal ocupado en actividades económicas costeras (ver tabla 2).

UCH	Índice de peligrosidad costera (IPC)	Índice de diversificación económica costera (IDEC) (Vulnerabilidad)	Seis clases de riesgo (ordenadas de mayor a menor) por la combinación de la peligrosidad y la vulnerabilidad al personal ocupado en actividades económicas costeras
9	3	2	1. Segundo lugar en personas ocupadas en actividades mineras y cuarto lugar en tasa de crecimiento de carga portuaria
7	2	3	2. Las UCH más diversificadas, UCH 10 primer lugar en empleados en la pesca, las actividades mineras, y crecimiento de sus puertos. La UCH 7 primer lugar en superficie cultivada por habitante, y tercer lugar en personas empleadas en la pesca, las actividades petroleras y crecimiento de sus puertos; cuarto lugar en personas empleadas en turismo y quinto en empleados en acuicultura
10	2	3	
2	2	2	3. UCH 11 segundo lugar en personas empleadas en turismo, UCH 4 segundo lugar en empleados en acuicultura y superficie cultivada por habitante. UCH 2 cuarto lugar en el indicador de pesca.
4	2	2	
11	2	2	
3	2	1	4. Últimos lugares en casi todas las actividades excepto que es tercer lugar en actividades mineras
5	1	3	5. UCH 6 es primer lugar en indicador de acuicultura y turismo, UCH 5 es segundo lugar en crecimiento de puertos, tercer lugar en acuicultura y ambas son tercer y cuarto lugar en superficie cultivada por habitante
6	1	3	
8	1	2	6. Sólo la UCH tiene un segundo lugar en el indicador de pesca, el resto de ambas UCH está en los valores medios y bajos.
1	1	1	

llo, es decir se podrá condicionar, restringir o aun negar la construcción de un proyecto. De hecho, como dice Espejel (2009) el sólo hecho de informar a los participantes en el proceso de ordenamiento ecológico, permite la educación ambiental y se logran tomar decisiones bien informadas y sabiendo las consecuencias de las mismas. Y, por otro lado, ante el avance de los costos de recuperación (nuevas primas de las aseguradoras) y el replanteamiento de los fondos para atender los desastres (*e.g.* FONDEN), los esquemas de protección civil están requiriendo fuentes de información para la reubicación de la población, nuevas normas de construcción y asentamientos (no dotar de servicios a zonas de alto riesgo), ahí el OET que maneje y distinga estas variables claramente, tendrán interlocutores con potencial de ejecución para reordenar también los usos del territorio.

Recomendaciones

El análisis de varios ordenamientos ecológicos realizados hasta el presente, muestran que por regla general en la etapa de caracterización y diagnóstico se incluyen análisis de peligros (León *et al*., 2009). No obstante, la referida información deja de ser utilizada como un indicador importante en los mapas de aptitud sectoriales, ya que para este tipo de mapas resulta una información complementaria. Es por ello que tanto en relación con los conflictos, como en la delimitación de las áreas a preservar, conservar, proteger, restaurar es donde se puede introducir el tema de los peligros y riesgos naturales. En escalas más finas que la de este trabajo, se propone contraponer la política asignada a la unidad ambiental con la peligrosidad, así aunque la política sea aprovechamiento en una unidad que todavía no se utiliza, si la peligrosidad es muy alta, se convierte automáticamente en protección y si ya está poblada o hay infraestructura, se condiciona el aprovechamiento a diversas maneras de contrarrestar el peligro, con el objeto de crecer y evitar la construcción de una situación riesgosa y que se ejemplifica en León *et al*. (2009) y en el siguiente capítulo.

Una revisión de los OET decretados por la Semarnat hasta mayo de 2010 (anexo) sirve para confirmar la idea de la necesidad y simultáneamente el potencial de influir positivamente en una gran proporción del país, pero sobretodo donde se requiere incluir y rescatar las variables del peligro: es importante poner límites de crecimiento donde ya hay riesgo, y especialmente, modificar las estrategias ante la nueva peligrosidad asociada al cambio climático en la zona costera.

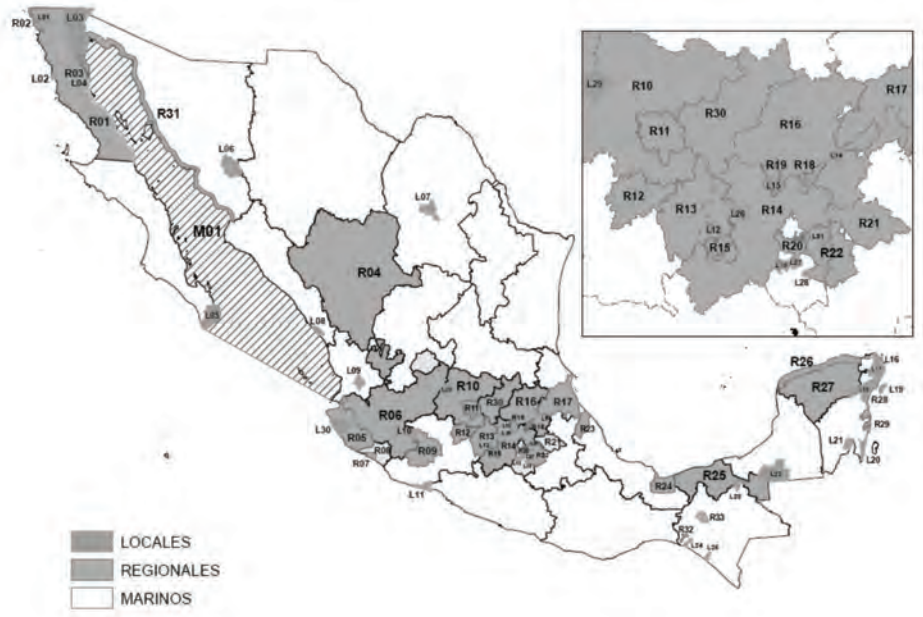


Figura 2. Ordenamientos ecológicos decretados hasta mayo de 2010. Tomado de INE-Semarnat. http://semarnat.gob.mx/queessemarnat/politica_ambiental/ordenamoientosecologicos/Documents/documentos%20ordenamiento/decretados_20100502.pdf

Literatura citada

Azuz, I., y E. Rivera-Arriaga, 2010. Descripción de la dinámica poblacional en la zona costera mexicana durante el periodo 2000-2005. *Papeles de Población*, 15(62):75-107.

Delgado, O., 2010.Desarrollo y aplicación de una herramienta de gestión para el aprovechamiento acuícola en Bahía San Quintín, Baja California. Tesis de doctorado. Laboratorio de Ingeniería Marítima. Universidad Politécnica de Cataluña. 182 p

Escofet, A., 2004. Aproximación conceptual y operativa para el análisis de la zona costera de México: un enfoque sistémico-paisajístico de multiescala. Tesis de doctorado. UABC. 276 p.

EPA, 1989. The Potential Effects of Global Climate Change on the United States. Report to Congress US Environmental Protection Agency. EPA 230-05-89-052.

Espejel, I., 2009. Ordenamiento ecológico y educación. V Congreso Internacional de Ordenamiento Ecológico y territorial. Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sustentable: de la teoría a la práctica. Morelia, Michoacán, 24 al 28 de noviembre de 2009.

Ezcurra, E., O. Aburto, y L. Rosenzweig, 2009. Los riñones del mundo: ¿por qué debemos proteger los manglares de México? *Investigación ambiental,* 1 (2): 202-206

FEMA, 2000. Evaluation of erosion hazards. http://www.heinzctr.org/publications/PDF/erosnrpt.pdf

FEMA, 1991. Projected Impact of Relative Sea Level Rise on the National Flood Insurance Program. 70 p.

Gutiérrez de MacGregor, M.T. y J. González Sánchez, 1999. Las costas mexicanas y su crecimiento urbano. *Investigaciones Geográficas*, 40: 110-126.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. *In:* Parry, Martin L., Canziani, Osvaldo F., Palutikof, Jean P., van der Linden, J. Paul, and Hanson, E. Clair (eds.) Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1000 p.

León C., 2004. Piezas de un rompecabezas: dimensión socioeconómica de las costas de México. p. 5-26. En: Arriaga E, Azuz I, Villalobos G. El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche. 654 p.

León C., M.A. Ortíz, J. Sosa, I. Espejel, V. Palacios y C. Nieves, 2009. Guía técnica para la incorporación del análisis de riesgo en los ordenamientos ecológicos municipales y regionales. Informe técnico final. Instituto Nacional de Ecología. Semarnat.

Seingier, G., 2009. Desarrollo sustentable de las costas mexicanas: escenario de evaluación y monitoreo". Tesis de Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo. IIO-FCM-FC. UABC.

Titus, J., 1998. Rising seas, coastal erosion, and the takings clause: How to save wetlands and beaches without hurting property owners. *Maryland Law Review*, 57(4):1279-1399.

Anexo

Ordenamientos ecológicos decretados hasta Mayo de 2010. Tomado de: INE-Semarnat.		
Regionales		
R01. Estatal de Baja California.	R12. Lago de Cuitzeo, Mich.	R23.Cuenca del Río Bobos, Ver.
R02. Corredor Costero Tijuana Ensenada, B.C.	R13. Mariposa Monarca, Mich.	R24. Cuenca del Río Coatzacoalcos, Ver.
R03. San Felipe -Puertecitos, B.C.	R14. Estado de México.	R25. Estatal de Tabasco.
R04. Estatal de Durango.	R15. Valle de Bravo –Amanalco, Mex.	R26. Costero de Yucatán, Yuc.
R05. Costa de Jalisco, Jal.	R16. Estatal de Hidalgo.	R27. Estatal de Yucatán.
R06. Estatal de Jalisco.	R17. Cuenca del Río Tuxpan, Ver.	R28. Corredor Cancún -Tulum, Q.Roo.
R07. Laguna de Cuyutlán, Col	R18. Valle de Pachuca –Tizayuca, Hgo.	R29. Sian Ka'an, Q.Roo.
R08. Estatal de Colima.	R19. Tula –Tepeji, Hgo.	R30. Estatal de Querétaro.
R09. Cuenca del Río Tepalcatepec, Mich.	R20. Zona Rural del D.F.	R31. Costa de Sonora, Son
R10. Estatal de Guanajuato.	R21. Estatal de Tlaxcala.	R32.Cuenca del Río Lagartero, Chis.
R11. Región Laja –Bajío, Gto.	R22. Volcán Popocatépetl.	R33.Cuenca del Río Sabinal, Chis.
Locales		
L01 Valle de Guadalupe, B.C	L12. Municipal de Villa de Allende, Mex.	L23. Playas de Catazajá, Chis.
L02. San Quintín, B.C.	L13 Municipal de Cuernavaca, Mor.	L24. Subcuencadel Río Zanatenco, Chis.
L03. Municipal de Mexicali, B.C.	L14. Municipal de Huasca, Hgo.	L25. Cuenca del Río Coapa, Chis.
L04. San Felipe Puertecitos -Paralelo 28, B.C.	L15. Municipal de Tepeji, Hgo.	L26. Municipal de Ixtlahuaca, Mex.
L05. Municipal de Los Cabos, B.C.S.	L16. Municipal de Isla Mujeres, Q.Roo.	L27. Municipal de Tepoztlán, Mor.
L06 Municipal de Rosario, Son.	L17. Municipal de Benito Juárez, Q.Roo.	L28. Municipal de Cuautla, Mor
L07. Cuatrociénegas, Coah.	L18. Municipal de Solidaridad, Q.Roo.	L29. Municipal de León, Gto.
L08. Zona costera de El Rosario, Sin.	L19. Isla de Cozumel, Q.Roo.	L30.Municipal de Tomatlán, Jal.
L09. Municipal de Santa María del Oro, Nay.	L20. Costa Maya, Q.Roo.	L31.Municipal de Tlalmanalco, Edo. de Méx.
L10. Municipal de Cotija, Mich.	L21. Laguna de Bacalar, Q. Roo.	
L11. Lázaro Cárdenas, Mich.	L22. Municipal de Candelaria, Camp.	
Marino		
M01. Golfo de California.		

Espejel, I., V. Palacios-Chávez, C. León, C. Nieves y A. García-Gastelum, 2010. El imperativo de la incorporación del riesgo en la planeación y gestión de nuevas ciudades, un ejercicio analítico para un puerto por nacer, p. 545-558. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

El imperativo de la incorporación del riesgo en la planeación y gestión de nuevas ciudades, un ejercicio analítico para un puerto por nacer

Ileana Espejel, Verónica Palacios-Chávez, Cuauhtémoc León, Carolina Nieves y Alejandro García-Gastelum

Resumen

Ante escenarios de cambio climático, más que nunca, es importante incorporar el peligro como un insumo fundamental en los mapas iniciales que se hacen para los planes de desarrollo regional y ordenamientos ecológicos y territoriales del país. Los resultados de un ejercicio de análisis de la vulnerabilidad socioambiental (VS) y el riesgo en un sitio donde se planea una nueva ciudad portuaria, ejemplifican que las lecciones que ha dejado el construir junto a lechos de arroyos, en pendientes altas de suelos que se deslavan, sobre matorrales que se incendian y sobre diversidad cultural y biológica, no han sido aprendidas. Se encontró que los porcentajes de variación de ambos escenarios analizados, es decir, sin y con ciudad portuaria, es de 12.2 % en las clases Muy Alta y Alta VS. Uno esperaría que la construcción de infraestructura portuaria y urbana en arroyos aumentara considerablemente la vulnerabilidad, sin embargo actualmente ya es suficientemente vulnerable porque en los arroyos se localizan campos de cultivo y asentamientos humanos. También uno esperaría que el diseño de una nueva ciudad e infraestructura portuaria consideraría no aumentar el riesgo, sin embargo no es así. Para esto, se propone un esquema de incorporación de la peligrosidad de una unidad ambiental como condicionante de las políticas de los ordenamientos ecológicos.

Introducción

Recientemente se ha dado un impulso al desarrollo urbano-turístico en la zona costera árida y semiárida del noroeste del país. Hoy simplemente por los costos asociados a los eventos extremos construir bajo el concepto de desarrollo sustentable considerando los escenarios bajo el cambio climático, se vuelve un imperativo. Si bajo las tendencias y fragilidad de los ecosistemas normales se requerían planes de ordenamiento ecológico territorial para evitar la construcción en zonas de riesgo que pongan en peligro a los habitantes y visitantes de las costas, hoy con los registros de aumento del nivel del mar y el aumento de eventos extremos es impensable no obligar esta perspectiva e instrumentos de planeación. Los problemas de un desarrollo anárquico como ha sido en otras zonas costeras de México, por ejemplo Cancún, son sumamente costosas (http://www.presidencia.gob.mx/programas/gobernabilidad/?contenido=34624) y principalmente son subsidiadas vía los impuestos y deuda de todos los ciudadanos mexicanos.

Aunque Baja California cuenta con un historial de buenos planes de ordenamiento territorial (Azuela *et al*., 2006), en tanto estudios y propuestas, en el municipio de Ensenada, no se ha cumplido (ejercido, obedecido o sancionada) dicha normatividad. Al conceder usos de suelo conflictivos entre si, están provocando un aumento de zonas de riesgo; en el ámbito ecológico su resiliencia en el largo plazo y vulnerando la capacidad de amortiguar los peligros, y en el ámbito social hacen y harán a la población y sus visitantes más vulnerables a perder sus bienes, su salud y hasta sus vidas. Por ejemplo el incumplimiento de la ley (Ordenamiento Ecológico denominado COCOTREN) está provocando la pérdida de ecosistemas y tipos de vegetación únicos en México, con una gran cantidad de especies raras y endémicas (Leyva *et al*., 2006) y de suma importancia ecológica como el matorral rosetófilo costero. Esto puede acelerar la disminución y en algunos casos la extinción de especies endémicas de uno de los cinco paisajes tipo mediterráneo del mundo (Dallman, 1998).

En las actividades de planeación de los recursos, es necesario considerar la resolución de conflictos entre los diversos usos de los recursos, y el intento de determinar la combinación óptima de usos a lo largo del tiempo, reconociendo su naturaleza dinámica y la demanda sobre ellos (Fermán-Almada *et al*., 2006).

México cuenta con varios instrumentos de política ambiental (primordialmente de comando y control) que regulan las actividades y el aprovechamiento de los recursos naturales formalmente la visión de desarrollo sustentable está reflejada en su marco jurídico (Espejel, 2001): de acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente el Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET) se define como: "*el instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos*" (DOF, 2007).

Al sur del municipio de Ensenada en el estado de Baja California, se encuentra la localidad de Punta Colonet (figura 1). Ahí se pretende desarrollar un puerto marítimo, una terminal especializada de contenedores y el establecimiento de una vía ferroviaria además de la creación

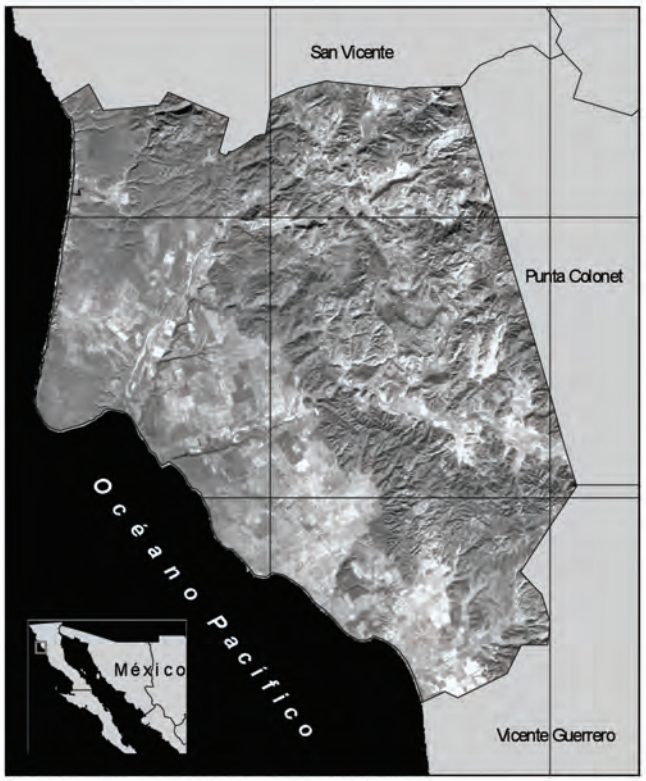


Figura 1. Área de Estudio donde se proyecta una nueva ciudad portuaria: Punta Colonet, Baja California, Mexico.

de servicios e infraestructura que demanda una ciudad producto de un desarrollo tales como la creación de viviendas, zonas industriales, comerciales y servicios. Es en esta zona de nuevo crecimiento en la que se presenta la oportunidad de una planeación (partiendo de cero, en tanto a ciudad se refiere) en donde no sólo las actividades de los diferentes sectores pueden ser ordenadas de acuerdo a las aptitudes del suelo, sino además, donde sin delación se pueda incluir los distintos componentes de riesgo.

Métodos

Este trabajo muestra un ejercicio de planeación utilizando como plataforma analítica el ordenamiento territorial, que por ser un instrumento de gestión reconocido en la ley, permitiría ser aplicado sin problema. En esta propuesta, se incluyó la dimensión del riesgo utilizando un Índice de Vulnerabilidad Socio-Ambiental en las unidades ambientales (figura 2) bajo dos escenarios distintos:

a) En el primer escenario (escenario a, sin ciudad portuaria) el ejercicio se llevó a cabo con el estado actual de uso de suelo, básicamente agrícola.

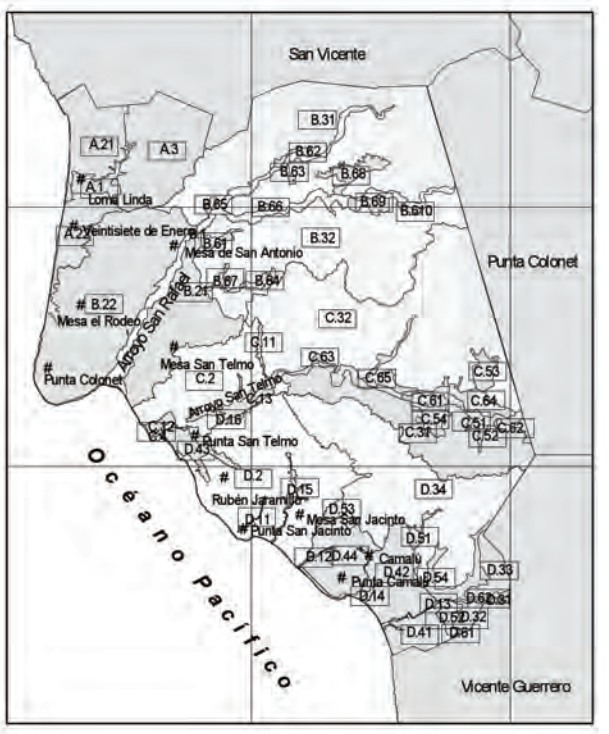


Figura 2. Unidades ambientales del área de estudio donde se proyecta una nueva ciudad portuaria.

b) En el segundo escenario (escenario b, con ciudad portuaria), se hizo una proyección de los posibles cambios de uso de suelo que se darían con la implementación del proyecto (figura 3).

El Índice de Vulnerabilidad Socio Ambiental está constituido por el Índice de Vulnerabilidad Natura (IVN) y el índice de Vulnerabilidad Social (IVS), donde:

$$IVN = \Sigma(IVEG + IARQ + Ri + Rs + Rg)$$

Índice de Vegetación (IVEG)= Σ(% Matorral Costero + % Vegetación Riparia (2) + % Dunas (2)+% Chaparral + % Charcas Vernales (2).
Índice Arqueológico (IARQ)= Número de Sitios Arqueológicos por unidad / Total de números de Sitios Arqueológicos.
Riesgo a Inundación (Ri): Número de escurrimientos/Área total de la unidad
Riesgo a Sismo (Rs): Presencia ausencia de fallas por unidad ambiental
Riesgo por Geoformas (Rg) = Dunas (5) + Cantiles (1) + Cauce (5) + Llanura Costera (5) + Lomerio (1) + Meseta (3).

$$IVS = \Sigma(IP + IU + IDP)$$

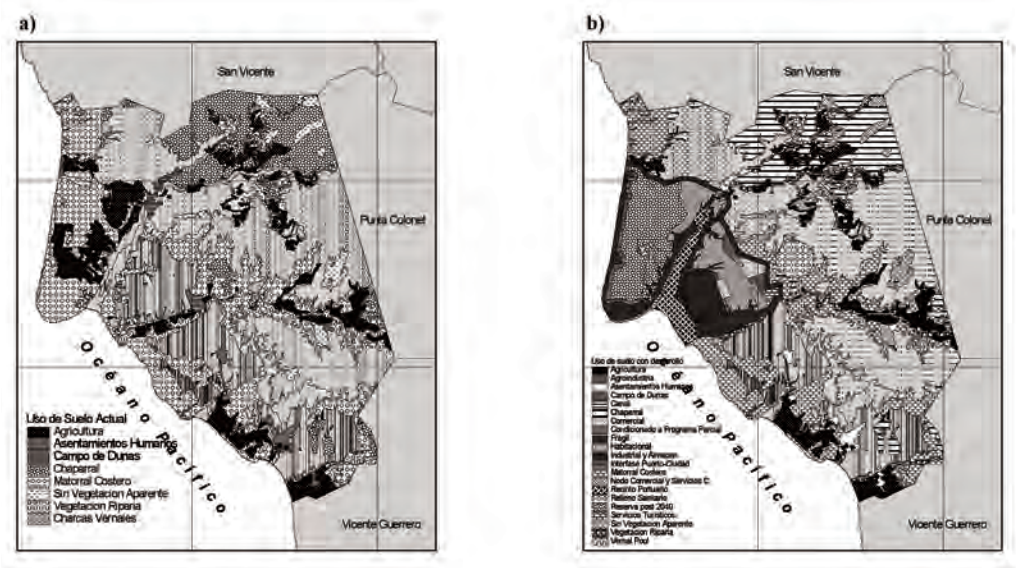


Figura 3. a) Escenario sin ciudad portuaria; b) Escenario con ciudad portuaria.

Índice de Población (IP)=Densidad Poblacional 2000-2005 + Tasa de cambio 2000-2005[1].

Índice de Cambio de Uso de Suelo (IU)= Σ (Cambio en el uso de suelo 2001-2006) (Uso 2006) (ponderador a cada uso transformado[2]).

Indice de Pendiente y Población cercana a arroyos (IDP)=(Población en pendiente mayor al 30%+Población cercana a arroyos)

Los valores obtenidos de los índices se normalizaron por la formula de (Nijkamp y Rietveld, 1990):

$$Bj = \frac{(Xj - \min Xj)}{(\max Xj - \min Xj)}$$

Donde:

Bj=Valor del dato estandarizado Max Xj=Valor Máximo de los datos .

Xj=Valor del dato a estandarizar Min Xj=Valor Mínimo de los datos.

Una vez normalizados los valores de los índices se obtuvieron cinco clases por el método de inflexión de la curva ya que los valores no tenían distribuciones normales.

[1]Estos parámetros se modificaron en el segundo escenario (tendencial) aumentando 100 000 habitantes

[2] Urbano=3, Agricultura=2 y Sin Vegetación Aparente=1 los valores asignados para cada uso están en función del grado de transformación, urbano presenta el máximo valor debido a que la recuperación del paisaje natural anterior a su transformación en la mayoría de los casos es irreversible, en cambio las zonas utilizadas para agricultura y aquellas marcadas como sin vegetación aparente tienen mayores posibilidades de recuperar su estado natural

A partir de la Vulnerabilidad Socio-Ambiental estimada se proponen las características que el territorio debería mantener para contrarrestar al máximo los peligros y enfrentar la vulnerabilidad, para ello se determinaron las siguientes correspondencias entre factores del territorio (usos de suelo, peligros y variables socioeconómicas estimadas por los índices) y las políticas ambientales asignadas por el OET (tabla 1).

Resultados

Los resultados esperados sobre el aumento del riesgo antes y después de la construcción de una nueva ciudad portuaria resultan interesantes porque no aumenta en términos de superficie, más de lo que ya ocurre y más bien se relocaliza el riesgo potencial por los usos de suelo planeados. En la tabla 2 se presentan los porcentajes de variación de ambos escenarios analizados. La diferencia entre el escenario sin y con ciudad portuaria es de 12.2 % en las clases Muy Alta y Alta. Uno esperaría que la construcción de infraestructura portuaria y urbana en arroyos aumentara considerablemente la vulnerabilidad, sin embargo actualmente ya es suficientemente vulnerable porque en los arroyos se localizan campos de cultivo y asentamientos humanos. De hecho, en la temporada de lluvias de 2010, que fueron extraordinarias por ser año *Niño*, los arroyos San Telmo y San Rafael aumentaron su cauce de tal manera que ocasionaron desastres que provocaron la pérdida de vidas humanas, cultivos y bienes materiales.

En este ejercicio se puede resaltar la variación espacial pero no la intensidad o magnitud entre ambos escenarios (figura 4). Por ejemplo, en el escenario sin ciudad portuaria, puede observarse que en las unidades C.2, D.2 y B.21 (figuras 2 y 4) la vulnerabilidad socioambiental más alta se presenta en la zona de Mesa San Telmo, Punta San Telmo y Rubén Jaramillo (en negro en la figura 4a), actualmente en esta zona se encuentran los principales asentamientos humanos y que en realidad ahora tienen muy poca población, pero vulnerable a inundaciones, tanto que en el último evento de lluvias extremas en 2010, se perdieron cosechas y viviendas. Si estas unidades van a ser sustituidas por infraestructura portuaria, en el futuro el riesgo espacialmente no es mayor, pero será económicamente más grande el daño y si se plantean asentamientos humanos cerca de la infraestructura portuaria, aumentaría la riesgo de los pobladores.

Las unidades donde están las localidades de Punta Colonet y Mesa de San Antonio y unidades al norte de ellas tienen Alto IVS (figura 3a punteado oscuro y figura 4 unidades D.42, A.3, A.1, B.1, B.31, B.69, B.32, A.21, A.22 y B.22). Es importante mencionar que los elementos que hacen vulnerables a estas unidades es la presencia de características físicas como la pendiente, la tasa de cambio de uso de suelo alta, la existencia de sitios su propensión a ser terrenos inundables, el número de escorrentías, la presencia de fallas y la vegetación de matorral costero en muy buen estado de conservación y la presencia de ecosistemas únicos como las charcas temporales y otros ecosistemas considerados frágiles como las dunas costeras (Terra Peninsular, 2009). Por ejemplo la unidad B.21 (Muy Alto IVS) presenta un índice de población mayor al de la unidad B.22 (Alto IVS) que en cambio presenta valor alto por la presencia de sitios arqueológicos y por la tasa de cambio de uso de suelo (Muy alta y Alta respectivamente). Las

Tabla1. Vulnerabilidad Socio-Ambiental asociada a las políticas ambientales de uso en el OET.

Política Ambiental (OET)	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Muy Alta	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Alta	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Media	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Baja	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Muy Baja
Aprovechamiento con Impulso (se refiere a zonas en las que no existe desarrollo y se pretende transformar).	Negado. Se convierte en protección-conservación. Si hay zonas residenciales se propone reubicación y análisis fino mediante atlas de riesgos urbanos/ municipales.	Altamente Restringido. Condicionado a manejar y disminuir el riesgo en sus planes y proyectos. Generar medidas preventivas y de respuestas de manejo de riesgo (comunicación).	Restringido (permitido) sólo a las áreas menos susceptibles o con menos probabilidad de presentar peligros múltiples.	Condicionado a presentar esquemas de monitoreo constante de la evolución de vulnerabilidad.	Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.
Aprovechamiento con Control (Se refiere a zonas en las que ya existe desarrollo pero se requiere delimitarlo.	Negado para residencial-urbano. Condicionado a presentar medidas específicas para evitar, prevenir/ disminuir el riesgo en sus planes y proyectos (usos agrícola-ganadero y forestal). Condicionado a presentar esquemas de monitoreo constante de le evolución de vulnerabilidad. Requiere presentar propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.	Altamente Restringido. Condicionado a evitar el riesgo en sus planes y proyectos. Generar medidas preventivas y de respuestas de manejo de riesgo (comunicación). Recomendaciones de construcción y normas-ejemplos de actividades productivas e infraestructura. Requiere presentar propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.	Restringido según el tamaño de la unidad territorial. En grandes unidades territoriales con este nivel de peligro, mayores restricciones de uso.	Condicionado a presentar esquemas de monitoreo constante de la evolución de vulnerabilidad.	Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.

Tabla1 (continuación). Vulnerabilidad Socio-Ambiental asociada a las políticas ambientales de uso en el OET.

Política Ambiental (OET)	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Muy Alta	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Alta	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Media	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Baja	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Muy Baja
Conservación	Condicionado. Requiere incluir/ presentar medidas para evitar el riesgo en sus planes y proyectos particularmente si sus límites colindan o contienen algún tipo de asentamiento. Requiere tener lineamientos para el manejo de riesgos que permitan respuestas muy rápidas. Requiere presentar propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.			Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.	Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.
Protección	Requiere incluir/presentar medidas para evitar el riesgo en sus planes y proyectos particularmente si sus límites colindan o contienen algún tipo de asentamiento. Requiere presentar –incluir en los planes de manejo y operación (anual) propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.	Requiere presentar –incluir en los planes de manejo y operación (anual) propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.	Requiere presentar –incluir en los planes de manejo esquemas de monitoreo de la evolución de la vulnerabilidad.	Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.	Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.

Tabla 2. Porcentaje de cobertura de vulnerabilidad socio-ambiental en el área de estudio.

Vulnerabilidad Socio-Ambiental	Escenario a, sin ciudad portuaria (%)	Escenario b, con ciudad portuaria (%)
Muy Alta	16.7	18.3
Alta	44	54.6
Media	33	17
Baja	1.6	5
Muy Baja	3.9	4.3

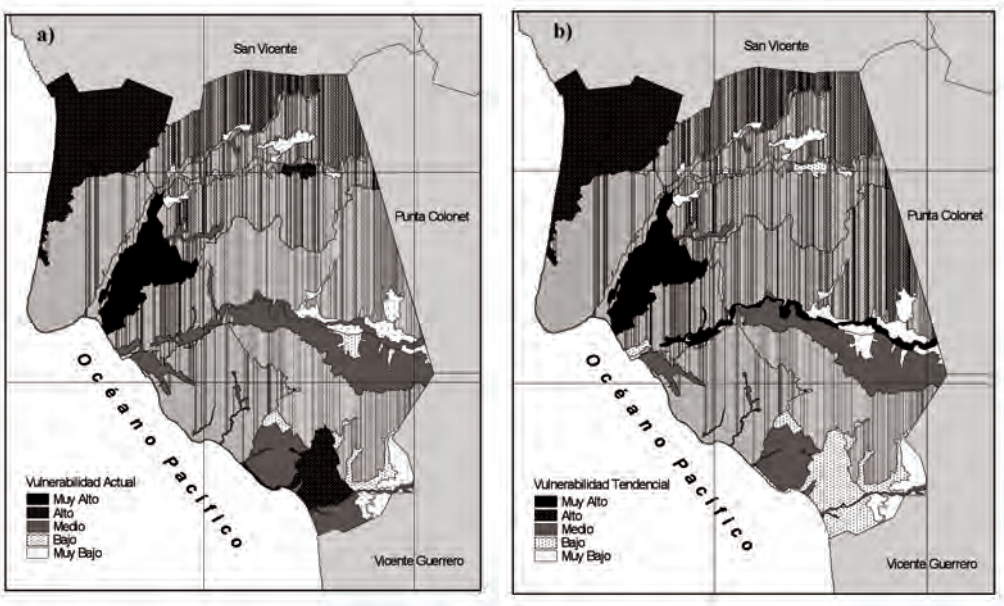


Figura 4. Mapa de Colonet con Índice de Vulnerabilidad Socioambiental a) izquierda, en el escenario sin ciudad portuaria b) derecha, con ciudad portuaria.

unidades calificadas con IVS Medio (figura 4. Unidades C.31, C.11, C.12, C.13, C.63, C.32, D.41, D.34, D.43, D.11, D.12, D.13, D.14, D.15, D.16, B.63, B.64 y B.67), Bajo (figura 4. C.51, C.54, D.51, D.53, D.54, D.62, B.65, B.66) y Muy baja (C.51, C.52, C.53, C.61, C.62, C.64, C.65, D.31, D.32, D.33, D.52, D.61, B.61, B.62, B.68, B.610) se muestran en puntos claros en la figura 3a. Estas unidades en su mayoría no presentan fallas geológicas, hay escasa vegetación nativa y no existen sitios arqueológicos.

Para el escenario tendencial con la implementación del proyecto de ciudad (figura 4b), la vulnerabilidad socioambiental más alta (en negro en la figura 4b y figura 5 unidades C.13, C.2, B.21, B.22) se presentó en Punta Colonet y Mesa San Telmo. A lo largo del arroyo San Telmo al

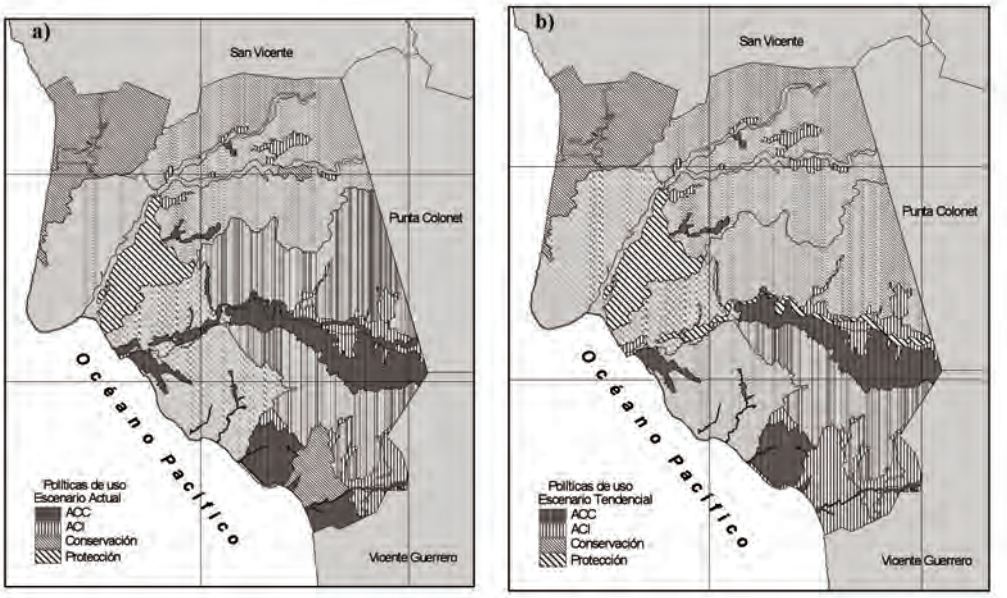


Figura 5. Mapa de Colonet a) con políticas de uso de los escenarios sin ciudad portuaria; b) Políticas de uso en escenarios con ciudad portuaria.

norte de estas zonas se ubicó una alto IVS (figura 4b punteado oscuro y figura 5 Unidades C32, D.2, A.3, A.1, B.1, B.31) además de punta San Telmo y Rubén Jaramillo. Este cambio obedece a que en esta zona se planea el desarrollo de la zona urbana, sorprendentemente la ciudad se proyecta a lo largo del arroyo principal lo cual incrementará el riesgo y por tanto la vulnerabilidad socio-ambiental. Al parecer las lecciones que dejaron los eventos de lluvias extremas de años Niño no han sido aprendidas.

Las unidades con muy alto y alto IVS en su mayoría presentan una alta tasa de cambio de uso de suelo y de población. Esto sucede por la transformación de la zona de Punta Colonet y Mesa San Telmo las cuales con la implementación del nuevo desarrollo cambiarán por completo. La presencia de zonas arqueológicas y la cercanía de poblaciones al arroyo es otro factor que aumenta la alta y muy alta vulnerabilidad socioambiental. Las unidades como B.22 (Muy Alto IVS) presentan un índice de densidad de población alto (relativo a la zona de estudio, ahí se localizan la mayoría de los habitantes) contrario a C.32 que es bajo. En ambas unidades se observó alta tasa de cambio de uso de suelo y es por esto que la unidad B.22 cambia de alto IVS en el escenario actual a Muy alto VS en el escenario tendencial.

La zona al Este y norte de Camalú presentó bajo IVS (figura 4b en puntos claros y figura 5 Unidades C.4, C.11, C.12, D41, D.42, D.16, D.51, D.53, D.54, D.62 y D.69) y muy baja (Figura 3b en puntos claros y figura 4 Unidades C.51, C.52, C.53, C.54, C.61, C.62, C.64, C.65, D.31, D.32, D.33, D.52, D.61, B.61, B.62, B.65, B.66, B.68 y B.610). Estas unidades ambientales, en su mayoría coinciden con las observadas en el escenario actual, los valores obtenidos en los índicadores que conforman el IVS son bajo o medio.

Los valores obtenidos para el IVS en los escenarios con puerto y sin puerto se observan en la tabla 3. En la mayoría de los casos la diferencia entre las clases entre un escenario y otro es de una clase, es decir de bajo paso a medio de alto a muy alto etc. lo anterior puede explicarse por la utilización de características físicas como las fallas o geoformas las cuales entre un escenario y otro no cambian. En cambio un indicador como la tasa de cambio de uso de suelo pueda dar como ya se observo variación entre los escenarios.

Tabla 3. Valor del Índice de Vulnerabilidad Socioambiental (IVS) en dos escenarios: sin ciudad portuaria (valor y clase 1) y escenario con ciudad portuaria (valor y clase 2). Claves de unidades asociadas a mapa de la figura 2, los valores en las figuras 3 y 4, a y b de ambas).

Clave	Valor 1	Clase 1	Valor 2	Clase 2
	Sin ciudad portuaria		Con ciudad portuaria	
C.31	0.257358	Medio	0.206883	Medio
C.4	0.162499	Bajo	0.117206	Bajo
C.11	0.290068	Medio	0.166050	Bajo
C.12	0.331997	Medio	0.184579	Bajo
C.13	0.320825	Medio	0.813940	Muy Alto
C.51	0.008644	Muy Bajo	0.010982	Muy Bajo
C.52	0.002495	Muy Bajo	0.005348	Muy Bajo
C.53	0.004203	Muy Bajo	0.004209	Muy Bajo
C.54	0.101303	Bajo	0.016589	Muy Bajo
C.61	0.002100	Muy Bajo	0.005268	Muy Bajo
C.62	0.003980	Muy Bajo	0.007116	Muy Bajo
C.63	0.244035	Medio	0.201030	Medio
C.64	0.000000	Muy Bajo	0.000686	Muy Bajo
C.65	0.014083	Muy Bajo	0.014641	Muy Bajo
C.2	1.000000	Muy Alto	0.949480	Muy Alto
C.32	0.243808	Medio	0.309231	Alto
D.41	0.229929	Medio	0.142010	Bajo
D.42	0.479367	Alto	0.137465	Bajo
D.31	0.086277	Muy Bajo	0.000000	Muy Bajo
D.32	0.078757	Muy Bajo	0.067841	Muy Bajo
D.33	0.076759	Muy Bajo	0.066144	Muy Bajo
D.34	0.254488	Medio	0.199936	Medio
D.43	0.336124	Medio	0.275237	Medio
D.11	0.306609	Medio	0.251776	Medio
D.12	0.317165	Medio	0.260337	Medio
D.13	0.317460	Medio	0.259637	Medio

Tabla 3 (continuación). Valor del Índice de Vulnerabilidad Socioambiental (IVS) en dos escenarios: sin ciudad portuaria (valor y clase 1) y escenario con ciudad portuaria (valor y clase 2). Claves de unidades asociadas a mapa de la figura 2, los valores en las figuras 3 y 4, a y b de ambas).

Clave	Valor 1	Clase 1	Valor 2	Clase 2
	Sin ciudad portuaria		Con ciudad portuaria	
D.14	0.330830	Medio	0.271415	Medio
D.15	0.274051	Medio	0.225412	Medio
D.16	0.204913	Medio	0.168867	Bajo
D.51	0.173686	Bajo	0.143933	Bajo
D.52	0.046827	Muy Bajo	0.041195	Muy Bajo
D.53	0.142971	Bajo	0.119532	Bajo
D.54	0.166354	Bajo	0.137030	Bajo
D.61	0.003001	Muy Bajo	0.006473	Muy Bajo
D.62	0.148334	Bajo	0.124356	Bajo
D.2	0.854967	Muy Alto	0.347797	Alto
D.44	0.289542	Medio	0.238418	Medio
A.3	0.599953	Alto	0.489660	Alto
A.1	0.572951	Alto	0.496468	Alto
B.1	0.715456	Alto	0.419658	Alto
B.31	0.700244	Alto	0.374736	Alto
B.61	0.078307	Muy Bajo	0.082259	Muy Bajo
B.62	0.030553	Muy Bajo	0.029331	Muy Bajo
B.63	0.254713	Medio	0.209125	Medio
B.64	0.248868	Medio	0.204409	Medio
B.65	0.151228	Bajo	0.079709	Muy Bajo
B.66	0.119112	Bajo	0.100180	Muy Bajo
B.67	0.253016	Medio	0.220113	Medio
B.68	0.084676	Muy Bajo	0.071345	Muy Bajo
B.69	0.758066	Alto	0.106055	Bajo
B.610	0.081455	Muy Bajo	0.069605	Muy Bajo
B.21	0.988083	Muy Alto	0.989675	Muy Alto
B.32	0.664361	Alto	0.387970	Alto
A.21	0.477380	Alto	0.387154	Alto
A.22	0.554762	Alto	0.559752	Alto
B.22	0.769058	Alto	1.000000	Muy Alto

Reflexiones

Los resultados esperados sobre el aumento del riesgo antes y después de la construcción de una nueva ciudad portuaria resultan interesantes porque el IVS no aumenta en términos de superficie, al menos no mucho más de lo que ya ocurre, más bien se relocaliza el riesgo potencial por los usos de suelo planeados.

Resalta en el escenario tendencial con ciudad portuaria, que se repiten los errores de una ciudad equivalente (Ensenada), de hecho se acentúan, donde por ejemplo se tuvo que construir una presa para detener los sedimentos que azolvaban el puerto. El proyecto no menciona presas, pero seguramente, después de que se vivan escenarios de lluvias como las de 2010, se planeara una presa emergente. La construcción de presas ha generado lo que Deryugin y Naumov (2006) llaman un peligro intuitivo y en fechas más recientes está siendo un tema cuestionando en los países desarrollados por lo que se están buscando maneras de derruir algunas (Nickles, 2000) porque se ha visto que, en escenarios de cambio climático, el riesgo de la población aumenta con la presencia estas enormes moles de infraestructura envejecida y sedimentos atrapados.

Con la propuesta que se hace, se perdió la oportunidad de diseñar una ciudad sin riesgos, ya que como se muestra en los resultados, se insiste en urbanizar las zonas que ya presentan vulnerabilidad socioambiental alta y muy alta. De realizarse el proyecto, pondrán en riesgo de inundación, deslave, incendio, a muchos más habitantes de los que ya habitan ahora la zona, aumentando el riesgo aun más con la inserción de infraestructura portuaria, carretera, ferroviaria. Habría que preguntar a los ciudadanos si estas dispuestos a pagar la atención a desastres de la futura ciudad, ya que el FONDEN es básicamente de fondos ciudadanos.

Si se aplicará la propuesta de la tabla 1, se observa que en el escenario tendencial se negaría el aprovechamiento o se condicionaría y las políticas resultantes serías equivalentes a protección o conservación justamente en las zonas donde se pretende ubicar el nuevo desarrollo (figura 5). Aunque parezca iluso, sería la decisión más acorde con las tendencias de crecimiento racional, con la prevención del riesgo, con el desarrollo sustentable, con el manejo integral de las costas y con el manejo adaptativo ante el cambio climático. ¿No podemos buscar nuevas forma de diseñar estas nuevas ciudades costeras? Hay mucho por hacer y el reto del cambio climático es una oportunidad para tomar como base las miles de lecciones aprendidas y hacer algo diferente, que no exponga a la población ni al capital.

La implementación del riesgo en los modelos de ordenamiento evitará principalmente el desarrollo de asentamientos humanos en zonas expuestas a sufrir daños por las características del terreno (pendiente, afluentes cercanos y fallas) de no aplicarse estas restricciones se estarían repitiendo los mismos errores que han hecho de México un país vulnerable a los efectos del cambio climático.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por el proyecto Vulnerabilidad socioambiental de ciudades costeras ,de los fondos sectoriales Conacyt-Semarnat C01-2006-23800.

Literatura citada

Azuela de la Cueva, A., M.A. Cancino-Aguilar, y C. Contreras-Morales, 2006. El Ordenamiento Ecológico del territorio en México: génesis y perspectivas. Semarnat. México D.F. 237 p.

Dallman, R.P., 1998. Plants life in the worlds Mediterranean climates. The Mediterranean basin, South Africa, Australia, Chile and California. Oxford University Press 257 p.

Deryugin G.K., y O. S. Naumov, 1995. Destruction of dams in connection with spillway discharges *Power Technology and Engineering (formerly Hydrotechnical Construction),* 29(7):403-407.

Diario Oficial de la Federación(dof), 2007. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. México D.F. 64 p.

Espejel, I., 2001. La Vegetación costera del noroeste de Baja California: Sus posibilidades de conservación (versión para internet). cd rom. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. México.

Fermán Almada, J. L, M. C. Arredondo Garcia, A. García Gastelum, y J. Seingier, 2006. La Regionalización Marino – Costera, base para el ordenamiento. En: Semarnat-ine. Ordenamiento ecológico marino, visión temática de la regionalización. isbn 968-817-807-1. http://www.foden.gob.mx

Leyva, C., I. Espejel, A. Escofet, y S.H. Bullock, 2006. Coastal landscape fragmentation by tourism development: impacts and conservation alternatives. *Natural Areas Journal,* 26:117-125.

Nickles, J., 2000. New effort launched to demolish dam and restore Hetch Hetchyhttp://www.hetchhetchy.org/new_effort_5_7_00_nickles.html

Nijkamp P., y P. Rietveld, 1990. Multicriteria evaluation in physical planning. Elsevier Science Publications. Amsterdam, The Netherlands. 219 p.

Cambio Climático en México
un Enfoque Costero y Marino

Habitantes
y patrimonio

Williams-Beck, L., A. Anaya Hernández, O. Pérez Romero y M. E. Arjona García, 2010. El patrimonio inmueble costero en Campeche ante el cambio climático, p. 561-590. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual, y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

El patrimonio inmueble costero en Campeche ante el cambio climático

Lorraine A. Williams-Beck, Armando Anaya Hernández, Orquídea Pérez Romero y Martha E. Arjona García

Resumen

Una revisión diacrónica de la ecología humana del área litoral de Campeche revela patrones de aprovechamiento y de asentamiento distintos en el tiempo y el espacio. A pesar de la abundancia de recursos naturales disponibles, el aprovechamiento de esta región en época prehispánica se limitaba casi exclusivamente a áreas de actividad por temporada en donde se recolectaban o procesaban especies faunísticas y florísticas, menos de tres casos específicos. Si bien hubo una norma social desde la época pre-Colombina que prohibía colocar centros urbanos en la costa debido a cuestiones ideológicas y prácticas, esta tradición se modificaría ligeramente con el arribo de la sociedad europea en el siglo xvi, pero a causa más bien de factores político y económicos. Con los cambios climáticos que se pronostican para el futuro próximo y el alza subsecuente de los niveles de mar, se pone en peligro gran parte del patrimonio inmueble prehispánico e histórico del área litoral, de acuerdo con los modelos propuestos en el presente. El único remedio factible es tomar medidas paliativas para demorar lo inevitable y rescatar cuando antes la memoria colectiva de esta región.

Introducción

La península de Yucatán es una gran plataforma calcárea surgida del mar, cuya geografía marina, que abraza los costados poniente, norte y oriente, se divide en tres zonas: litoral, meseta submarina de la Sonda de Campeche y área de aguas profundas en medio del Golfo de México al poniente y del Mar Caribe al oriente (Eaton, 1978). La franja marina más cercana de la vera, identificada como la Zona I, abarca el lado poniente de la península de Yucatán y coincide con el área litoral del estado de Campeche (figura 1). La Zona I se caracteriza también por la poca profundidad del mar y frente a la entidad se divide en dos comunidades ecológicas principales: la primera comprende el bosque de manglar en dos áreas concentradas, la que rodea la laguna de Términos y la península de Atasta al poniente y la otra es una franja angosta que va desde San Francisco de Campeche a Celestún; la segunda comunidad es una zona playera arenosa colocada entre las ciudades Seybaplaya y San Francisco de Campeche y limitando estos dos bosques manglares hay zonas costeras extensivas con áreas rocosas, colinas y barrancas de alturas menores a cincuenta metros (Eaton, 1978).

Los recursos naturales disponibles en el área litoral de la Zona I marítima, con aguas poco profundas, incluyen diversas especies de sargazos, esponjas y corales que abrigan la vera y proporcionan sustento para especies marinas variadas incluyendo peces, mariscos moluscos, por ejemplo: pulpo, cojinuda, charal, sierra, chacchi, caracol, bandera, robalo, balá, pargo, jurel, corvina, boquinete, tiburón, cazón, carito, raya y pámpano, entre otros (COESPO, 2009; Sagarpa, 2006). A pesar de contar con una tecnología moderna hoy día en cuanto a las artes de pesca, estas cifras representan cantidades que palidecen en comparación con aquéllas de hace medio siglo, cuyos montos reflejan seguramente una merma considerable también desde tiempos remotos. Por desgracia, lo anterior parece ser un retrato de las estrategias irracionales que caracterizan el aprovechamiento y desarrollo económico de la entidad basado en la explotación desmesurada de los recursos naturales en la ecología humana en esta región peninsular desde la llegada de los europeos en el siglo XVI (Wolf, 1987). Las mismas políticas de uso insensato continuarían en los siguientes dos siglos y medio y alimentarían los encuentros bélicos entre colonos españoles y piratas europeos debido, en parte, a la explotación del palo de tinte (*Haematoxylum campechianum*; figura 2). Desde ese entonces hasta la memoria histórica reciente del siglo XX, que incluye diezmar las reservas de los dos "oros" naturales de colores negro y rosado por el descubrimiento del petróleo en la Sonda de Campeche y la captura de camarón, no se ha cambiado sustancialmente este panorama de uso ilógico del medio natural para beneficio de unos cuantos.

La masa terrestre de la zona litoral que corresponde al estado de Campeche se caracteriza por la presencia de sustratos calcáreos cársticos clásticos, *sahcab* arenosa y gravas marinas de poca antigüedad en la zona centro norte y de aluvión fluvial en el sector sudoeste cercano de la laguna de Términos (Dunning ,1992; Eaton, 1978; Ruz Lhuillier, 1969; Wilson, 1980). En este segundo sector, como si fuese un mundo aparte del resto del litoral campechano, se desembocan los ríos Palizada, Chumpan, Candelaria y Mamantel que unen las regiones laguneras con el territorio al oriente y sur del estado de Campeche, la zona de la "tierra de agua" de Tabasco

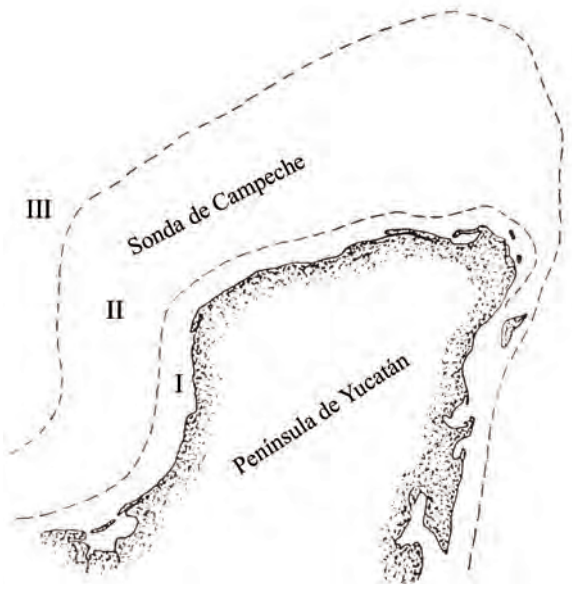


Figura 1. Zonas ecológicas.
Plano redibujado de Eaton (1978).

Figura 2. Bosque de palo de tinte o palo campechano (*Haematoxylum campechianum*), río Champotón.

al poniente y el distrito del Petén en Guatemala hacia el sur (Andrews, 1943). Se le caracteriza al área litoral de la planicie costera en esta región sur sudoeste como una "*...en constante y relativamente rápida transformación a causa de la débil resistencia que presenta a...las olas, de las corrientes marinas y de los vientos...*" (Ruz Lhuillier, 1969:15) (figura 3).

En cambio, por una falta de características ecológicas marinas y ribereñas relacionadas con este nicho del aluvión fluvial, la fisionomía de las áreas litorales centro y norte de Campeche se ha modificado poco en los últimos dos milenios, salvo por la acción constante de arrastre de la orilla en zonas playeras por un oleaje mínimo en la parte centro sur y por vientos huracanados eventuales y otras inclemencias meteorológicas durante las temporadas anuales (Eaton, 1978). A pesar de contar con varias investigaciones sobre comunidades naturales y la ecología marina en esta región (Bolongaro *et al*., 2010; *Botello et al.,* 2010; Mas y Correa Sandoval, 2000; Rodríguez Herrero y Bozada Robles, 2010; Semarnat, 2007 y 2008; Torres Rodríguez *et al.,* 2010; Villanueva *et al.*, 2010), no conocen estudios científicos a la fecha relacionados con el patrimonio cultural colocado en el área litoral y los cambios en los niveles del mar que pueden impactar en ellos en ambas zonas.

Las comunidades boscosas de manglar se distribuyen por el litoral en franjas de tamaños y espesores variables entre angostas y extensivas en el área inmediatas de laguna de Términos hasta Sabancuy, en la zona del estero y alrededores del río Champotón y desde la ciudad de San Francisco de Campeche hasta Celestún, ubicado en el límite norte del territorio campechano

con el estado de Yucatán. Los manglares se constituyen mayormente por árboles de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y de menor grado el mangle prieto o negro (*Laguncularia racemosa*). Si bien algunos miembros de ambas especies podrían llegar a una altura máxima de ocho metros, en la vera marítima ya no hay tantos árboles maduros en las comunidades costeras y más bien se encuentran desde pequeños arbustos hasta árboles de tamaño mediano (figura 4).

Las zonas arenosas playeras intercaladas entre aquellas manchas boscosas de manglar alrededor de la ría Celestún del extremo norte en el litoral campechano presentan secciones con charcas de evaporación (figura 5) de las que se aprovecha y cosecha sal de mar desde tiempos remotos hasta hoy en día (Andrews 1980a, 1980b). La superficie tierra adentro de la zona manglar en esta franja de la planicie costera se caracteriza por ser una llanura rocosa con zonas pantanosas y *petenes* (figura 6). El último es un término compuesto de la palabra maya *peten*[1] y la forma plural derivada del español que se refiere a las áreas en donde brotan ojos subterráneos de agua dulce y alrededor de los cuales se desarrollan comunidades selváticas, con un alzado de dos a tres metros de la planicie rocosa de la llanura (Duch Gary, 1991).

Figura 3. Pozo de 1709 de la ex-hacienda Xicalango. Hace cuatro lustros el brocal de mampostería se encontraba dentro del monte. Hoy día la marea alta lo acecha.

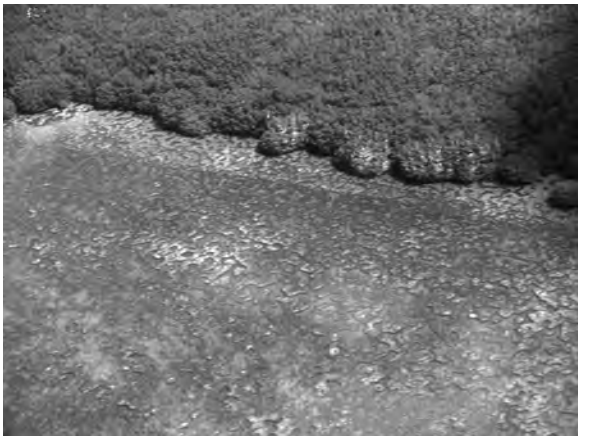


Figura 4. Bosque de manglar en la ensenada al norte de la Bahía de Campeche.

[1] De acuerdo con el diccionario maya *Cordemex*, *peten* quiere decir "*...campos llanos de esta tierra junto a la mar, a manera de isletas, donde hay lagartos y tortugas y algunos pedscadillos*...[o] *islote de ciénaga* (Barrera Vázquez *et al.,* 1980).

Figura 5. Cosechada de sal de las charcas de evaporación al sur de Celestún.

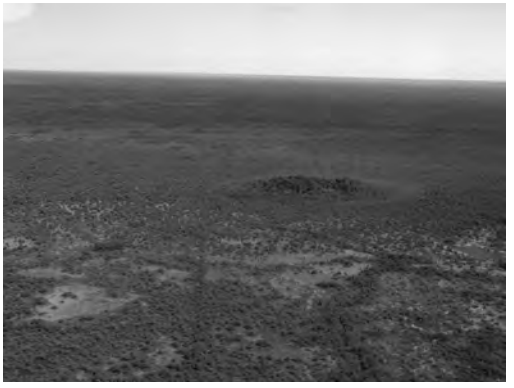


Figura 6. Un *peten* localizado en la zona de marisma cerca del estero del río Homtun.

El medio natural del bosque de mangle marino, de la planicie costera con sabanas, del bosque bajo inundable y del bosque bajo sub-perennifolia, así como de las zonas de lomeríos del bosque mediano sub-perennifolia del área litoral proporcionan hogar para parvadas de diversas aves, mamíferos como venado, mapaches, conejos, armadillos, tejones y reptiles como iguanas, tortugas y otras especies aprovechables por los grupos humanos quese han ido asentando tierra adentro a través del tiempo, los cuales aportaban carne y otros productos comestibles, abrigadores o de adorno. En las áreas elevadas de lomeríos con bosque bajo y mediano en las zonas playeras rocosas entre las ciudades cabeceras de Champotón y San Francisco de Campeche, no sólo se registran especies de mamíferos, aves y reptiles aprovechables, sino también comprenden las áreas en donde el suelo apto para la agricultura presenta mayores profundidades estratigráficas (Eaton, 1978). Sin embargo, la información aportada por Ruz Lhullier y Eaton es prácticamente la única disponible a la fecha sobre la ecología de subsistencia humana en el litoral campechano a través del tiempo.

A pesar de contar con una abundancia de recursos naturales disponibles del área litoral campechana, el aprovechamiento de esta región durante las épocas prehistórica y prehispánica se limitaba generalmente a áreas de actividad en donde se recolectaban o procesaban especias faunísticas y florísticas. Si bien el segundo ecotono playero es en donde se concentra la mayor cantidad de áreas de actividad y/o campamentos humanos por temporada desde el periodo Preclásico tardío (de aproximadamente 300 años antes de nuestra era) hasta la llegada de los españoles en el siglo XVI, entre los pueblos prehispánicos mayas registrados en la geografía política actual de Campeche se evitaba generalmente colocar los asentamientos permanentes con infraestructuras arquitectónicas de mampostería y dimensiones monumentales en la zona litoral. A lo largo de la costa se han registrado un total de cincuenta y seis sitios arqueológicos menores, compuestos por treinta y siete sitios con estructuras no monumentales, por ocho de concentración de materiales arqueológicos y once concheros (INAH s/f; figura 7)[2]. En cam-

[2] De los cincuenta y seis sitios registrados en la zona litoral, datos de sólo veinte ocho han sido publicados en la literatura especializada.

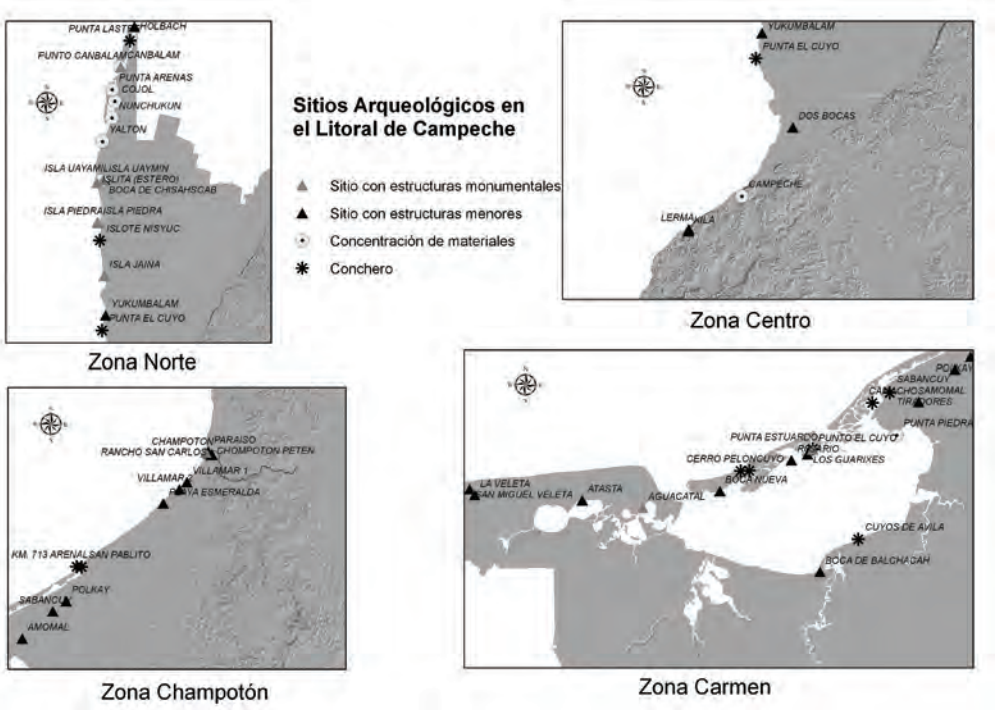


Figura 7. Sitios arqueológicos en el litoral (Plano: A. Anaya Hernández).

bio, los centros urbanos pre-Colombinos perennes con elementos arquitectónicos de mayor envergadura se localizaban a partir de tres a cinco leguas[3] de distancia tierra adentro. Las únicas excepciones a esta regla sobre la actividad humana y disposición de comunidades entre las comunidades manglares en el litoral sólo se manifiestan en seis lugares particulares a través del tiempo, localizados en Aguacatal en la laguna de Términos, en el estero del río Champotón y el desemboque del río Homtun en Punto El Cuyo a once kilómetros al este noreste de San Francisco de Campeche, así como en las islas artificiales construidas por el hombre en las zonas costeras centro y norte en Jaina, Isla Piedras y Uaymil. Estos últimos tres casos excepcionales, cumplían funciones más allá de lo cotidiano como se comenta a continuación.

Con la llegada de la cultura occidental europea que asentaría sus reales en Campeche a partir de finales de la tercera década del siglo XVI, aquellas tradiciones y costumbres pre-Colombinos de aprovechamiento se modificarían para siempre al colocar en la vera marina los principales centros urbanos de la época Colonial, que hoy en día comprenden las ciudades de San Francisco de Campeche, Ciudad del Carmen y Champotón. Si bien estas regiones siguen siendo las más pobladas de la entidad, incluyen las más vulnerables también por el impacto que sufrirán los bienes inmuebles históricos debido a los cambios climáticos provocados en gran parte por el calentamiento global.

[3] De tres a cinco leguas equivale a una distancia de doce a veinte kilómetros.

El presente capítulo comienza con una descripción breve del componente prehispánico de las áreas de actividad registradas por viajeros y científicos a partir del siglo XIX, más tarde contempladas por individuos académicos entre las décadas de 1940 a 1974 y revisadas recientemente por el grupo interdisciplinario autores del presente. De ahí se desglosan aspectos de la traza urbana europea occidental que cambiaría la fisionomía de la zona litoral campechana en las áreas arenales y/o rocosas de la laguna de Términos y Sabancuy, así como de las bahías de Champotón y Campeche. Además de los lugares de antaño para recolectar y procesar recursos naturales, al fincar los centros urbanos de corte occidental europeo feudal, las instalaciones de haciendas y estancias ganaderas y establecer pueblos de congregación de los naturales para fines de la conquista espiritual del sudeste de la Nueva España, se colocarían también señalamientos marítimos de mampostería como faros o boyas a partir de la épocas Colonial y Republicana en algunos puntos de la geografía litoral. De sus antecedentes pre-Colombinos de naturaleza parecida, sólo se han descrito en la literatura dos ejemplos arquitectónicos, con plantas y alzados no determinados completamente, que indican el acceso a igual número de cauces fluviales en la zona centro litoral, en donde desembocan los ríos Champotón y Homtún (Eaton, 1968; Ruz Lhullier, 1969; Williams-Beck, 2008 y 2009; Williams-Beck *et al.,* 2010; Williams-Beck y López, 1999; Williams-Beck *et al*., 2009a).

En seguida, a través de modelos generados desde los sistemas de información geográfica que estiman el alcance del agua salobre por alzas en incrementos de 0.5, 1.0 y 1.5m sobre el nivel del mar actual, presentamos una serie de observaciones acerca de los problemas que enfrentará el patrimonio inmueble prehispánico e histórico ubicado en la zona litoral campechana. Y, finalmente, derivado de este ensayo paradigmático, ofrecemos comentarios sobre las enseñanzas del pretérito en cuanto a las costumbres de asentamiento y aprovechamiento de los espacios litorales, con el fin de señalar propuestas para el devenir de actividades viables en el futuro inmediato y mediato del área costera. Lo anterior se dirige hacia proponer políticas de ordenamiento territorial más acordes con otra realidad que nos espera en tan solo cuatro lustros a partir del año 2010, provocado por los fenómenos meteorológicos e hidrológicos como secuelas del calentamiento global.

Hacia una ecología humana de asentamientos pre-Colombinos en el litoral campechano

La explotación de recursos marinos a lo largo de la costa de Campeche y los diferentes ecotonos desde el norte hacia el sur han proporcionado patrones de subsistencia distintos desde tiempos remotos hasta hoy en día. Si bien el carácter ecológico natural del área se conoce en la literatura especializada, lo mismo no se puede decir del carácter sociocultural referente a las áreas de actividad registradas en dos estudios principales de la zona litoral campechana. El primero de ellos, de Ruz Lhullier (1969) comprende el parteaguas del tema realizado a mediados de la década los 40. En ello, Ruz Lhullier concuerda con lo expresado por Andrews (1943), en referencia a la zona litoral como una

> *...impropia para la agricultura, pero potencialmente rica en peces y salinas... [y] no debió haber ser habitada en tiempos precortesianos sino por pequeños grupos humanos, ya que no contiene grandes ruinas, aunque sí numeroso montículos sencillos en la costa, en los estuarios de los ríos tributarios de la laguna y en pequeños islotes dispersos entre tierras inundadas casi todo el año* (Ruz Lhullier, 1969).

No obstante el perfil ambiental no apto para la agricultura, para proporcionar espacios que acogieran asentamientos permanentes de dimensiones monumentales o para "grandes conglomerados" urbanos en la vera costera, pero que ésta fuese idóneo para albergar campamentos de temporal extensos para explotar la gran biodiversidad, desde ese entonces a la fecha se ha manejado una hipótesis todavía por sustentarse científicamente que aquellos sitios registrados particularmente en la laguna de Términos habrían de haberse dedicado al comercio. De acuerdo con un argumento romántico a mediados del siglo pasado sobre la ecología humana, estos sitios

> *...ocupaba un verdadero mar mediterráneo que por numerosos conductos comunicaba con las lejanas regiones habitadas por pueblos muy variados y que ofrecía mayores garantías que el océano para el tráfico comercial.*
> *El río Candelaria, algunos de cuyos afluentes nacen en Guatemala, era la ruta fácil, a través de una selva hostil, para los productos de las industrias y las artes del [Distrito del] Petén. El río Palizada servía de camino a los artículos manufacturados en las grandes ciudades del [río] Usumacinta, de la región de Palenque y de la parte montañoso de Guatemala. La laguna (sic.) de Atasta y sus ramificaciones, conectaba, a través del río San Pedro y de sus tributarios, con Tabasco, donde llegaban los productos de Veracruz, de Oaxaca y de la altiplanicie mexicana. En fin, la península (sic.) de Yucatán, con su densa población y sus innumerables ciudades, tenía en la laguna (sic.) de Términos una puerta abierta sobre las naciones occidentales* (Ruz Lhullier, 1969).

Desde la óptica que proporcionan estos modelos económicos modernos, si bien se podría imaginar un sistema de comercio de bienes exóticos que pudiese haberse llevado a cabo en la región lagunera del área suroeste de la entidad, en la práctica esta actividad vigorosa dejaría evidencias arquitectónicas y arqueológicas en el registro histórico del territorio. Los únicos lugares que podrían corroborar la presencia de una imagen que este esquema general pinta sobre los "argonautas" campechanos del Golfo de México, que incluso muestran elementos arquitectónicos permanentes confeccionados de concha marina triturada y quemada, arcilla compactada, arena y de piedra labrada en menor cuantía, serían los sitios de Cerritos[4] y Aguacatal (figura 8). En segundo lugar se encuentra en una franja arenosa del lado sotavento en la vera del manglar de la península de Xicalango y frente a la laguna de Puerto Rico, como parte del ecosistema laguna de Términos. Sin embargo, ni el diseño de investigación de los trabajos de Ruz Lhullier

[4] El consenso académico general sugiere que el sitio de Cerritos podría ser el Xicalango de las fuentes etnohistóricas y de documentos españoles del siglo XVI. Si esto resultara cierto Aguacatal sería entonces otro lugar como centinela del desemboque de los sistemas hidrológicas de rías y lagunas menores del área inmediata sudoeste de la laguna de Términos.

en los años 1940 ni otros realizados por la Fundación Arqueológica del Nuevo Mundo (Matheny, 1970) parecieran sustentar la hipótesis de esta caracterización funcional del sitio. Este y otros lugares quedan en lista de espera para comprobar la presencia de lugares habitados permanentemente con elementos arquitectónicos de mampostería en esta región, cuyas funciones giraran en torno de nodos centrales de distribución e intercambio de bienes y servicios a larga distancia.

Figura 8. Sitio arqueológico de Aguacatal, Municipio del Carmen.

El primer estudio arqueológico en el litoral campechano logró identificar pocos lugares con escasos restos arquitectónicos en la costa (Ruz Lhullier, 1969), enfocándose más bien en los tiestos cerámicos recolectados en áreas de mayor concentración de ellos sin especificar los contextos del paisaje edificado con cimientos de estructuras mayores o de otros con tamaños y dimensiones menores asociados a estas agregaciones circunscritas de bienes portátiles. Otra investigación posterior llegó a conclusiones semejantes a las de Ruz Lhullier (Eaton, 1978). En su reconocimiento sistemático y excavaciones controladas en sitios de la región lagunera, así como en otros lugares de la zona playera rocosa entre Sabancuy y San Francisco de Campeche y de ahí hasta Celestún por la zona manglar norte, Eaton no encontraba grandes agrupaciones de arquitectura monumental construidas de mampostería en el litoral. Al muestrear restos de bienes muebles e inmuebles, sondear por medio de pozos estratigráficos y describir los elementos arquitectónicos registrados a la fecha tampoco se logra sustentar un cuadro económico complejo de nodos de distribución de bienes y servicios de esta naturaleza en la zona lagunera o a lo largo del área del litoral campechano.

Un resumen breve de las evidencias para los sitios registrados en la vera marina de Campeche arroja los siguientes datos. De los cincuenta y seis lugares documentados en esta zona ecológica, gran parte de los contextos en estos sitios representa montículos menores como plataformas de alzado mínimo sin restos de superestructuras de mampostería. Lo anterior sugiere que estos fueron aprovechados para captar, recolectar y procesar recursos pesqueros y moluscos marinos desde 300 años antes de nuestra era hasta la llegada de los españoles en el siglo XVI (Eaton, 1968).

Las excepciones de esta regla general se agrupan alrededor de una característica funcional específica relacionada con la cosmovisión y geografía sagrada pre-Colombina maya de tres islas artificiales construidas frente a la vera del bosque de mangle. Las islas de Jaina, Piedra (Inurreta Díaz, 2003) y Uaymil se localizan en la costa norte de Campeche, en un área de profusa vegetación de manglar. Fueron formadas artificialmente mediante rellenos de *sahcab* y piedras acarreados de la tierra firme con arena y conchas marinas locales para levantar encima de estos espacios edificados, cuyos perfiles arquitectónicos se constituyen por plataformas y nivelacio-

nes artificiales de tamaños distintos. Gran parte de estos rasgos con dimensiones monumentales y la suma total de aquellas plataformas con dimensiones menores no cuentan con restos de cimientos de superestructuras. Porque la mayoría de ellos carece de restos estructurales y otras evidencias del diseño arquitectónico y del trazo urbano, se rechaza la hipótesis de que aquellas plataformas acomodasen encima unidades habitacionales de vivienda para asentamientos humanos permanentes en estos espacios edificados en medio del mar.

En el caso de Uaymil, las investigaciones recientes plantean sin sustento contextual, arqueológico o arquitectónico convincentes que el lugar fungía como un sito de festejos de mercaderes a larga distancia o un punto de trasbordo en las redes de intercambio a larga distancia (Cobos *et al.*, 2005; Inurreta Díaz, 2004) entre la costa, el sitio y otros lugares sin especificarse ubicados en tierra adentro. El repertorio de materiales cerámicos y líticos recuperados en el sitio refleja porcentajes semejantes reportados para Jaina (Eaton, 1978; Piña Chan, 1968; Carvajal Correa *et al*., 2009), lo que sugiere un perfil funcional parecido entre estos tres lugares. Si bien en Isla Piedra sólo ha habido un proyecto de investigación científica a la fecha (Cobos *et al.*, 2005), por su método constructivo y material cultural observado en superficie en una visita reciente hecha por la primera autora, se estima que podría cumplir un cuadro funcional semejante al de Jaina y Uaymil. Se les clasificaba a estas tres islas como áreas de actividad relacionadas con la muerte y "de sepulturas" (Eaton, 1978; Piña Chan,1968).

El paisaje natural conformado por el bosque de mangle, que se extiende a partir de la bahía de Campeche y a lo largo de la costa poniente de la península de Yucatán hacia el sitio de Jaina, se caracteriza también por la frecuencia de manantiales de agua dulce que brotan como remolinos en el entorno marino (figura 9). Cualquier punto elegido al azar en el litoral campechano pudiera haber cubierto con las expectativas materiales, si lo que se buscara sería satisfacer las necesidades inmediatas de sobrevivencia de una aldea de pescadores. Sólo el área inmediata de Jaina ofrece nueve ojos de agua dulce en su alrededor, atributos naturales únicos a lo largo del litoral poniente de la Península (Carvajal Correa *et al.*, 2009).

Para los mayas del horizonte cultural Clásico (de 450 a 1000 años de nuestra era) un elemento del medio natural relevante son los ámbitos de paso o entradas al inframundo o *Xibalba* a partir de portales marcados por "características geográficas determinadas", en donde la muerte se describe como una relación entre la inmersión del individuo en el agua y su paso hacia el inframundo. Los conceptos de espacio geográfico para el área poniente de la península de Yucatán parecen haberla reservado como un intervalo para recibir la muerte cotidiana del sol en su paso diurno hacia el inframundo acuoso del Golfo de México. Sobre este portal de inmersión y paso hacia el *Xibalba* se sugiere otra interpretación para la isla de Jaina y las otras dos Piedra y Uaymil como obras arquitectónicas, cuyas concepciones fueron las de servir como una "entrada a la abertura" hacia el otro mundo en donde residen los ancestros y se regenera la vida. En el caso de Jaina y por la frecuencia desmesurada de entierros de individuos menores de edad, esta isla artificial colocada en la vera del bosque manglar del área litoral centro norte pareciera haber sido el receptáculo mortuorio de infantes "ofrendados" a los dioses *Cha'ac*, *k'awil* y A (de la muerte) (Carvajal Correa *et al.*, 2009). Estas tres islas con carácter de *bolon-ti'-*

k'u[5] no sólo se relacionan con los nueve niveles del inframundo y sus respectivos señores, sino también sugieren en un lenguaje simbólico el vínculo entre los nueve nudos y aquéllos que sujetan envoltorios funerarios que, en este caso, se guardarían metafóricamente en el gran atado representado por el relleno de que se compone las islas, un contorno aglutinando de conchas marinas, *sahcab*, arena, arcilla y piedra (Carvajal Correa *et al.*, 2009).

Las estructuras prehispánicas de mampostería que se encuentran en medio del mar (Díaz del Castillo, 1982; Ruz Lhullier, 1969) justo en la desembocadura de los ríos Champotón (Eaton, 1968) y Homtún (Williams-Beck, 2008 y 2010; Williams-Beck y López, 1999) parecen señalar las áreas de acceso a una ruta acuática de peregrinación ritual religiosa en medio de las provincias Ca'anpech y Chakanputun, cuyas ciudades capitales Acanmul y Pa'ilbox se ubican en puntos estratégicos a lo largo de los ríos y el sistema hidráulico como acueducto que los unía en el sitio Edzná, colocado al oriente de la ruta como el punto en donde nace el entorno (Williams-Beck 2008, 2010). En el caso de los restos de mampostería en el estero del río Champotón (Williams-Beck *et al.,* 2010), su ubicación ahí coincide también con un fenómeno señalando el rumbo poniente franco en la puesta del sol durante el solsticio de primavera (figura 10).

Figura 9. Uno de los nueve ojos de agua en medio del mar alrededor de la Isla de Jaina.

Figura 10. Restos arquitectónicos de la estructura en el estero del río Champotón (Foto cortesía de M. A. Carvajal Correa 2009).

[5]Este término del idioma maya yucateco significa literalmente "*en el lugar de nueve casas, templos o elevaciones artificiales de tierra sagrados*" (Barrera Vázquez *et al.*, 1980)

El ámbito del patrimonio inmueble histórico

La llegada a estas tierras peninsulares de gente de la sociedad occidental europea a partir del siglo XVI marca un cambio en los patrones de conducta previos entre el ser humano y el medio natural del área litoral campechana. El hecho de que fuese España la primera potencia política a nivel mundial en cuanto a asuntos marítimos militares de ultramar (Wolf, 1987; Kennedy 1994) moldearía su manera de ubicar a los principales asentamientos coloniales y plasmar la traza urbana de ellos a través de esta cosmovisión distinta juega un papel importante en la modificación de la ecología humana del área litoral del golfo. Esta tendencia se robustecería por tres proyectos distintos relacionados con el modelo urbano en América: el colombino, el ovandino y el filipino (Salcedo Salcedo, 1996). El segundo de ellos, instaurado por Nicolás de Ovando a principios del siglo XVI en las nuevas colonias españolas asentadas en las islas del Caribe, retomó el plano de diseño del municipio castellano, gobernados por cabildos, en donde se impondría una planificación reticulada con manzanas cuadradas o rectangulares y plaza mayor cercano al puerto coronado por las edificaciones de la iglesia mayor y el ayuntamiento (*Ibid*). A partir de la promulgación del primer código de urbanismo en 1573, conocido bajo el título de *El Orden que ha de tener en Descubrir y Poblar* o las *Ordenanzas* durante el reinado de Felipe II de España, se regularía jurídicamente el diseño urbano de las nuevas ciudades y villas en las colonias y al mismo tiempo que se ratificaban los trazos del espacio en los lugares ya establecidos. En este nueva disposición legal quedó ordenado que "*...la plaza mayor de donde se ha de comenzar la población, siendo en costa de mar, se debe hacer al desembarcadero del puerto...*", revalidando la traza que se había logrado en el diseño urbano de algunas ciudades costeras del Caribe y de la Nueva España (Salcedo Salcedo, 1996). El rasgo común compartido entre varias ciudades y villas hispano-americanas en este proceso urbanizador destacaba el sistema reticulado de diseño (figura 11) que permitía controlar mejor la población concentrada en núcleos estables por estratos sociales bien marcados: los pudientes hispanos y sus descendientes directos residían en el centro y los naturales se asentaban en las zonas más alejadas del recinto urbanizado (García Targa, 1996).

Si bien con la llegada de los europeos en el siglo XVI se encontraban a los naturales asentados en aldeas dispersas en las áreas rurales apartadas después de la caída de las grandes ciudades como Mayapán y sus socios cercanos a mediados del siglo XV, la nueva imagen del centro urbano exigía realizar una tarea precisa para lograr el control territorial y de la población residente en ello. Por un lado se enfatiza la política eclesiástica de la Corona de congregar a partir de la década 1540 a los naturales en el litoral (Scholes y Roys, 1968), en sitios como Xicalango, Tixchel, Champotón, Haltunchén y San Francisco de Campeche, con el propósito de evangelizar a la población indígena y prohibir, a su vez, a las prácticas ritual religiosas "idólatras" de antaño en esta región inmediata de las provincias Chakanputun y Ca'anpech (Williams-Beck 2006; Williams-Beck *et al.,* 2009a). Por otro lado, a partir de ese momento la política gubernamental virreinal comienza a concentrar la vida humana en la costa, a semejanza de aquéllas grandes centros marítimos en la madre patria y sus posesiones territoriales en ultramar, tal y como se estipularía en las *Ordenanzas* en cuestión de unos siete lustros más tarde.

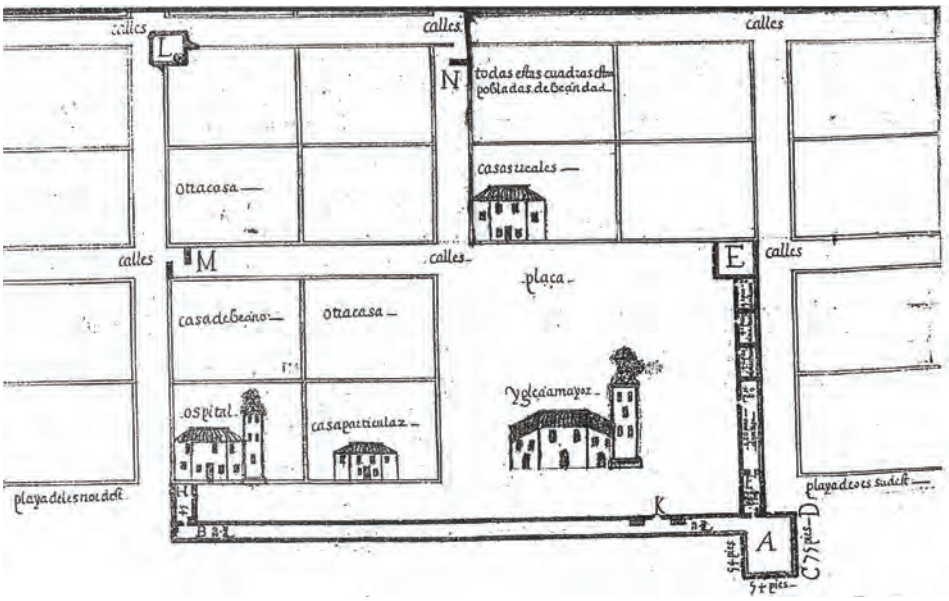


Figura 11. Plano del trazo urbano de San Francisco de Campeche, 1604 (Antochiw, 2007).

Sin embargo, al revisar las primeras interpretaciones de las fuentes primarias y secundarias de la época del descubrimiento del área poniente peninsular en el siglo XVI para redactar los primeros compendios históricos de la entidad, se alegaba que las grandes ciudades de la época Colonial temprana en Champotón y San Francisco de Campeche, por ejemplo, estaban colocadas sobre los cimientos de capitales prehispánicas mayas (Chamberlain, 1982:15, García Bernal, 1977; Lanz, 1904; Piña Chan, 1970 y 1987; Suárez Aguilar y Ojeda Mas, 1996). De los primeros estudios a principios del siglo XX y hasta hace poco, de ahí surgía el consenso general hecho leyenda de este periodo del encuentro de dos culturas, en la que las grandes ciudades de los naturales fuesen desmanteladas totalmente y de cuyos sillares y crujías de mampostería se aprovecharían como material de construcción para los nuevos centros urbanos; sobre el relleno y los escombros de muros se levantarían los inmuebles españoles de la época Colonial temprano. Los recorridos sistemáticos de cientos de metros de zanjas que surcaban el recinto amurallado de San Francisco de Campeche y barrios aledaños de Guadalupe y San Francisco en la década de 1990 no sustentan esta hipótesis sobre la de colocar las ciudades coloniales sobre los asentamientos prehispánicos mayas de mayores dimensiones en la franja litoral de esta región playera (Williams-Beck y López, 1999). Así que por la falta de evidencias tampoco se puede argumentar que los elementos arquitectónicos prehispánicos de dimensiones monumentales fuesen desmantelados completamente para aplicarlos en levantar la traza urbana del periodo Colonial temprano en Champotón y San Francisco de Campeche. Simplemente no hubo grandes sitios prehispánicos con barrios residenciales ni centros urbanos de mayor envergadura confeccionados de cal y canto en la costa, reflejando otra realidad funcional relacionada probablemente con la cosmovisión maya.

En una historia sobre la tenencia de la tierra habría que remontarse también a las políticas coloniales centradas en la dotación de tierras por parte de la Corona a particulares en "encomienda". Por este concepto de uso geográfico autorizado por decreto se entiende una institución socio-económica mediante la cual un individuo recibía de la Corona tierras que debía retribuir parte a ella y a terceros en trabajo, especie o por otro medio, por el disfrute de un bien o por una prestación que hubiese recibido (García Bernal, 1978; Florescano, 1975). En el caso de la zona sudoeste y hasta el área central del estado de Campeche, el primer pueblo fundado es San Pedro de Champotón en 1537, por parte de don Francisco de Montejo y la Orden Franciscana y de ahí el individuo de mayor dotación de tierras por la Corona entre 1539 a 1548 fue don Francisco de Montejo, el Adelantado, cuyas tierras dotadas por la Corona en encomienda abarcaban desde Santa María la Victoria–Potonchan del río Grijalva en Tabasco[6], Xicalango[7], Champotón–Ulumal–La Joya[8], San Francisco de Campeche (Izquierdo, 1995 y 1997; Ruiz Abreu, 1994; *Relaciones histórico-geográficas* II 1983) y, quizá, hasta Real de Salinas (figura 12) por la costa extrema noroeste de la entidad.[9] Es difícil saber el tamaño real del territorial bajo su mando, porque entre los mismos conquistadores españoles de la época hubo forcejeos jurídicos en cuanto a las dotaciones conseguidas de la Corona y los límites de sus tierras en encomienda. Sin embargo, en 1548 por un juicio fiscal ante la Real Audiencia y por medio de la Audiencia de Confines todo ese territorio inmenso entre Potonchán, Tabasco y Mérida, Yucatán, se le fue confiscado y remetido a la Corona, para su administración (Izquierdo, 1995). De ahí se pierde el hilo conductor que nos permite identificar cuáles individuos se encargarían después de las diversas encomiendas y estancias para la explotación de recursos naturales en esta zona. Con el censo de las tierras de la Nueva España durante el periodo del Rey Felipe

[6] Para mediados de la década de 1520, Francisco de Montejo, el Adelantado, ya había logrado el nombramiento de Alcalde Mayor y por sus esfuerzos en la conquista del sudeste de la Nueva España la Corona le concedió terrenos en encomienda en Santa María la Victoria – Potonchán – Río Grijalva (Scholes y Roys, 1968; Ruiz Abreu, 1994; Izquierdo, 1995 y 1997). Este puesto lo pierde en 1530 por un juicio promovido por Baltasar de Osorio (Scholes y Roys, 1968).

[7] Izquierdo (1997) menciona que la región alrededor del sitio Xicalango ya era sometido por El Adelantado para 1525 y 1529, de acuerdo con lo que interpretó de la "Probanza de don Francisco, cacique de Xicalango" de 1552. Todavía se desconoce el lugar específico tanto del asentamiento prehispánico de naturales como en donde asentaría el pueblo colonial, que rendía tributo a la Corona a mediados del siglo XVI.

[8] El Adelantado se traslada al área de Champotón – Campeche a principios de la década 1530, en donde ya para 1531 y después de la batalla del día San Bernabé, ubicado en las afueras del segundo lugar, para mediados de la década al retirarse Montejo desde la provincia de Tabasco hacia Yucatán esta región se convierte en la punto de lanza de la ultima conquista de la península de Yucatán (Scholes y Roys, 1968; Chamberlain, 1982).

[9] Sin embargo, un estudio arqueológico e histórico reciente de Real de Salinas (Burgos Villanueva y Andrews, 2001) reporta que las únicas fuentes históricas encontradas en los archivos de Mérida, Yucatán, datan al siglo XIX. No obstante, los métodos constructivos en las estructuras arquitectónicas de las instalaciones de la exhacienda salinera y de extracción de palo de tinte sugieren un marco cronológico más antiguo para este lugar en la península campechana del área inmediata de Celestún, Yucatán.

II entre 1577 y 1579, brilla por su ausencia información sobre las tierras en Campeche administradas ya por la Corona que fueron parte de la zona que le fue encomendada a don Francisco de Montejo el Adelantado por sus servicios rendidos a Carlos V (*Relaciones histórico-geográficas* I:XX-XXIII).

Figura 12. Capilla de la ex-hacienda Real de Salinas, Celestún, Campeche. Los métodos constructivos sugieren una temporalidad más antigua que lo narrado en los documentos históricos hallados en los archivos peninsulares.

Desde la década de 1540 comienza esta historia sobre la tenencia de tierra en la región sudeste de la Nueva España (García Bernal, 1978). En ese entonces estuvo bajo el mando de Francisco de Montejo el Adelantado, hasta que fue removido por la Corona de la península de Yucatán al asumir el cargo de Alcalde Mayor de Tabasco a finales de 1548 (Izquierdo, 1995). Justo una década antes del retiro de las fuerzas políticas y socios del Adelantado, se inicia otro capítulo en la crónica sobre la región mayor, en donde se enfatizan vaivenes en una lucha de intereses entre varios actores civiles, eclesiásticos y militares por tratar de arraigar su poder, ser productivos y volverse colonos (Izquierdo, 1995). Durante los siguientes sesenta años, esta pugna por imponer sus voluntades entre autoridades del Gobierno Virreinal, los consejeros del Cabildo Municipal, los eclesiásticos franciscanos y los vecinos mestizos e indígenas no sólo cobraría más que víctimas a los particulares, sino también resaltaría la falta de consenso en establecer acciones encaminadas hacia el bienestar común de la región y del pueblo residente en ella (González Cicero, 1978). Sin embargo, lo narrado en los documentos y los estudios académicos de ellos sobre esta incertidumbre de pertinencia terrenal tiende a inclinar la balanza a favor de la parte eclesiástica. De esta información se puede inferir también que hubo una población indígena algo nutrida, por la presencia de numerosos inmuebles religiosos como capillas abiertas de visita y por lo que acontecería enseguida del siglo XVII (Williams-Beck, 2008 y 2010; Williams-Beck *et al.*, 2009a , 2009b y 2010).

De acuerdo con las fuentes, ya para mediados del siglo XVI se establece en esta región litoral central el primer pueblo de reducción – congregación forzada de los naturales de la provincia de Acalan en Tixchel en 1557. El sitio de Tixchel (figura 13), colocado en la vera oriental de la ría de Sabancuy que desemboca en la laguna de Términos hacia el sur, fue el elegido porque con un asentamiento prehispánico colocado unos doce kilómetros tierra adentro sería más fácil convencer a los naturales volver a habitar a éste y otro en la vera de la ría por ser una escala estratégica en la ruta de comercio y de los viajeros del periodo Colonial entre Tabasco y Yucatán (Scholes y Roys 1968:170). Previo a esto había estado bajo la encomienda de Antón García, vecino de San Francisco de Campeche que continuó como el principal hasta que se levantara la *Matrícula de Tixchel* en 1569 (Scholes y Roys, 1968).

Figura 13. Capilla de la ex-hacienda Tixchel, Municipio del Carmen.

En el caso de asentar sus reales los españoles en la ciudad colonial de San Francisco de Campeche, hay una gran planicie rodeado por colinas en sus costados sur, oriente y poniente con el lado norte delimitado por el mar. Desde el punto de vista militar español del siglo XVI (*cf.* Jones, 1989), no cabe duda alguna de que este último lugar, ganado a capa y espada, llenaría los cuadros de seguridad requeridos para un asentamiento colonial, por ser más protegido y asimismo defendible ante cualquier ataque que se les emprendieran. El diseño urbano de la antigua villa de San Francisco de Campeche, declarada Patrimonio Cultural de la Humanidad en 1999, aprovecha esta planicie limitada al norte con una bahía frente al Golfo de México, es un ejemplo de trazo regular circunscrito a un hexágono irregular (García Ramos, 1983) e incluye la plaza principal con calles paralelas al mar orientadas oriente – poniente y perpendiculares a éstas orientadas norte - sur que la dividen en cuarteles, con manzanas cuadradas o rectangulares (véase figura 11). Por el asedio de los filibusteros desde el siglo XVI y porque la *Ordenanza* 41 de 1573 estipulaba "*No se elijan sitios para pueblos en lugares marítimos por el peligro que en ellos hay de corsarios y por no ser tan sanos...*" (Salcedo Salcedo, 1996), no se levantarían otras ciudades, pueblos o villas en el litoral hasta el siglo XVIII.

Suple esa etapa de evitar fundar ciudades o villas en el litoral otra iniciativa de políticas públicas para reforzar la defensa de los lugares coloniales ya establecidos en la zona poniente de la Gobernación de Yucatán. Para principios del siglo XVII los documentos narran sobre el inicio del sistema fortificado alrededor de la Villa de San Francisco de Campeche (figura 14), levantando el Fuerte del Bonete cerca de la plaza principal en 1610 y otra instalación militar llamada San Benito colocada al poniente de la villa (Antochiw, 1994, 2006 y 2007; Piña Chan, 1987; Sierra, 1998). Tardaría más de un siglo concluir el sistema fortificado alrededor del recinto urbano con seis fuertes, dos puertas de acceso en los costados norte y sur y dos accesos peatonales menores laterales frente a los Barrios de Guadalupe y San Román. Se culmina esto con la construcción y puesto en servicio de la Puerta de Tierra entre 1725 y 1732 (Piña Chan, 1987). El recinto amurallado se remataría después por dos reductos en las elevaciones topográficas hacia el oriente (San José) y el poniente (San Miguel) acompañados por dos baterías al pie de cada uno (San Matías y San Luis, respectivamente), hasta finales del siglo XVIII (Antochiw, 1994 y 2006; Piña Chan, 1987; Sierra, 1998). Otro reducto de la misma época histórica, llamado San Antonio, se edificaría frente al estero del río Champotón.

La punta de lanza de la inseguridad que propició erigir el sistema defensivo se debió a los filibusteros holandeses, ingleses y franceses "*...que llegaron en 1558 a refugiarse, primero, para*

después aprovecharse de los recursos naturales [el palo de tinte] de la Isla de Términos[,]...como refugio seguro y convertida en base para diferentes ataques por mar y tierra...[; era el] puerto de avituallamiento de las naves corsarias" (Sierra, 1998). No sería hasta 1717 que el gobierno Colonial español pudiera reconquistar la isla y se fundaría la Villa del Carmen en la Isla del Tris con El Presidio (figura 15), una estacada para la defensa (Antochiw, 1994; Piña Chan, 1987; Sierra, 1998). Este reducto no estaría tan retirado de la otrora base de operaciones del Adelantado Francisco de Montejo en la exHacienda Xicalango en la península del mismo nombre.

Figura 14. Primeros inmuebles defensivos en San Francisco de Campeche, 1610 (Antochiw, 1994).

Figura 15. El Presidio y Villa del Carmen, siglo XVIII (Antochiw, 1994).

Figura 16. Faro Xicalango, edificado a mediados del siglo XIX y ubicado en los terrenos de la ex-hacienda Xicalango cerca del lugar donde atracaba la panga de Zacatal, Municipio del Carmen, reemplazado después por el Puente de Zacatal en 1994.

Tanto la Villa del Carmen, levantada mayormente con edificaciones de madera con techos de material perecedero al igual que sus muros y ubicada junto al mar (Sierra, 1998), como el pueblo de San Pedro de Champotón (González Cicero, 1978) conservan poco sus trazos urbanos originales de la época Colonial temprana.

Casi los últimos inmuebles históricos agregados a la línea costera de Campeche, para agilizar el transporte marítimo del comercio a ultramar y evitar mayores índices de naufragas, fueron a partir de mediados y hasta finales del siglo XIX. En el transcurso de diez lustros se levantarían por lo menos cinco faros en Xicalango (figura 16), Isla Aguada, Champotón, El Morro – Seybaplaya y el exTemplo de San José – San Francisco de Campeche. Otras atalayas marítimas se colocan después en el siglo XX como puntos de referencia para los pescadores radicados en la parte norte del área litoral en Isla Arena y Celestún, Yucatán, estado vecino al norte de Campeche.

Cambios en el nivel del mar y su afectación al patrimonio inmueble

Para identificar cuáles inmuebles del patrimonio cultural serían impactados por el aumento en el nivel del mar, a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE), con una resolución de pixeles de 20 x 20m, se generaron tres cotas de nivel, con intervalos de 0.5m a 1.5m, que delimitan las áreas de inundación de la zona costera con cambios de menor a mayor cuantía. Se estima que en el transcurso de los próximos veinte años y sin cambios en las tendencias de condiciones climatológicas actuales referente al incremento de temperatura, a la pérdida de ozono y a la disminución de glaciales y capas de hielo en ambos polos norte y sur, alcanzaremos el primer intervalo de aumento del mar en un 0.5m

Acompañado por el aumento en el nivel del mar se registran también cambios en la dinámica y magnitud del oleaje. Por esta combinación de agua, altura y fuerza de pegue, se diseñó otro modelo que incluye las áreas de erosión extrema (figuras 17, 18 y 19). Si bien en el territorio estatal el noventa y cinco por ciento de ello presenta erosión ligera y menos del uno por ciento padece de erosión extrema (calculada en aproximadamente 23 043 hectáreas), un treinta y dos por ciento de las tierras con tendencias hacia las mayores cifras de erosión extrema (calculada en unas 7.363 hectáreas) comprende la zona de litoral (Gobierno del estado de Campeche, 2007). Por ello, el riesgo principal al que se enfrenta el patrimonio cultural inmueble no yace

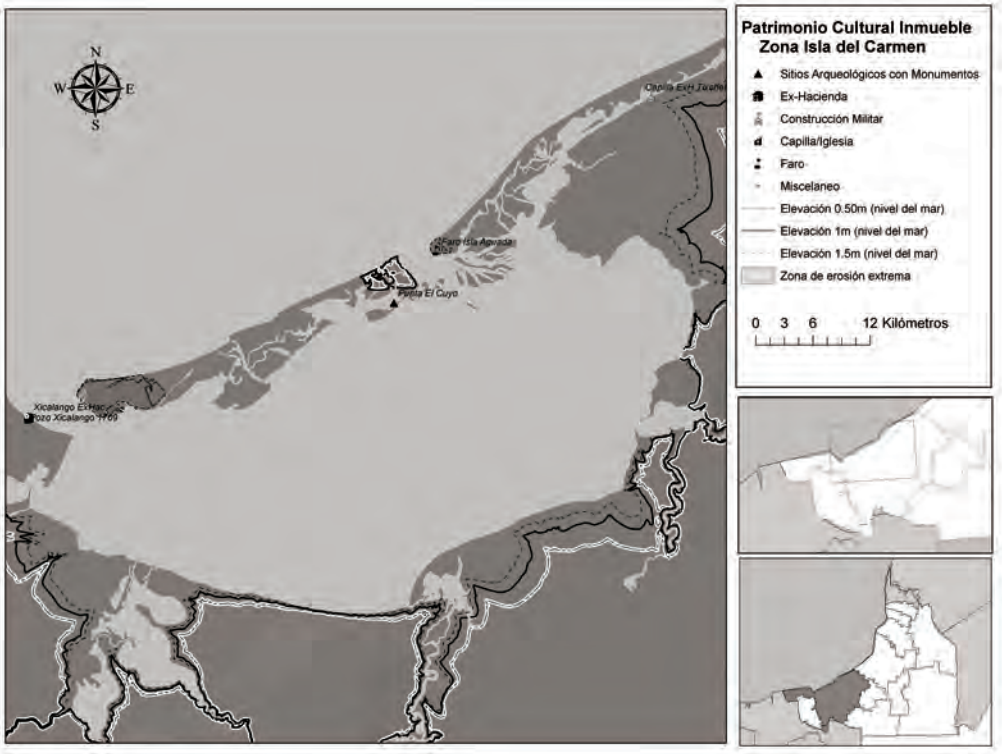


Figura 17. Alzas en el nivel del mar y el impacto sobre el patrimonio inmueble costero de la zona sur (Plano: A. Anaya Hernández).

simplemente en el aumento del nivel del agua, ya que ninguna de las cotas de elevación son suficientemente altas para sumergir totalmente al mismo, sino es por la conjunción de ambos factores. Lo anterior implica que las áreas costeras se caracterizan por ser zonas de alta energía, en donde el agua, su altura y el golpeteo incansable del oleaje actúan como catalizadores en el estado de deterioro del patrimonio cultural inmueble. Esto se nota sobremanera en la cota de nivel menor, de 0.5m, en las zonas de San Francisco de Campeche, Champotón e Isla del Carmen.

En la mayoría de casos de sitios prehispánicos caracterizados por restos arqueológicos de menor envergadura, cuyos perfiles funcionales incluyen campamentos o estaciones para captar y/o procesar elementos comestibles del medio marino localizados en la zona litoral, esta combinación de agua, golpeteo y arrastre acabaría con todos ellos. Si bien se presentan en algunos casos elementos arquitectónicos de dimensiones menores, su contenido cultural abre ventanas todavía hacia el vislumbrar los hábitos de procesar y consumir productos alimenticios y de fabricar otros bienes de usos no cotidianos, por lo que su pérdida representa una privación de información científica valiosa para comprender, explicar y reconstruir los procesos de desarrollo cultural del pueblo campechano (figura 20).

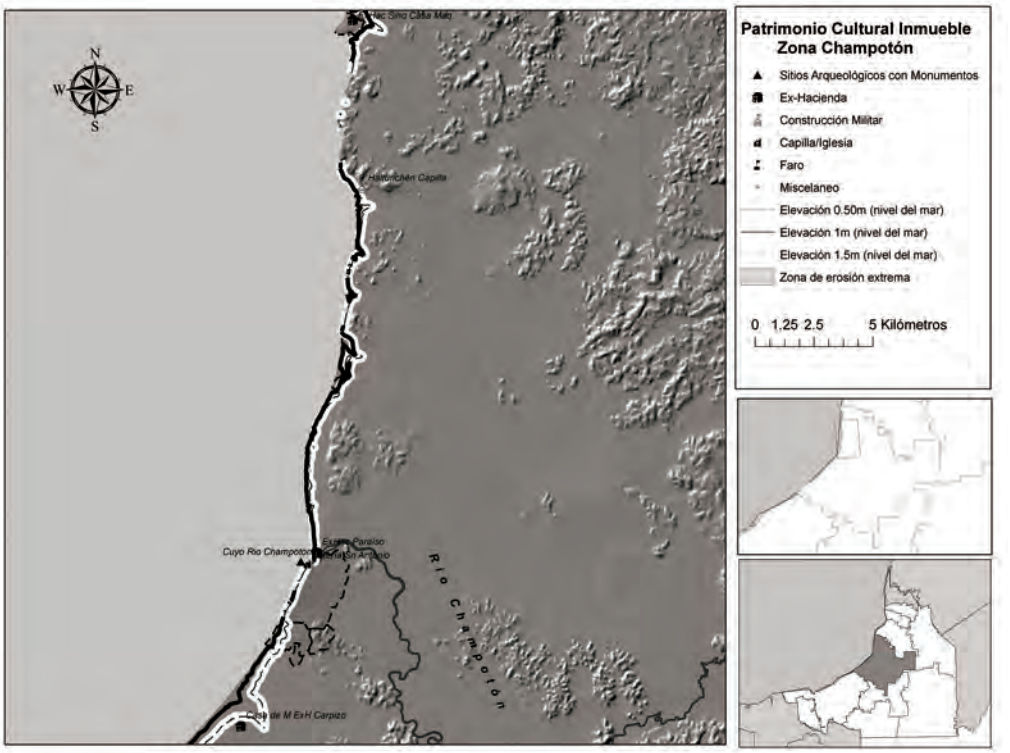


Figura 18. Alzas en el nivel del mar y el impacto sobre el patrimonio inmueble costero de la zona centro (Plano: A. Anaya Hernández).

Reflexiones finales: enseñanzas del pasado, propuestas para el futuro

Una revisión diacrónica de los patrones de asentamiento, subsistencia y ecología humana en la zona litoral de Campeche revela un aspecto dimorfo en cuanto al marco temporal más que en el carácter ecológico de ecotono cuando se compara la primera con otras áreas litorales de la península de Yucatán. Si bien los pueblos prehispánicos tanto tierra adentro como en la vera marina buscaban generalmente lugares fijos en terrenos ligeramente alzados para evitar problemas de inundación por precipitaciones pluviales o de embravecerse las olas y la marea durante tormentas tropicales, el caso de sitios de mayor envergadura arquitectónica y urbanística que se ausenta en el litoral campechano nos intriga, particularmente por la poca cuantía de lugares documentados a la fecha en la literatura especializada. El argumento sobre un medio natural de bosque manglar inhóspito por la presencia de insectos y otras alimañas desagradables para la convivencia cotidiana tampoco resuelve la incógnita por encontrar en las zonas centro y norte de la costa áreas vastas de ciénagas, pantanos y humedales con agua de superficie a través del año a partir de dos a dieciséis kilómetros y en otras zonas hasta sesenta kilómetros o más de distancia tierra adentro. Es en estas áreas lejos del mar en donde se localizan los centros urba-

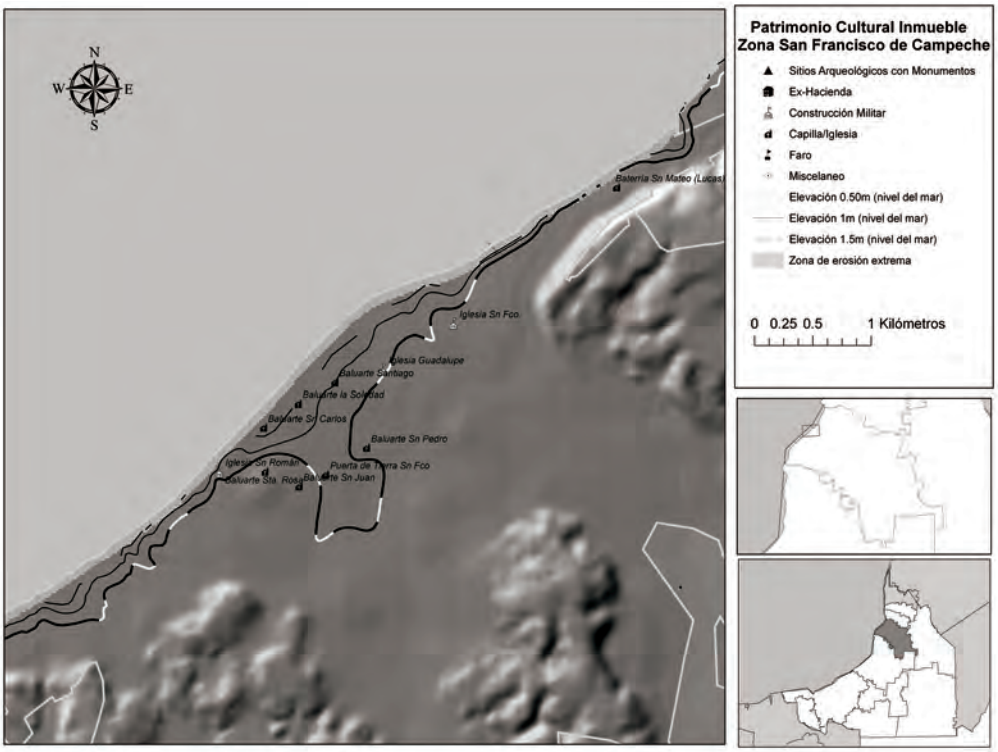


Figura 19. Alzas en el nivel del mar y el impacto sobre el patrimonio inmueble de San Francisco de Campeche (Plano: A. Anaya Hernández).

nos de mayor envergadura arquitectónica que datan, en algunos casos, de 500 a 700 años antes de Cristo. Tanto en la geografía marítima del área peninsular norte, como en la vera oriental se encuentran numerosos lugares con arquitectura monumental y áreas de actividades múltiples que corresponden a pueblos o ciudades de ocupación permanente desde tiempos remotos hasta la llegada de los españoles en el siglo XVI, pero esto no sucede en el caso del área litoral campechana. Otro factor más allá de lo ecológico o de una economía humana en cuanto a las grandes rutas de comercio de las que se versan las fuentes antiguas e históricas debe explicar esta incongruencia, particularmente en el caso de las islas de Jaina, Piedras y Uaymil que se localizan en la costa norte de Campeche, en "medio de la nada" y frente a un área de profusa vegetación de manglar.

Si bien estas tres islas artificiales construidas por el ser humano juntas a la vera del bosque de mangle son excepciones a esta regla general de evitar la vecindad marítima como espacio de residencia permanente, su presencia y permanencia a través de los siglos sugiere otra característica funcional específica relacionada con la cosmovisión y geografía sagrada pre-Colombina maya. Los pueblos prehispánicos asentados en la península de Yucatán concebían a su mundo terrestre como una suerte de isla flotando en un medio acuoso. Esta imagen ideológica se recordaba en la cosmovisión del pueblo como una gran

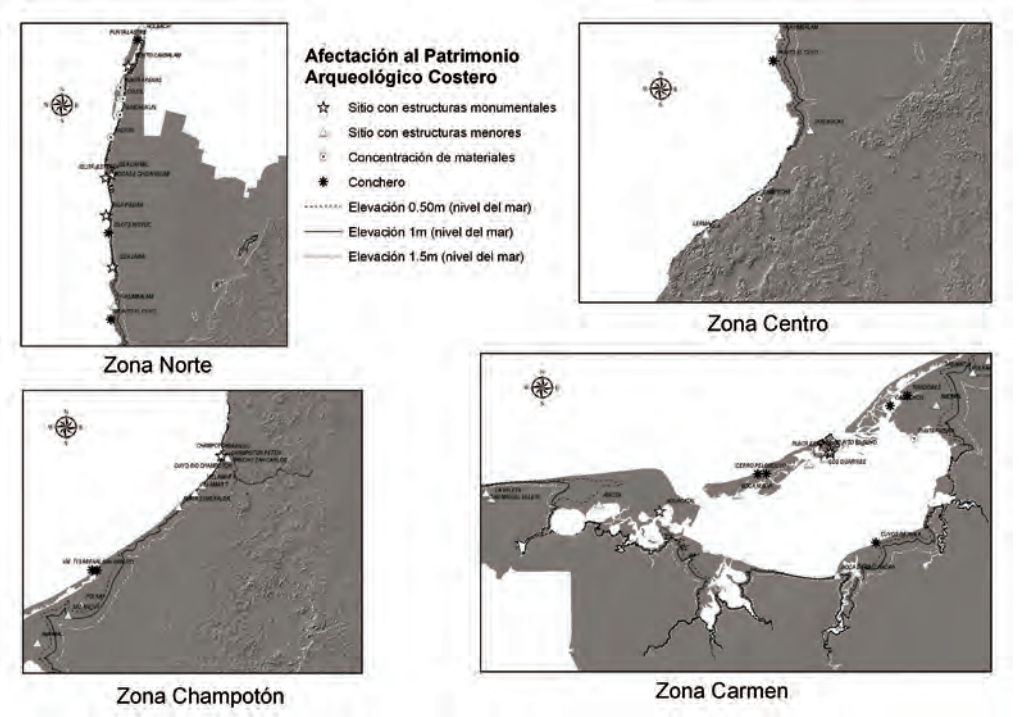


Figura 20. Afectación del patrimonio arqueológico de dimensiones menores en el área litoral.

...tortuga ...[que] flota[ba] en las aguas navegables del Golfo de México y del Mar Caribe y, metafóricamente, adentro de una llanura de agua ardiente conocida ancestralmente como la K'ahk' Nahb, el charco ardiente, que se refiere al sol que amanece en el Caribe y se oculta en el Golfo de México. Los cocodrilos sobrenaturales exhalaban las nubes que traían la lluvia. En los tiempos primordiales, el mismo mar adoptaba un matiz y esencia de la sangre y era el lugar en donde acontecían las batallas cósmicas entre los dioses y los tiburones [o xoc[10] *en maya], en donde [estos] saurios monstruosos perdían las cabezas en sendos actos de decapitación. En esta "plataforma" rodeada por agua en marcha, la sociedad maya prosperaba y desarrollaba una perspectiva distinta del mar, de sus recursos preciosos y de su influencia penetrante en todos los aspectos de la vida...*

El agua era más que un compuesto esencial que sostenía a la gente y a los productos que comía. Era el medio fundamental y vital de lo que se surgiría el mundo terrestre, de donde emergerían y regresaran los dioses al momento de la muerte y en donde residían los ances-

[10]El término maya *xoc* se reviste de múltiples sentidos. Además del mamífero marino otros significados realcen conceptos como obediencia, respeto, adoración, como cosa respectada y tenida en mucho, contar y rezar (Barrera Vázquez *et al.,* 1980).

> *tros. Por arriba y por debajo de ellos, rodeado por todos lados, en el pasado y en el futuro el agua encarnada por el mar era el factor decisivo del mundo espiritual maya*...(Finamore y Houston, 2010; traducción del inglés al español por los autores).

Los argonautas de altamar supremos de toda la sociedad europea occidental que llegaron a estas tierras en el siglo XVI encontrarían vastas expansiones de terrenos aptos, desde su punto de vista como marineros, militares y marchantes, para fincar sus reales en el Nuevo Mundo. Si bien harían caso omiso a las prohibiciones cosmogónicas o prácticas de los antiguos moradores de no instalarse en los márgenes de un límite a otro mundo, como el espacio en donde se ocultaba el sol y paseaba por el medio acuoso de los ancestros a través del portón al inframundo y a la muerte, o de evitar las zonas bajas que podrían inundarse durante temporadas eventuales por embravecerse la marea o por precipitaciones pluviales exageradas, las disposiciones jurídicas de las *Ordenanzas* o las acciones por los filibusteros ahuizotes desde el continente europeo servirían como otro factor que frenara la proliferación de asentamientos humanos en la zona litoral. Desde el momento que vieron por vez primera las tierras de Ca'anpech y Chakanputun en 1517 y hasta 1573, sólo se lograrían fincar sus reales en tres lugares: un pueblo llamado Salamanca de Campeche en 1531[11], otro con el topónimo de Champotón[12] en 1537 y la villa de San Francisco de Campeche en 1540. A casi dos siglos después de comenzar el ocaso del azote bucanero en el litoral campechano se lograría recuperar los espacios perdidos a los huestes depredadores del medio natural y del pueblo campechano Colonial en la Isla del Carmen en 1717. Si bien más adelante esta villa y la de San Francisco se convertirían en las metrópolis de la zona poniente de la península de Yucatán, por concentrar los intereses económicos y comerciales marinos en ellas dos, las nuevas generaciones de colonos hispanos y nativos criollos harían caso omiso también a las prohibiciones de antaño de urbanizar la franja litoral por olvidarse de otra regla general mayor: lo que se resta del mar, tarde o temprano el medio acuoso lo vuelve a recuperar.

[11]El lugar preciso en donde colocaron el primer poblado de Salamanca de Campeche, al igual que en el caso de San Pedro Champotón, se desconoce todavía. No obstante, por el patrón de fundación de otros pueblos y villas en la zona sudeste de la Nueva España y en el Caribe, como en el caso de Veracruz (Villa Rica, la Antigua y San Juan de Ulua), Santa María la Victoria – San Juan Bautista Villermosa y la Hispañola, el primer campamento del tipo tentativo sería reemplazado por el pueblo permanente, con un diseño urbano que obedecería las normas que después fuesen ratificadas por las *Ordenanzas* en 1573.

[12] Cuando se combinan las tres sílabas chan, pot y on del maya, quiere decir "*que no se escabullaron o... zafaron*" (Voss 2004), refiriéndose a la batalla de la "Buena Pelea" entre nativos y extranjeros cerca del estero y posiblemente en algún otro rincón de la cabecera municipal hoy en día. En este conflicto el Conquistador y Capitán de Nave Francisco Hernández de Córdoba se hirió mortalmente y el cronista Bernal Díaz del Castillo sufrió heridas por "flechazos" también (Díaz del Castillo 1982). Efectivamente todos no se escaparon sanos y a salvo. El topónimo maya *chanpoton*—sin acento en la última sílaba—se adoptaría también a partir de 1518 por los españoles, quienes seguramente no comprendieron cabalmente el sentido original del término como algo conmemorando la victoria indígena y su derrota en este lugar, para continuar llamando a la ciudad, al área inmediata y al río con el mismo nombre, Champotón, pero ahora hispanizado y con acento.

Y, finalmente, derivado de este ensayo paradigmático, ofrecemos comentarios sobre las enseñanzas del pretérito en cuanto a las costumbres de aprovechamiento de los espacios litorales, con el fin de señalar propuestas para el devenir de actividades viables en el futuro inmediato y mediato del área costera. Lo anterior se dirige hacia proponer políticas de ordenamiento territorial más acordes con otra realidad que nos espera en tan solo cuatro lustros a partir de 2010, provocado por los fenómenos meteorológicos e hidrológicos como secuelas del calentamiento global. Algunos lineamientos podrían incluir los siguientes:

1. Limitar los permisos actuales y prohibir nuevas solicitudes para cambio de usos de suelo que incluyen fraccionamientos de unidades residenciales en terrenos con elevaciones menores localizados en la zona litoral.
2. Mayores recursos para llevar a cabo proyectos de investigación y conservación del patrimonio cultural inmueble del área litoral campechana, para mitigar las secuelas de la pérdida de información científica y/o inmuebles prehispánicos del pueblo maya o históricos de las comunidades española y criolla.
3. Completar los inventarios de sitios y estructuras prioritarias que requerirán de medidas de salvamento o re-ubicación ante el aumento del nivel de mar, así como ante el aumento de índices de humedad y de salitre en los cimientos antiguos de mampostería.

Sin embargo, el reordenamiento de políticas públicas en cuanto se refiere al conservación y protección del patrimonio inmueble tampoco es una medida de salvaguarda segura. Por lo que se ha discutidoen relación a las distintas prioridades socioeconómicas, ideológicas y sociopolíticas a que se dedicaban los colonos españoles, sus descendientes y los pueblos mayas antes de que estos nuevos inquilinos llegaran, aunada a la situación de desventaja relativa al conocimiento milenario del paisaje ecológico que los naturales tenían y mantenían a través de un discurso mitológico objetivado en el ritual, el patrimonio inmueble arqueológico e histórico de los antepasados colocado en las zonas de alto riesgo del área litoral es realmente insalvable. Lo único que se podría hacer es tomar medidas paliativas, como la restauración de la cobertura manglar natural en algunas áreas, que retardarán las secuelas del proceso de deterioro causado por la elevación del nivel del mar, que eventualmente seguirá inexorablemente su curso natural.

Agradecimientos

Quisiéramos hacer patente nuestro agradecimiento al Mtro. Jesús Argáez Uribe, Director General del Centro de Emergencias del Gobierno del Estado de Campeche, por autorizar el uso de técnicas computarizadas, desarrolladas por parte del Dr. Gregorio Posada Venegas, la M. en I. Edith Vega Serratos y su equipo de trabajo del Centro EPOMEX de la Universidad Autónoma de Campeche, diseñadas para el Atlas de Peligros Naturales del Estado de Campeche y del Centro de Emergencias de Campeche. La asesoría por parte del Dr. Posada y la Mtra. Vega en la aplicación del modelo computarizado nos permitió generar los planos finales del trabajo. Quisiéramos reconocer también al Capt. Alejandro Estrada Hernández, Capitán de Fragata y

Director Accidental del Centro de Capacitación de la Armada de México por gestionar ante las autoridades de la Secretaría de Marina el permiso para ubicar la ex-Hacienda San Luis Carpizo en el plano del patrimonio inmueble costero. Nos acompañó en la salida en lancha desde Celestún el Arq. Fernando Campos Santoyo, quien también nos asesoró sobre la temporalidad del patrimonio inmueble histórico del área salinera de la entidad; y reconocemos a don Filiberto, pescador de Celestún, por llevarnos a los sitios prehispánicos de la zona litoral norte con acceso sólo a través del mar.

Literatura citada

Andrews, A. P., 1980a. Salt-making, Merchants and Markets: The Role of a Critical Resource in the Development of Maya Civilization. Tesis de doctorado inédita, Universidad de Arizona.

Andrews, A. P., 1980b The Salt Trade of the Ancient Maya. *Archaeology,* 33(4):24-33.

Andrews, IV., E. Wyllys, 1943. The Archaeology of Southwestern Campeche. Carnegie Institution of Washington Publication 546, Washington, DC.

Antochiw, M., 1994. Historia de la cartografía de la Península de Yucatán. CINVESTAV, Gobierno del Estado de Campeche, Grupo Tribasa, México, DF.

Antochiw, M., 2006 Milicia de Yucatán (Siglos XVI y XVII) & La unión de armas de 1712. Gobierno del Estado de Campeche, Instituto de Cultura de Campeche y CONACULTA - INAH, Campeche

Antochiw, M., 2007 Las primeras Fortificaciones de la Villa y Puerto de San Francisco de Campeche. Gobierno del Estado de Campeche, Campeche.

Ball, J. W., 1978. Archaeological Pottery of the Yucatan-Campeche Coast. p. 69-146. *In*: J.S.H. Brown y E.W. Andrews IV (eds.). Studies en the Archaeology of Coastal Yucatan and Campeche, Mexico, Middle American Research Institute, New Orleans.

Barrera Vázquez, A., et.al., 1980 Diccionario maya Cordemex. Ediciones Cordemex, Mérida.

Bolongaro Crevenna Recaséns, A., A.Z. Márquez, García, V. Torres Rodríguez y A. García Vicario, 2010 Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por efectos de erosión costera en el estado de Campeche. p. 73-96. En: Botello V., Alfonso, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J. L. Rojas Galviz (eds.) Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del estado de Tabasco, Instituto Nacional de Ecología – Semarnat. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología – UNAM. Universidad Autónoma de Campeche 514 p.

Botello V., Alfonso, Susana Villanueva, Jorge Gutiérrez y José Luis Rojas Galviz (Eds.), 2010. Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del estado de Tabasco, Instituto Nacional de Ecología – Semarnat. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología – UNAM. Universidad Autónoma de Campeche 514 p.

Burgos Villanueva, R., y A. P. Andrews, 2001 El Real de Salinas: Un puerto histórico de Campeche. En *Investigadores de la Cultura Maya*, 9(I): 208-217.

Carvajal Correa, M. A., L. A. Williams-Beck, A. Anaya Hernández, y M. E. Arjona García, 2009. Jaina: El portal al inframundo. Ponencia presentada en el XV Congreso Internacional Juan Comas, Mérida, octubre.

Chamberlain, R. S., 1982. Conquista y colonización de Yucatán, 1517 – 1550. Editorial Porrúa, Mexico.

Cobos, R., L. Fernández, y N. Peniche, 2005 Las columnatas de Uaymil: Su función durante el Clásico Terminal. En las memorias del encuentro internacional. *Los Investigadores de la Cultura Maya,* 13(I): 246-253.

Consejo Estatal de Población (COESPO), 2009. Enfoque territorial del municipio de Champotón. Consejo Municipal de Población, Secretaría de Gobierno del Gobierno del estado de Campeche.

de Grijalva, J., 1858. [1518] Itinerario de la armada del Rey Católico a la Isla de Yucatan, en la India. En Colección de documentos para la historia de México, Tomo I, editado por J. García Icazbalceta, pp. 281-308. Editorial Porrúa, México.

De la Garza, M., et al., 1983. Relaciones histórico geográficas de la gobernación de Yucatán. Centro de Estudios Mayas – Instituto de Investigaciones Filológicas – UNAM, México, DF.

Diaz del Castillo, B., 1982. Historia verdadera de la conquista de la Nueva España. Alianza Editorial, México.

Duch, G., 1991. Fisiografía del estado de Yucatán. Su relación con la agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco. México.

Dunning, N.P., 1992. Lords of the Hills: Ancient Maya Settlement in the Puuc Region, Yucatán, Mexico. Prehistory Press, Madison.

Eaton, J.D., 1978. Archaeological Survey of the Yucatan-Campeche Coast. p. 1-67. *In*: J.S.H. Brown y E.W. Andrews IV (eds.). Studies en the Archaeology of Coastal Yucatan and Campeche, Mexico, Middle American Research Institute, New Orleans.

Finemore, D., y S.D. Houston, 2010. Fiery Pool: The Maya and the Mythic Sea. Peabody Essex Museum y Yale University, New Haven y London.

Florescano, E., 1975. Haciendas, latifundios y plantaciones en América Latina. Siglo XIX, México.

Florescano, E., 1986. Origen y desarrollo de los problemas agrarios de México (1500-1821). Editorial Era, México.

García Bernal, M.C., 1978. Población y encomienda en Yucatán bajo los Austrias. Archivo General de Indias, Sevilla.

García Bernal, M.C., 2006. Campeche y el comercio atlántico yucateco (1561-1625). CONACULTA – Centro INAH Campeche, Campeche.

García Ramos, D., 1983. Iniciación al urbanismo. Facultad de Arquitectura – UNAM, México, D.F.

García Targa, J., 1996. Urbanismo colonial en el área maya siglos XVI y XVII. Modelos comparativos en Chiapas y Yucatán. p. 37-76. En: P. García Jordán *et al*. Las raíces de la memoria: América Latina, ayer y hoy, Quinto Encuentro Debate. Universidad de Barcelona, Barcelona.

Gerhard, P., 1991. La frontera sureste de la Nueva España. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas – Instituto de Investigaciones Geográficas, México.

Gobierno del estado de Campeche, 2007. Atlas de Ordenamiento Territorial del estado de Campeche. Universidad Autónoma de Campeche, San Francisco de Campeche.

González Cicero, S.M., 1978. Perspectiva religiosa en Yucatán. 1517-1571. El Colegio de México, México, D.F.

Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), s/f Dirección de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicos, Dirección de Registro de Monumentos arqueológicos inmuebles, catálogo de sitios arqueológicos.

Inurreta Díaz, A.F., 2003. Isla Piedras: Asentamiento del Clásico Temprano en la costa norte de Campeche. *Los investigadores de la Cultura Maya*, 13(I): 256-266.

Inurreta Díaz, A.F., 2004. Uaymil: Un puerto de transbordo en la costa norte de Campeche. Gobierno del Estado de Campeche – Centro INAH Campeche, Campeche.

Izquierdo, A.L., 1995. El abandono de Santa María de la Victoria y la fundación de San Juan Bautista de Villahermosa. Centro de Estudios Mayas – Instituto de Investigaciones Filológicas, UNAM.

Izquierdo, A.L., 1997. Acalán y la chontalpa en el siglo XVI: Su geografía política. Centro de Estudios Mayas – UNAM, México.

Jones, G.D., 1989. Maya Resistance to Spanish Rule: Time and History on a Colonial Frontier. University of New Mexico Press, Albuquerque.

Kennedy, P., 1994. Auge y caída de las grandes potencias. Plaza y Janes Editores, Barcelona.

Lanz, M.A., 1904 Compendio de Historia de Campeche. El Fénix de Pablo Llovera Marcin, Campeche.

Mas JF., y J. Correa Sandoval, 2000. Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida Los Petenes, Campeche, México. *Investigaciones Geográficas*, 43:42-59.

Matheny, R.T., 1970. The Ceramics of Aguacatal, Campeche, Mexico. New World Archaeological Foundation, Provo.

Piña Chan, R., 1968. Jaina: La casa en el agua. Fondo de Cultura Económica, México, df.

Piña Chan, R., 1970. Campeche antes de la Conquista. Gobierno del estado de Campeche, Campeche.

Piña Chan, R., 1987. Campeche durante el periodo Colonial. Muralla Editorial, Gobierno del estado de Campeche, Campeche.

Rodríguez Herrero, H. y L. Bozada Robles, 2010. Vulnerabilidad social al cambio climático en las costas del golfo de México. Un estudio exploratorio.p. 427-467. En: Botello V., Alfonso, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J. L. Rojas Galviz (eds.) Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del estado de Tabasco, Instituto Nacional de Ecología – Semarnat. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología – unam. Universidad Autónoma de Campeche 514 p.

Ruiz Abreu, C.E., 1994. Señores de la tierra y el agua: Propiedad, comercio y trabajo en el Tabasco Colonial. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa.

Ruz Lhullier, A., 1969. La costa de Campeche en tiempos prehispánicos. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), 2006. Anuario Estadístico de la Producción Pecuaria De Los Estados Unidos Mexicanos Por Estado, Distrito de Desarrollo Rural y Municipio. Sagarpa, México, D.F.

Salcedo Salcedo, J., 1996. Urbanismo hispano-americano siglos XVI, XVII y XVIII. Facultad de Arquitectura, Pontificia Universidad Javeriana, Santa Fé de Bogotá.

Sánchez Suárez Aguilar, V., y H. Ojeda Mas, 1996. Arqueología histórica en la ciudad de Campeche. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche.

Scholes, F.V., y R. L. Roys, 1968 The Maya Chontal Indians of Acalan-Tixchel. University of Oklahoma Press, Norman.

Semarnat, 2007. Proceso de Ordenamiento Ecológico Marino Regional del Golfo de México y Mar Caribe. Región Costero-Terrestre y Marina. Fase de Caracterización. http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos_golfo_mexico/bases%20tecnicas/caracterizacion_oerm_golfomex_version_8mayo08.pdf (12 de agosto de 2010).

Semarnat, 2008. Informe Final de la Fase Pronóstico: Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe. http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos_golfo_mexico/bases%20tecnicas/pronostico_consulta_oemr_gmmc.pdf. (25 de septiembre de 2010).

Sierra, C.J., 1998. Breve historia de Campeche. Fondo de Cultura Económica, El Colegio de México, México, D.F.

Torres Rodríguez, V., A. Márquez García, A. Bolongara Crevenna, J. Chavarría Hernández, G. Espósito Díaz y E. Márquez García, 2010. Tasa de erosión y vulnerabilidad costera en el estado de Campeche debido a efectos del cambio climático. p. 325-344. En: Botello V., Alfonso, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J. L. Rojas Galviz (eds.) Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del estado de Tabasco, Instituto Nacional de Ecología – Semarnat. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología – unam. Universidad Autónoma de Campeche 514 p.

Villanueva F., S., G. Ponce V., C. García R. y J. Presa, 2010. Vulnerabilidad de la zona costera. Ecosistemas costeras. p. 37-71. En: Botello V., Alfonso, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J. L. Rojas Galviz (eds.) Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del estado de Tabasco, Instituto Nacional de Ecología – Semarnat. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología – unam. Universidad Autónoma de Campeche 514 p.

Voss N., A.W., 2004. Chakanputun y Champotón: Nuevas interpretaciones. *Los Investigadores de la Cultura Maya*, 12 (I): 130-148.

Williams-Beck, L.A., 2001. Canpech Province Continuity and Change. p. 87-100. In: U. Hostettler and M. Restall (eds.). Maya Survivalism. Verlag Anton Saurwein, Markt Schwaben.

Williams-Beck, L.A., 2008. Ríos de ritos que consolidaban el poder en las Tierras Bajas mayas noroccidentales. Cuicuilco, 14(44):193-224.

Williams-Beck, L.A., 2010. Rivers of Ritual and Power in the Northwestern Maya Lowlands. In: Christian Isendahl y Bodil Liljefors Persson (eds.). Ecology, Power, and Religion in Maya Landscapes. Verlag Anton Saurwein, Alemania (en prensa).

Williams-Beck, L.A., A. Anaya Hernández, H.Z. Geovannini Acuña, O.G. Retana Guiascón, R. Noriega Trejo, R. E. Góngora Chin, M.A. Carvajal Correa, G. Romero González, O. Pérez Romero, J.M. Briones Ortiz, C. Janette Gómez Rosado, C. López Robles, C.I. Moo Dzib, M. Aguilar Nah, D. Castillo, y R. Collí Díaz, 2010 Estudio técnico del Río Champotón para proponerlo como Área Natural Protegida de carácter Municipal. Informe final entregado a la Secretaría de Medio Ambiente y Aprovechamiento Sustentable del Gobierno del Estado de Campeche, a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y al H. Ayuntamiento de Champotón, abril – julio.

Williams-Beck, L.A., A. Anaya Hernández y M. Arjona García, 2009a. Modelos de geografía sagrada prehispánica en la zona noroeste de la Península de Yucatán. Memorias del XXII Simposio de Investigaciones arqueológicas en Guatemala, Ministro de Cultura e Instituto Nacional de Antropología e Historia, Guatemala.

Williams-Beck, L.A., B. Liljefors-Persson, A. Anaya Hernández y O. Pérez Romero, 2009b. Back to the Future for Predicting the Past. Cuúchcabal – Batabil – Cuuchteel and May Ritual Political Structures across Archaeological Landscapes, in Ethnohistoric Texts, and through Cosmological Time. Ponencia presentada en XIV Reunión Anual WAYEB, Cracovia, Polonia, noviembre.

Williams-Beck, L.A. y E. López, 1999. Historia de tres ciudades: Ah Kim Pech, Acanmul y San Francisco de Campeche. *Estudios de Cultura Maya,* XX:93-116.

Wilson, E.M., 1980. Physical Geography of the Yucatan Peninsula. p. 5-40. *In:* E. Mosely and E. Terry (eds.). Yucatan: A World Apart. University of Alabama, Tuscaloosa.

Wolf, E.R., 1987. Europa y la gente sin historia. Fondo de Cultura Económica, México.

Archivos

Archivo General del Estado de Campeche. Informes de Gobierno del Estado de Campeche. 1862-1910.

Informe sobre el faro situado frente al puerto del Carmen en un lugar llamado Xicalango, pueblo de indígenas. 10 febrero 1868. Ramo Gobernación, Caja 1, Expediente 16, 1 fs.

González Turrubiates, D.M., 2010. Valoración y gestión del riesgo por inundaciones en municipios costeros (Una aproximación con base en indicadores). p. 591-606. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Valoración y gestión del riesgo por inundaciones en municipios costeros (Una aproximación con base en indicadores)

Dora María González Turrubiates

Resumen

La metodología propuesta, formula la valoración y gestión del riesgo por inundaciones desde una perspectiva integral. Que incluye, además, del riesgo físico, variables sociales, económicas y de capacidad de respuesta de las autoridades gestoras y de la población probable afectada. Identifica, además, las circunstancias que favorecen que un fenómeno intenso se convierta en un desastre, con el fin de anticiparse y poder intervenir en dichas circunstancias, y disminuir, en lo posible, el impacto de futuros eventos peligrosos. En este sentido, la metodología propuesta y en relación a la importancia que reviste el estudio del riesgo por inundaciones, ante el ya cambio climático, añade una complejidad adicional a su relación con el medio ambiente, tanto a la conservación y uso de territorios expuestos, como a la necesidad establecer políticas de adaptación, mitigación y reducción del riesgo.

Introducción

El cambio climático plantea un gran desafío para todas aquellas autoridades responsables de formular políticas públicas en general. La preocupación en el aumento de las precipitaciones y en consecuencia el de las inundaciones, sobre todo en municipios costeros y principalmente en aquellos donde la incidencia de fenómenos hidrometeorológicos es muy alta, figura hoy, entre las preocupaciones y discusiones tanto de científicos y técnicos, como de ciudadanos comunes en todo el mundo. Por tanto, la cuestión más importante, entre otras, a lo que deben responder las autoridades es determinar ¿qué plan es el más apropiado para asumir las actuaciones de gestión del riesgo ante las condiciones climáticas que se tendrán en el futuro próximo?

Durante décadas, múltiples cambios importantes, se han venido observando en muchas variables relacionadas con el agua. Los ciclos de precipitaciones están variando. Las proyecciones de precipitaciones regionales están sujetas a una gran incertidumbre. En muchas regiones los modelos de pronósticos, no concuerdan con el signo de cambio proyectado (Bates *et al.*, 2008).

Algunas referencias sobre alteraciones en las precipitaciones que destacan son: El cuarto informe sobre Cambio Climático del IPCC (2007) que indica que "*entre 1900 y 2005, la precipitación aumentó notablemente en las partes orientales del norte de América del Sur y del Norte,... las observaciones evidencian un aumento de la actividad ciclónica tropical intensa en el Atlántico Norte desde aproximadamente 1970*". El Informe de Oxfam Internacional (2007) "Alarma Climática: Aumentan los desastres debidos al cambio climático" manifiesta que el segundo riesgo climático, particularmente en aumento, son las precipitaciones, estas se han vuelto "*más concentradas y más intensas, causando o agravando inundaciones en países tan distantes como el Reino Unido, Vietnam, Sudáfrica, México e India*". El reporte precisa, también, que el año 2007 fue sido un año de "crisis climática", por el número de inundaciones que se presentaron en el mundo, y que han afectaron a más de 250 millones de personas, así como por el comportamiento no predecible de la naturaleza. Por su parte, el informe "Disaster Risk Reduction: 2007 Global Overview, Global Plataform for Disaster Risk Reduction" de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de la Organización de las Naciones Unidas EIRD/ONU, establece que, "*los desastres por inundaciones aumentan en mayor grado que otro tipo de desastre, entre 1980 y 2006 el número de inundaciones y ciclones se ha cuadriplicado de 60 a 240 por año*".

Ante esto, la gestión de los recursos hidrológicos, y en especial los excesos hidrológicos, juega hoy en día un papel preponderante. Las actuaciones que se tengan a este respecto tienen claramente impacto con muchas otras áreas (*e.g.* la seguridad, la salud, y la conservación de la naturaleza, entre otras). Por tal motivo, es importante la evaluación específica del sitio y la optimización de la eficacia en la práctica de medidas de adaptación y opciones de mitigación integradas y conducidas en forma sistemática a través de múltiples actuaciones. Así, la valoración del riesgo por inundaciones, es un conocimiento necesario para la aplicación de políticas públicas encaminadas al diseño de medidas de adaptación, mitigación y reducción del mismo. Dada la importancia que reviste, esta valoración en la gestión de los recursos hidrológicos, y

ante el cambio climático, se presentan los resultados del estudio realizado en el municipio de Pueblo Viejo, en el estado de Veracruz.

Estado del arte

La evaluación del riesgo por inundaciones implica disponer de un conocimiento detallado de las características cuantitativas y cualitativas del riesgo, como también, de los factores que lo determinan y de sus consecuencias físicas, sociales, económicas y ambientales.

El riesgo en su concepto general, es definido como la probabilidad de pérdidas futuras, como el resultado de la existencia de un peligro latente asociado con la posibilidad de que se presenten fenómenos peligrosos y de unas características propias o intrínsecas del elemento expuesto, que lo predisponen a sufrir daños en diversos grados (Cardona, 2001). Como se puede ver la formulación del riesgo consta de dos elementos fundamentales, a saber: la existencia de un fenómeno o evento dañino «*la amenaza*» y el grado de susceptibilidad del elemento expuesto o amenazado «*la vulnerabilidad/capacidad*».

En la evaluación de la amenaza y de la vulnerabilidad/capacidad, se utilizan procedimientos formales que incluyen la recopilación de información de fuentes primarias (Taylor y Davis, 1998; IFRC, 1999), el monitoreo de los factores de amenaza (Rosales *et al*., 2004; Salas y Jiménez, 2004) y de los factores de vulnerabilidad (Blaikie *et al*., 1996; Massure y Luttof, 2002), el procesamiento de la información (Masure, 2003), el levantamiento de mapas (Díez y Pujadas, 2002; Rashed y Weeks, 2003; Eslava *et al*., 2004; Mercè y LLasat, 2005) y diversas técnicas para la realización de estudios sociales (Blaikie *et al*., 1994; Lavell y Franco, 1996; Clark y Keipi, 2000).

A este respecto, el estudio del riesgo en relación a la gestión de los recursos hidrológicos, ha sido abordado en México por algunas instancias como la CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres) y el SINAPROC (Sistema Nacional de Protección Civil), donde se han estudiado y caracterizado las zonas de peligro y de riesgo por inundaciones, en el territorio mexicano, elaborando mapas estatales y locales sobre los sitios donde se presentan más frecuentemente inundaciones (CENAPRED, 2001). Se han incluido en estos mapas algunos factores de vulnerabilidad física y social, que determinan en gran medida el grado o nivel de riesgo entre un sitio y otro. Sin embargo, en este sentido y tal como lo exterioriza Herzer (1998), en ocasiones suele ser complicado establecer o definir las variables sociales, económicas y ambientales que determinan la construcción del riesgo.

Finalmente, y con base en lo antes expuesto, este estudio se hace con el objetivo de presentar un panorama general e integral del nivel de riesgo por inundaciones en el municipio de Pueblo Viejo, para hacer las recomendaciones pertinentes en relación al manejo de los recursos hidrológicos y la gestión del riesgo por inundaciones, sugiriendo algunas acciones de política pública que ayuden a establecer medidas de adaptación, mitigación y reducción del riesgo ante el cambio climático que se esta viviendo.

Metodología

Estimar el riesgo a causa de un fenómeno natural, como son las inundaciones, no es una tarea sencilla. Cualquier plan que se proponga, siempre tendrá sus limitaciones pequeñas o grandes, principalmente, por la complejidad de lo que se espera evalúe y la existencia de unas características enfrentadas, y mutuas restricciones de lo que es factible de realizar o no. Pero, sin duda, lo importante debe ser, que el método de valoración sea de fácil aplicación y entendimiento, para que sea usado de manera periódica y que permita medir la gestión del riesgo y su efectividad.

La metodología de evaluación del riesgo por inundaciones, aquí propuesta, surge a partir de la estimación de los daños ó pérdidas probables de los escenarios de amenaza; los cuales, son considerados como el resultado de la convolución de la amenaza, con la vulnerabilidad física, económica, social, cultural y funcional del territorio afectado (Cardona, 2001; Carrreño, 2007). Así entonces, se propone la definición del «*Índice de Riesgo por Inundaciones* (IRI)», como una función del riesgo físico y la vulnerabilidad existente o prevaleciente. Para lo cual, se valoran dos índices generales el «*Índice de Riesgo Físico* (IRFI)» y el «*Índice de Vulnerabilidad Prevaleciente* (IVP)». El primero, a partir del daño o afectación física al territorio y su sociedad, y el segundo, resultado de la estimación de tres categorías de vulnerabilidad: exposición y susceptibilidad física, fragilidad socio-económica y falta de resiliencia (Cardona, 2005).

Índice de Riesgo por Inundaciones IRI_x

La valoración del riesgo por inundaciones, parte de la identificación de unas unidades de análisis, ***x***, que corresponden a los territorios, para los cuales se determina el «*Índice de Riesgo por Inundaciones*, IRI_x», y el cual es expresado:

$$IRI_x = IRFl_x\,(1 + IVP_x)$$

donde: $IRFI_x$, es el «Índice de Riesgo Físico por Inundaciones» basado en descriptores obtenidos de los daños o pérdidas potenciales, que podrían causar inundaciones futuras en el territorio de análisis e IVP_x, «Índice de Vulnerabilidad Prevaleciente», obtenido de la suma ponderada de tres categorías de vulnerabilidad.

El IRI_x, se sustenta en la valoración de los efectos o impactos económicos que genera un desastre natural de acuerdo con la experiencia de la Comisión Económica para la América Latina y el Caribe (CEPAL, 2003). La CEPAL considera que en un desastre "húmedo", como es el caso de las inundaciones, los efectos económicos indirectos pueden llegar a ser del orden del 50% al 75% de los efectos directos; mientras que en un desastre "seco", como es el caso de los sismos, los efectos indirectos pueden llegar a ser del orden del 75% al 100% de los efectos directos. Por tanto, la anterior apreciación significa que el impacto total de un desastre podría ser del orden del 1.5 y 2 veces el impacto directo. En general y para sintetizar se asume que el impacto total representado por el IRI_x corresponde al doble del impacto directo, representado por el IVP_x.

Índice de Riesgo Físico de Inundación $IRFI_x$

El $IRFI_x$ está dado por:

$$IRFI_x = \sum_{i=1}^{p} W_{RF_i} x D_{RF_i}$$

donde: D_{RF_i} corresponde a los descriptores del riesgo físico, W_{RF_i} es el peso para cada descriptor y p, es el número total de descriptores de riesgo físico.

Índice de Vulnerabilidad Prevaleciente IVP_x

El IVP_x, se obtiene de la suma ponderada de tres categorías de vulnerabilidad prevaleciente, y, que reflejan la exposición y susceptibilidad física *ES*, la fragilidad socio-económica *FS* y la falta de resiliencia *FR* en cada unidad de análisis, x:

$$IVP_{ES,DF,FR} = \sum_{i=1}^{m} W_{ESi} x D_{ESi} + \sum_{j=1}^{n} W_{FSj} x D_{FSj} + \sum_{k=1}^{j} W_{FRk} x D_{FRk}$$

donde: W_{ESi}, W_{FSj} y W_{FRk} son los pesos que toman en consideración la importancia relativa de cada categoría de vulnerabilidad; D_{ESi}, D_{FSj} y D_{RFx} son los descriptores que componen cada categoría de vulnerabilidad y m, n y l indican el número total de descriptores para cada categoría de vulnerabilidad.

La recomendación general, en lo que respecta al número total de descriptores para cada índice es, no emplear más de nueve descriptores, un número mayor dificulta la asignación concertada de los factores de importancia o pesos.

En lo que respecta a los pesos de cada uno de los descriptores que componen los índices, estos se obtienen mediante su ponderación. Sus valores deben ilustrar la importancia de cada uno con respecto a los demás en la determinación de cada índice. Debiendo tratar de reflejar el conocimiento colectivo de los expertos para definir su valor. La ponderación será correcta siempre que cumpla esta meta. Finalmente, para su ponderación se propone el empleo del *Proceso Analítico Jerárquico* (PAJ), una técnica factible y razonable para capturar el criterio, la experiencia y el juicio de expertos (Saaty, 1980).

Área de estudio

La figura 1, muestra la localización del municipio de Pueblo Viejo. El cual se encuentra en el estado de Veracruz, en la costa del Golfo de México. El municipio constituye un centro urbano formado por un conjunto de áreas suburbanas. Se localiza al noroeste de Xalapa, la capital del Estado; en la región denominada Cuenca del Pánuco, entre los paralelos 22°06'24" y 22°15'25"

Figura 1. Localización del área de estudio.

de latitud norte y los meridianos 97°53'09" y 99°59'13" de longitud oeste, aproximadamente. Tiene una superficie aproximada de 286.24 km^2 (INEGI, 2005a); limita al norte con los municipios de Madero y Tampico del estado de Tamaulipas, y sólo separado por el cauce del río Pánuco, al poniente y al sur con los municipios de Pánuco y Tampico Alto perteneciente al estado de Veracruz; y al oriente con el litoral del Golfo de México (INEGI, 2005b). Tiene una superficie lagunaria de 74.49 km^2 repartida en cuatro cuerpos de agua (INEGI, 2005c), siendo la principal y más importante por su superficie y producción pesquera, la laguna de Pueblo Viejo, con 41.61 km^2. La altura promedio es de entre los 10 y 50 metros sobre el nivel del mar. Finalmente, son estas dos condiciones y la ubicación geográfica, en la desembocadura del río Pánuco, lo que lo hace un municipio vulnerable a las inundaciones.

Finalmente, el municipio cuenta con 73 localidades, 5 suburbanas y 68 rurales, y alberga una población aproximada de 52 593 habitantes (INEGI, 2005d). Las localidades suburbanas son: su cabecera municipal Ciudad Cuauhtémoc con 8 950 habitantes, Benito Juárez con 14 015 habitantes; Anáhuac con 13 647 habitantes, Hidalgo con 6 159 habitantes y Primero de Mayo con 5 068 habitantes.

Resultados

Para evaluar el IRI_x, se consideró un escenario de peligro por inundaciones que supera los 50 cm de anegamiento. Asimismo, se considero la pertinencia de un total de 35 descriptores. La tabla 1, muestra el despliegue de estos descriptores y su participación en cada índice.

En las figuras 2 y 3 se observa los descriptores asociados al IRFI y al IVP, se ha empleado una escala entre 0 y 1 para facilitar su entendimiento. Estos permiten identificar qué descriptores ó indicadores tienen la mayor incidencia o importancia relativa, y a cual se debe priorizar la atención y medidas de mitigación y prevención para reducir el riesgo por inundaciones.

En lo que corresponde al IRFI, los valores de los descriptores más relevantes son: D_{RF1} = Territorio afectado, con el 0.1232; D_{RF2} = Población afectada con el 0.2227; D_{RF3} = Viviendas afectadas, con el 0.462; D_{RF5} = Heridos/Enfermos con el 0.497; DRF7 = Daño en sector primario, con el 0.523 y D_{RF9} = Daño ambiental, con el 0.500 (figura 2). A este respecto, los descriptores no superan el valor de 0.50, lo que indica que el riesgo físico es de Bajo a Medio. Entendiéndose, que ante un evento extremo de precipitaciones que lleguen alcanzar los 50cm de anegamiento se verá afectado un 12.3% de territorio municipal, la población afectada superará el 20%, el daño potencial en viviendas superará el 46%, el daño en la agricultura y la ganadería superará el 50% de territorio ocupado para esta actividad, mientras que el daño ambiental se presentará en la mitad de territorio.

Para el IVP, en su categoría de exposición y susceptibilidad física (IVPES), los descriptores que tienen mayor importancia relativa corresponden a: D_{ES1}= Densidad poblacional, con el 0.750; D_{ES2}= Densidad agrícola y ganadera, con el 0.858; D_{ES6}= Población con dependencia física, con el 0.623 y D_{ES9}= Viviendas pobres o con algún nivel de hacinamiento, con el 0.715 (figura 3a). Como se puede observar, los valores de los descriptores son superiores al 0.50, lo indica que la exposición y susceptibilidad física en el municipio de Media a Alta. Por otra parte, la alta densidad poblacional y el gran número de viviendas pobres o con un nivel de hacinamiento, son dos indicadores que indiscutiblemente inciden en la valoración de la vulnerabilidad. Su alto valor indica un gran número de personas expuestas al peligro.

Para la categoría de fragilidad socioeconómica (IVPES), los descriptores que tienen mayor importancia relativa son: D_{FS3}= Rezago social, con el 0.750; D_{FS4}= Seguridad social, con el 0.632 y D_{FS7}= Dependencia socioeconómica, con el 0.913 (figura 3b). Se observa que los valores obtenidos en estos descriptores son de Medio a Alto e incluso Muy Alto. El valor de que se tiene en el descriptor Dependencia Socioeconómica, muestra que existe un gran número de individuos que dependen de la población económica activa. Es claro que las condiciones sociales y económicas de la población modifican e incrementan la vulnerabilidad.

Finalmente, para la categoría de falta de resiliencia (IVPFR), se obtuvo que los descriptores más relevantes son: D_{FR5}= Capacidad de divulgación de información, con el 0.920; D_{FR6}= Índice de desarrollo municipal, con el 0.518; D_{FR7}= Índice de percepción del riesgo por inundaciones, con el 0.750 y D_{FR8}= Índice de operatividad en emergencias, con el 0.750 (figura 3c). Se observa que la mayoría de estos descriptores, su valor supera el 0.50, lo indica que se está en una capacidad Media a Alta de respuesta ante eventos de emergencia.

Tabla 1. Descriptores que integran el Índice de Riesgo por Inundaciones (IRI_x), a escala municipal.

Índices		Descriptores
IRI Índice de riesgo por inundaciones	*IRFI* Índice de riesgo físico por inundaciones.	W_{RF_1} D_{RF_1} = Territorio afectado. W_{RF_2} D_{RF_2} = Población afectada. W_{RF_3} D_{RF_3} = Viviendas afectadas. W_{RF_4} D_{RF_4} = Muertos. W_{RF_5} D_{RF_5} = Heridos/Enfermos. W_{RF_6} D_{RF_6} = Daño en infraestructura pública urbana. W_{RF_7} D_{RF_7} = Daño en sector primario. W_{RF_8} D_{RF_8} = Daño en sector secundario. W_{RF_9} D_{RF_9} = Daño ambiental.
	IVP_{ES} Índice de vulnerabilidad prevaleciente por exposición y susceptibilidad física.	W_{ES_1} D_{ES_1} = Densidad poblacional. W_{ES_2} D_{ES_2} = Densidad agrícola y ganadera. W_{ES_3} D_{ES_3} = Crecimiento poblacional. W_{ES_4} D_{ES_4} = Dispersión poblacional. W_{ES_5} D_{ES_5} = Población indígena. W_{ES_6} D_{ES_6} = Población con dependencia física. W_{ES_7} D_{ES_7} = Población en viviendas pobres o con algún nivel de hacinamiento. W_{ES_8} D_{ES_8} = Población en sector primario. W_{ES_9} D_{ES_9} = Viviendas pobres o con algún nivel de hacinamiento.
	IVP_{FS} Índice de vulnerabilidad prevaleciente por fragilidad socioeconómica.	W_{FS_1} D_{FS_1} =Marginación poblacional. W_{FS_2} D_{FS_2} =Migración poblacional. W_{FS_3} D_{FS_3} =Rezago social. W_{FS_4} D_{FS_4} =Seguridad social. W_{FS_5} D_{FS_5} =Desempleo abierto. W_{FS_6} D_{FS_6} =Ingreso poblacional. W_{FS_7} D_{FS_7} =Dependencia socioeconómica W_{FS_8} D_{FS_8} =Déficit de vivienda. W_{FS_9} D_{FS_9} =Dependencia del crecimiento económico del sector primario.
	IVP_{FR} Índice de vulnerabilidad prevaleciente por falta de resiliencia.	W_{FS_1} D_{FR_1} =Cobertura de servicios médicos. W_{FS_2} D_{FR_2} =Cobertura de servicios hospitalarios. W_{FS_3} D_{FR_3} =Cobertura de servicios de auxilio. W_{FS_4} D_{FR_4} =Capacidad de albergue. W_{FS_5} D_{FR_5} =Capacidad de divulgación de información. W_{FS_6} D_{FR_6} =Índice de desarrollo municipal. W_{FS_7} D_{FR_7} =Índice de percepción del riesgo por inundaciones. W_{FS_8} D_{FR_8} =Índice de operatividad en emergencias.

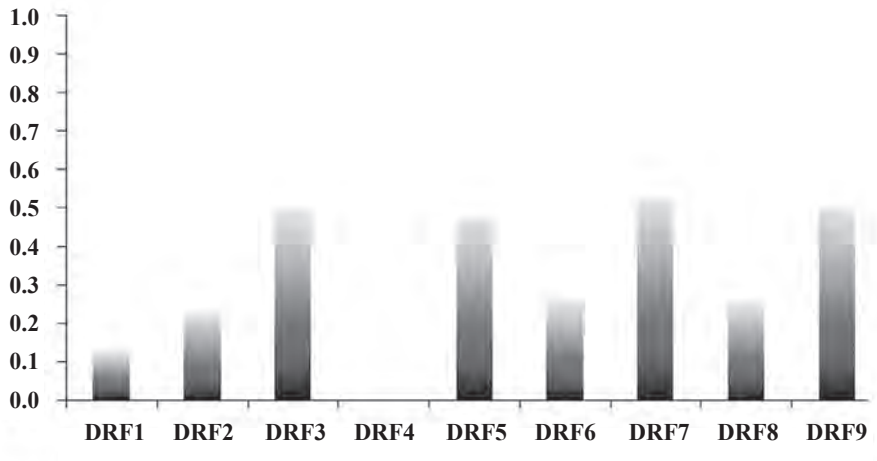


Figura 2. Descriptores del Índice de Riesgo Físico por Inundaciones. Escenario de daños potenciales por inundaciones, nivel de anegamiento mayor a 50 cm. Municipio de Pueblo Viejo, Veracruz.

Una vez acreditados los valores de los descriptores, se obtuvieron: el IRFI y el IVP, en sus tres categorías, para finalmente estimar el IRI. La figura 4, muestra los valores que se obtuvieron para estos índices. El gráfico, logra desplegar una visión relativa del nivel de riesgo por inundación que se tiene en el municipio estudiado. En la escala de 0 a 1, y considerando que 1 representa un nivel alto de riesgo, el municipio se encuentra en un nivel Medio de riesgo 0.450, en lo que corresponde al IRI. Por otro lado, y en lo que corresponde al IRFI y al IVP, estos registran valores de 0.305 y 0.475, respectivamente, y por abajo del nivel Medio. Cabe mencionar, la importancia que reviste el IVP, para la estimación del IRI: las categorías de vulnerabilidad por exposición y susceptibilidad física (IVPES) y falta de resiliencia (IVPFR) se encuentran en un nivel Medio, 0.526 y 0.542, respectivamente. La vulnerabilidad por fragilidad socioeconómica (IVPFS) alcanza un nivel abajo del Medio, 0.358, lo que hace que el IRI, se eleve aunque el IRFI sea bajo. Finalmente, se observa que el valor en el nivel de riesgo, está claramente determinado tanto por amenaza como por la vulnerabilidad.

Discusión

El riesgo por inundaciones año tras año es cada vez más innegable en muchas regiones del mundo. Es evidente que el cambio climático está afectando la función y la operación de la infraestructura existente a la atención de los recursos hidrológicos y su manejo. En México, este riesgo es una realidad en casi todo el territorio nacional y particularmente en los municipios costeros. Ante este hecho y la importancia que reviste el cambio climático ante el aumento del riesgo en algunas regiones costeras, es relevante analizar los territorios expuesto para caracterizarlos y definir estrategias de acción para su manejo.

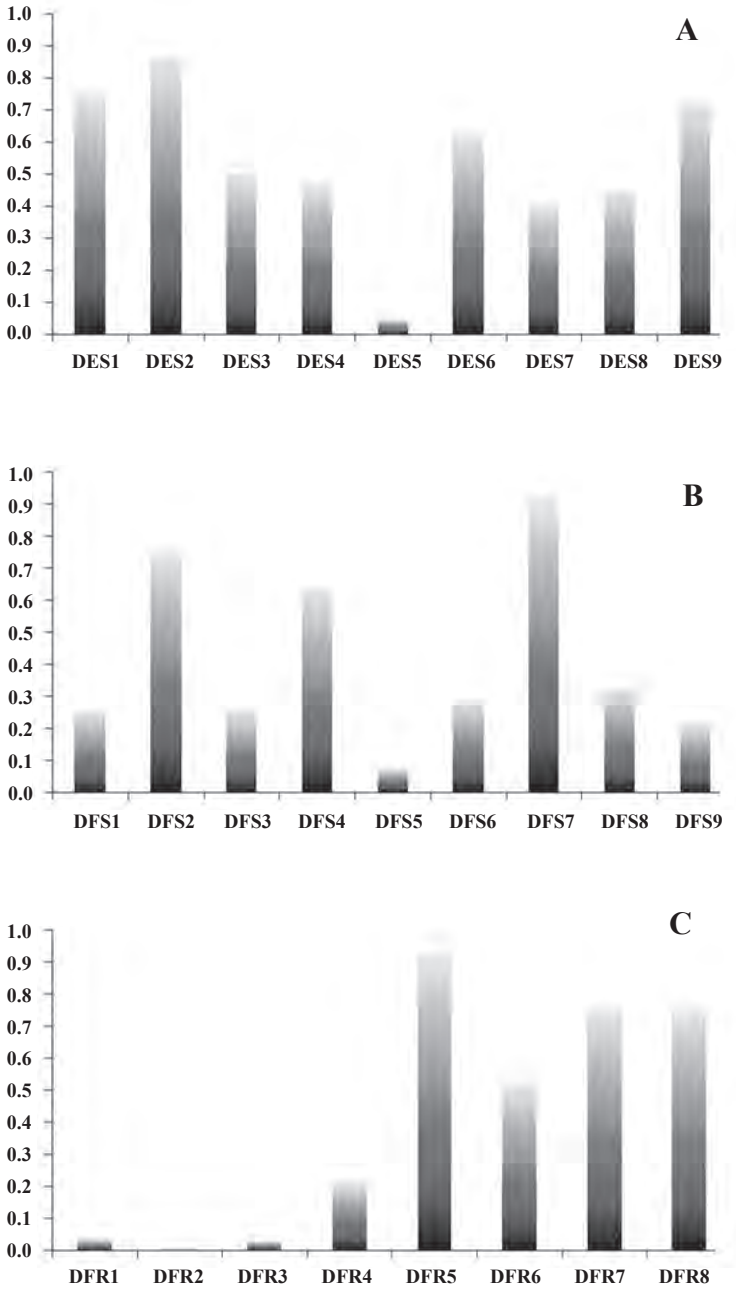


Figura 3. Descriptores del Índice de Vulnerabilidad Prevaleciente en sus tres categorías. A) Descriptores del índice de vulnerabilidad prevaleciente por exposición y susceptibilidad física. Estar expuesto y ser susceptible. B) Descriptores del índice de vulnerabilidad prevaleciente por fragilidad socioeconómica. Predisposición a ser afectado. C) Descriptores del índice de vulnerabilidad prevaleciente por falta de resiliencia. No tener capacidad.

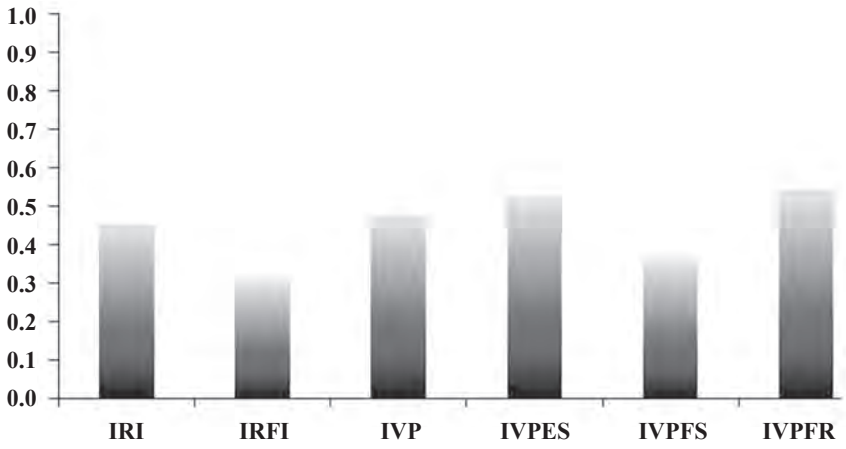


Figura 4. Nivel de riesgo alcanzado en el municipio de Pueblo Viejo, Veracruz.

Conocer el nivel de anegamiento que puede alcanzarse en un territorio a causa de eventos hidrológicos extremos, las características económicas, sociales y de cultura de la población ante los riesgos y la capacidad de respuesta de las autoridades gestoras, entre otros, son aspectos que fructifican en una mejor aplicación de las estrategias de su manejo. Al evaluar el riesgo mediante el análisis conjunto de información heterogénea, se logra integrar un índice plenario, transparente, representativo y robusto, de fácil comprensión por parte de los responsables de formular políticas públicas urbanas, y, que puede aplicarse de manera continua. Asimismo, se considera que la presentación de los resultados en forma de indicadores facilita el entendimiento del riesgo por parte de los responsables de su gestión, además, permite que se tenga una línea base del grado o nivel del riesgo. Además, de que puede permitir hacer comparaciones entre otros territorios también expuestos.

Para el territorio estudiado, municipio de Pueblo Viejo, Veracruz; esta evaluación ha sido de gran ayuda y ha permitido tener una primera lectura de los factores que inciden directamente en el nivel de riesgo, no sólo desde el punto de vista del daño físico potencial, sino desde una perspectiva todavía más amplia, que incluye variables económicas, sociales e institucionales. La posibilidad de desagregar los factores del riesgo en sus componentes, ha facilitado la identificación de las influencias que determinan el porqué un valor relativo es mayor o menor en cada caso.

Finalmente, este método, puede ser utilizado para reorientar la toma de decisiones en la gestión del riesgo y su efectividad y en la estructuración de medidas de adaptación de la población ante el cambio climático. La identificación de los espacios críticos que pueden ser especialmente problemáticos, en caso de eventos extraordinarios, cada vez más frecuentes, suscitados por el aumento de las precipitaciones; debe permitir la conformación de planes integrales y participativos para el manejo del riesgo por inundaciones, no sólo en los territorios directamente

expuestos a eventos hidrometeorológicos, sino también en aquellos afectados por los secuelas de estos.

Partiendo de la premisa, de que el riesgo por inundaciones no sólo es producido por la naturaleza sino que también puede ser respaldado y construido por la sociedad, se deben concentrar esfuerzos en el análisis de este, como también en desarrollar metodologías que permitan enfrentarlos, mitigarlos, o evitarlos, lo cual se impone como prioridad ante el cambio climático. Este objetivo justifica por sí solo cualquier esfuerzo de investigación. Conocer mejor los peligros y los riesgos ambientales, entendiéndolos como conceptos complementarios y no equivalentes, representa un verdadero progreso, tanto para el conocimiento científico como para el beneficio de la especie humana.

Conclusiones

El resultado obtenido en la aplicación de la metodología propuesta refleja la situación o el grado de riesgo en el municipio de Pueblo Viejo. Es importante mencionar que la vulnerabilidad/capacidad de la población, en su categoría de fragilidad socioeconómica ayudó en gran medida a que éste no fuera Alto. Ya que, en lo que se refiere a la vulnerabilidad por exposición y susceptibilidad física el nivel alcanzado quedo plenamente definido por el alto grado de exposición de la población, traducido en una gran cantidad de viviendas y población afectada.

En lo que respecta, a la falta de resiliencia, entendida como la capacidad de respuesta de la autoridades y capacidad de actuación de la población entre otras cosas se identifico, que a pesar de que la población conoce acerca del peligro por inundaciones en su localidad e identifica su recurrencia en el territorio, así como las zonas de riesgo, no saben a quién acudir en caso de que ocurra un desastre. Aún más, se ha podido observar dos situaciones: la innegable disociación de los grupos de población, lo cual es indicado por la falta capacidad de actuaciones coordinadas para logra el bien común; y por otra parte, la falta de operatividad de las autoridades para manejar el riesgo y que no haber podido concientizar a la población del riesgo latente en que viven. Asimismo, se observo que las labores del organismo encargado de la protección civil son totalmente reactivas, ya que fundamentalmente se actúa en situaciones de emergencia y no se tienen planes de mitigación y reducción del riesgo. Además, el organismo encargado de dar respuesta a emergencias enfrenta varias situaciones en primer lugar, la evidente falta de recursos, tanto económicos como materiales y el reducido número de personal con que cuenta; y en segundo lugar, al continúo movimiento del personal que no ayuda a la continuidad de proyectos encaminados a la mitigación y reducción del riesgo.

Finalmente, la elaboración de Planes y Programas Integrales Participativos para el Manejo del Riesgo por Inundaciones se presenta como una alternativa para incrementar de manera indirecta la capacidad de adaptación de la población al cambio climático que se presenta. Estos planes y programas deben superar el manejo compartimentado tradicional e integrarse en fases organizadas y concatenadas, en donde las actividades que se lleven a cabo en cada fase, tengan una repercusión positiva en lo que sucede en la otra fase.

Sugerencias y recomendaciones

Aplicar la metodología propuesta a otros municipios para comparar resultados. Realizar un nuevo análisis de los componentes principales de cada índice, tanto para el *Índice de Riesgo Físico* como para el *Índice de Vulnerabilidad Prevaleciente*, con el objetivo de identificar nuevos posibles indicadores a tener en cuenta en la metodología; e incluir un análisis de correlación entre indicadores que permita, si se considera conveniente, eliminar indicadores altamente correlacionados que pueden interpretarse como diferentes formas del mismo aspecto. Finalmente, la metodología de valoración del riesgo de inundación propuesta requiere de un enfoque multidisciplinaria que toma en cuenta las pérdidas humanas y económicas y los aspectos sociales, organizacionales e institucionales relacionados con el nivel de desarrollo de la comunidad, lo que quizás la haga complicado para aquellos no se encuentran familiarizados con el manejo conjunto de disciplinas.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó gracias al apoyo de la Unidad de Protección Civil del municipio de Pueblo Viejo y a la Subdirección de Protección Civil del Gobierno del estado de Veracruz. Agradezco también al Prof. Martín Pérez San Martín, historiador del municipio, por su ayuda y aporte valioso de material informativo para la realización de este trabajo, y al Sr. Jorge Flores Rivera, Director de la Unidad de Protección Civil del municipio de Pueblo Viejo, por su apoyo y ayuda en la obtención de datos de campo. Especial agradecimiento a los colaboradores Lizbeth y Lucio, quienes participaron en la alimentación y manejo de las bases de datos.

Literatura citada

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof (eds.), 2008: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 p.

Blaikie, P., T. Cannon, I. Davis, y B. Wisner, 1996. Vulnerabilidad, el entorno social de los desastres. Red de estudios sociales de prevención de desastres en América Latina. La Red, ITDG. Bogotá, Colombia.

Cardona, O. D., 2001. Holistic Approach to Seismic Risk Estimation. Natural Hazards Review. ASCE, Washington DC.

Cardona, O. D., 2005. Indicadores de Riesgo de Desastre y Gestión de Riesgos: Informe resumido. BID/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Disponible en http://idea.unalmzl.edu.co

Carreño, M. I., 2007. Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos: Acciones ex ante y ex post. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España.

CENAPRED, 2001. Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, 225 p.

CEPAL, 2003. Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los Desastres. Comisión Económica para la América Latina y el Caribe (CEPAL) y el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (El Banco Mundial). 95 p.

Clark, C., y K. Keipi, 2000. Indicators Program for Disasters Risk Management. Technical Cooperation Profile, Inter-American Development Bank, IADB, August 2000 Washington DC

Díez, H. A., y F. J. Pujadas, 2002. Mapas de inundaciones. p. 41-73. En: F.J. Ayala-Carcedo y L. Olcina Cantos (coord.). Riesgos Naturales. Editorial Ariel, S. A. Barcelona, España.

EIRD/ONU, 2007. Disaster Risk Reduction: 2007 Global Overview, Global Plataform for Disaster Risk Reduction. United Nations Organization-International for Disaster Reduction. DRR experts/practitioners. 98 p.

Herzer, H., 1998. Construcción del riesgo, desastre y gestión ambiental urbana (Perspectivas en debate). International Conference. Research Community for the Habitat Agenda. Linking research and policy for the sustainability of human settlements. Forum of Researchers on Human Settlements. Geneva, July 6-8, 1998.

IFRC, 1999: Vulnerability and Capacity Assessment. International Federation of the Red Cross and Red Crescent Societies.

INEGI, 2005a. Aspectos geográficos de Veracruz. Fisiografía [en línea]. Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Disponible en http://mapserver.inegi.gob.mx/ geografia/espanol/estados/vrz/fisiografia2.cfm.

INEGI, 2005b. XXII Censo General de Población y Vivienda 2005. Veracruz. Resultados definitivos. Datos por localidad (integración territorial). SCINCE Sistema para la Consulta de Información Censal 2005. Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. Aguascalientes, Ags, México.

IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

Lavell A., y E. Franco, 1996. Estado, sociedad y gestión de los desastres en América Latina. La RED-FLACSO-ITDG. Perú.

Massure P., y C. Lutoff, 2002. Handbook on urban system exposure (USE). Assesment to natural disaster. Project RISK-UE.

Massure, P., 2003. Variables and indicators of vulnerability and disaster risk for land- use and urban or territorial planning. IBD/IDEA Programa de Indicadores para la gestión de riesgos. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia. Disponible en http://idea.unalmzl.edu.co

Mercè B., y M. LLasat, 2005. Aplicación de una herramienta SIG en el estudio de las inundaciones en Cataluña, 1901-2000. Grupo de Análisis de situaciones Meteorológicas Adversas. Departamento de Astronomía y Meteorología. Universidad de Barcelona. Disponible en www.am.ub.es/~carmeli

Oxfam, 2007. Alarma Climática: Aumentan los desastres debidos al cambio climático. Oxfam Internacional. 31 p.

Rashed, T., y J. Weeks, 2003. Assessing vulnerability to earthquake hazards trough spatial multicriteria analysis of urban areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(6): 547-576.

Rosales, G. J., L.J. Uribe, L. G. Urbán, y S.E. Nava, 2004. Guía metodológica para elaborar atlas de peligros naturales a nivel de ciudad. Identificación y zonificación. Editores Consejo de Recursos Minerales y Secretaría de Desarrollo Social, México, 101 p.

Saaty, T. L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill Book Co., N.Y.

Salas, M. A., y M. Jiménez, 2004. Inundaciones. Serie fascículos. Centro Nacional de Prevención de desastres. CENAPRED. México. D. F. 53 p.

Taylor, C., E. Vanmarcke, y J. Davis, 1998. Evaluating models of risk from natural hazards. *In:* H. Kunreuther, y R.J. Rorth (eds.). Paying the Price. Joseph Henry Press Washington.

Posada Vanegas G., y B.E. Vega Serratos, 2010. Evaluación de zonas inundables para la ciudad de San Francisco de Campeche, p. 607-622. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Evaluación de zonas inundables para la ciudad de San Francisco de Campeche

Gregorio Posada Vanegas y Beatriz Edith Vega Serratos

Resumen

Al presentarse un ascenso en el nivel medio del mar, aunque no ocurra un incremento en la cantidad y magnitud de los eventos meteorológicos extremos, es de esperarse un aumento en las zonas costeras sujetas a peligro de inundación. En este trabajo se cuantifica, por medio de un modelo hidrodinámico de ondas largas, para condiciones actuales y futuras (considerando el escenario más desfavorable predicho por el ipcc 2007), la inundación esperada para la ciudad de San Francisco de Campeche cuando se presenta, para ambos casos, un evento meteorológico extremo de características similares. Después de realizado el análisis se observa que las zonas con mayor probabilidad de inundación, para ambos escenarios, son aquellas que corresponden a los terrenos ganados al mar en las décadas de los cincuenta y sesenta.

Introducción

En este capítulo se evalúan las zonas que pueden llegar a inundarse en la ciudad de Campeche debido al efecto de un viento norte (magnitud y dirección constantes) bajo dos escenarios diferentes de nivel medio del mar, el primero para condiciones actuales (sin variación en el nivel medio del mar), el segundo considerando un aumento de +0.59 m que corresponde al escenario más desfavorable de los previstos por el IPCC (2007, tabla 1). Dentro de los alcances de este trabajo no se analizan las causas, ya sean locales o globales, que puedan producir un aumento en el nivel medio del mar asociado al cambio climático, este análisis es abordado en otros capítulos que conforman esta obra.

La evaluación de la inundación en zonas costeras se realiza por medio de la aplicación de un modelo numérico que resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en la vertical, que además tiene la capacidad de simular el secado y mojado de celdas durante la evaluación de casos hidrodinámicos. Este modelo se aplicará al dominio topobatimétrico real de la ciudad de Campeche.

En la primera parte del capítulo se describirá brevemente el modelo numérico, posteriormente se detallará la zona de estudio, la malla numérica y los casos modelados, finalmente se analizarán y comentarán los resultados obtenidos.

Modelo numérico

En este trabajo se usa el modelo propuesto por Posada (2008), el cual resuelve sobre una malla jerárquica de tipo Quadtree las ecuaciones de aguas someras promediadas en la vertical con un

Tabla 1. Proyecciones del calentamiento de la superficie libre y aumento en el nivel medio del mar para finales del siglo XXI.

Caso	Cambio de temperatura (°C en 2090-2099 respecto a 1980-1999)		Aumento en el nivel medio del mar (m en 2090-2099 respecto a 1980-1999)
	Estimación óptima	Intervalo probable	Intervalo obtenido a partir de modelos, excluidos los cambios climáticos dinámicos rápidos futuros del flujo de hielo
Concentraciones constantes en los niveles del año 2000	0.6	0.3 – 0.9	No disponible
Escenario B1	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
Escenario A1T	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
Escenario B2	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
Escenario A1B	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
Escenario A2	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
Escenario A1FI	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

método de volumen finito por medio de una aproximación numérica de tipo Godunov de segundo orden, se utiliza el solucionador de Riemman para resolver la aproximación de Roe con la cual se determinan los flujos no viscosos, la integración en el tiempo se realiza con el método de primer orden de Adams-Bashforth.

Sistema de mallado

El modelo utiliza un sistema de mallado de tipo jerárquico, estas mallas permiten crear sistemas de celdas no estructurados que almacenan la información con una estructura similar a la de un árbol genealógico (Rogers, 2001); Las mallas son de tipo Quadtree, ya que se aplican a un dominio bidimensional, si se aplicara a un modelo tridimensional se denominarían Octree. Estas mallas son irregulares debido a que contienen celdas de diferentes tamaños en todo el dominio de cálculo, con lo cual se logra una alta definición en las zonas de interés y baja en otras partes del dominio que no son tan importantes de conocer al detalle.

Para realizar este tipo de mallado jerárquico, son necesarios dos pasos: generación inicial y regularización, los cuales se describen en Posada (2008).

Ecuaciones de gobierno

Al ser un modelo bidimensional las variables que se cuantifican para cada celda del dominio de cálculo son: la superficie libre (un valor positivo indica una posición por encima del nivel de referencia, que para este trabajo es el nivel medio del mar), y las velocidades promediadas en la vertical, tanto para las abscisas (eje X) como para las ordenadas (eje Y), al ser tres incógnitas se deben resolver igual número de ecuaciones, las cuales son:

Ecuación de continuidad

$$\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial (UH)}{\partial x}+\frac{\partial (VH)}{\partial y}=0 \qquad (1)$$

Donde: $H=h+\eta$

η	Sobrelevación de la superficie libre respecto al nivel medio del mar, [m].
h	Profundidad del fondo respecto al nivel medio del mar, [m].
U	Velocidad media en la dirección X,[m/s].
V	Velocidad media en la dirección Y, [m/s].

Ecuación de cantidad de movimiento, dirección X

$$\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial(U^2H)}{\partial x}+\frac{\partial UVH}{\partial y}=fVH-gH\frac{\partial \eta}{\partial x}+\frac{1}{\rho_0}(\tau_{xz(\eta)}-\tau_{xz(-h)})+ \quad (2)$$

$$H\varepsilon_h\left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}\right)+2H\frac{\partial U}{\partial x}\frac{\partial \varepsilon_h}{\partial x}+H\frac{\partial \varepsilon_h}{\partial y}\left(\frac{\partial U}{\partial y}+\frac{\partial V}{\partial x}\right)$$

Donde: f = factor de Coriolis,
ε_h = coeficiente de viscosidad de remolino
$\tau_{xz(\eta)}$ = esfuerzo debido al viento en la dirección X,
$\tau_{xz(-h)}$ = esfuerzo debido al fondo en la dirección X.

Ecuación de cantidad de movimiento, dirección Y

$$\frac{\partial(VH)}{\partial t}+\frac{\partial(UVH)}{\partial x}+\frac{\partial V^2H}{\partial y}=-fUH-gH\frac{\partial \eta}{\partial x}+\frac{1}{\rho_0}(\tau_{xz(\eta)}-\tau_{xz(-h)})+ \quad (3)$$

$$H\varepsilon_h\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right)+2H\frac{\partial V}{\partial y}\frac{\partial \varepsilon_h}{\partial y}+H\frac{\partial \varepsilon_h}{\partial x}\left(\frac{\partial U}{\partial y}+\frac{\partial V}{\partial x}\right)$$

Ecuaciones complementarias

Factor de Coriolis
El factor de Coriolis se calcula con la expresión:

$$f=2\omega\sin\Phi$$

Donde: $\omega = 7.3\times10^{-5}$ *rad/s* (velocidad de la Tierra)
Φ latitud de la zona de estudio

Fricción de fondo
Los esfuerzos debidos a la fricción del fondo del mar se evalúan con la expresión

$$\tau_{xz(-h)}=\rho_0 C_D|\overline{V}|U \quad (4)$$

Donde: ρ_0 es la densidad del agua de mar
C_D es el coeficiente de arrastre que es función del coeficiente de Chezy

$|\overline{V}|=\sqrt{U^2+V^2}$, módulo de la velocidad

El coeficiente de arrastre se puede calcular con

$$C_D = \frac{g}{C^2} \qquad (5)$$

Donde se calcula con la fórmula de Colebrook-White, $C = 18 \log\left(\frac{12H}{k_s}\right)$ y k_s es un parámetro que depende de la rugosidad del fondo marino, el modelo utiliza $k_s = 0.2$, como lo propone Castanedo (2000).

Esfuerzo debido al viento

Los esfuerzos debido al viento son de la forma:

$$\tau_{xz(\eta)} = C_\alpha \rho_\alpha W_x W \qquad (6)$$

Donde: $C_\alpha = 0.0026$, coeficiente de arrastre del viento (Falconer, 1994)
ρ_α, densidad del aire
W, velocidad del viento a 10 m sobre el nivel del mar
W_x, W cos θ, componente en X del viento
θ, ángulo de incidencia del viento respecto al eje X

Coeficiente de viscosidad de remolino
El modelo tiene la opción de considerar un valor constante o calcular uno variable con la expresión

$$\varepsilon_k = l^2 \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x}\right)^2 \right]^{1/2} \qquad (7)$$

Donde: $l^2 = C_s \Delta x \Delta y$;
este modelo utiliza para C_s el sugerido por Castanedo (2000) que es 0.05, pero se puede utilizar el indicado por Blumberg y Mellor de 0.1 (1987)

Inundación y secado de celdas

Para representar adecuadamente el fenómeno de inundación por marea de tormenta el modelo numérico debe permitir que las celdas del dominio se sequen o inunden según sea el caso. A continuación se detallan los tres criterios implementados para representar la inundación o secado de las celdas costeras.

Para el cálculo de las velocidades se utiliza la menor profundidad entre dos celdas vecinas. Para evaluar si una celda está seca o mojada se utiliza la profundidad y la superficie libre en el centro de esta.

Para calcular el coeficiente de fricción C de Chezy se utiliza la expresión

$$C = 18\log\left(\frac{12H}{k_s}\right) \tag{18}$$

Donde k_s es la altura de la rugosidad del lecho marino.

Por ejemplo si k_s=0.03 m, cuando H sea menor a 0.003 m el coeficiente C será 1.5, lo cual convierte a la fricción en un valor muy alto, obligando a que las velocidades del flujo sean casi equivalentes a cero.

Se implementan tres límites, para cada paso de tiempo se verifica la altura del agua Hi en cada celda del dominio y en función de su calado se realiza el secado ó mojado de la celda de la siguiente manera:

Si : $H_1 < H_{seco}$: La celda se considera seca, se anulan las velocidades y el valor de la superficie libre es igual a cero, esta celda se convierte entonces en tierra.

Si : $H_1 > H_{inund}$: La celda entra al dominio de cálculo, las velocidades se consideran iguales a cero y su superficie libre obtiene el valor del 10% de la superficie libre de la celda vecina.

Los valores de los límites de inundación y secado son los siguientes:

$$H_{seco} = 0.1\,K_s$$
$$H_{inund} = 0.5\,K_s \tag{9}$$

Zona de estudio

El modelo anteriormente descrito se aplicó a la bahía de la ciudad de San Francisco de Campeche con la finalidad de modelar un viento de magnitud y dirección constante, 120 km/h y 315° con respecto al norte, según Silva (2008), este viento está asociado a un periodo de retorno de 100 años (figura 1). El intervalo de modelación para cada uno de los dos casos analizados fue de 2 días, tiempo en el cual se alcanzó la estabilidad numérica en la solución.

La región modelada está comprendida entre las coordenadas 19°47′4.65′′, 90°37′14.63′′ y 19°52′27.79′′, 90°28′46.36′′, la batimetría se compuso de la información recabada por dos fuentes distintas, una campaña batimétrica realizada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM en 2004 (figura 2); y la carta 28265 publicada por la armada de los Estados Unidos (HYCOOP, figura 3). La topografía necesaria para evaluar las zonas propensas a inundarse se obtuvo a partir de un modelo digital de terreno con resolución de 3 m por pixel (figura 4).

La resolución máxima de las celda para las mallas numéricas de los escenarios modelados es la misma, 30.4 m para la dirección X y 18.8 m para la dirección Y, este nivel se aplicó para todos los puntos ubicados entre +2.0 m y -7.0 m en la modelación de las condiciones actuales

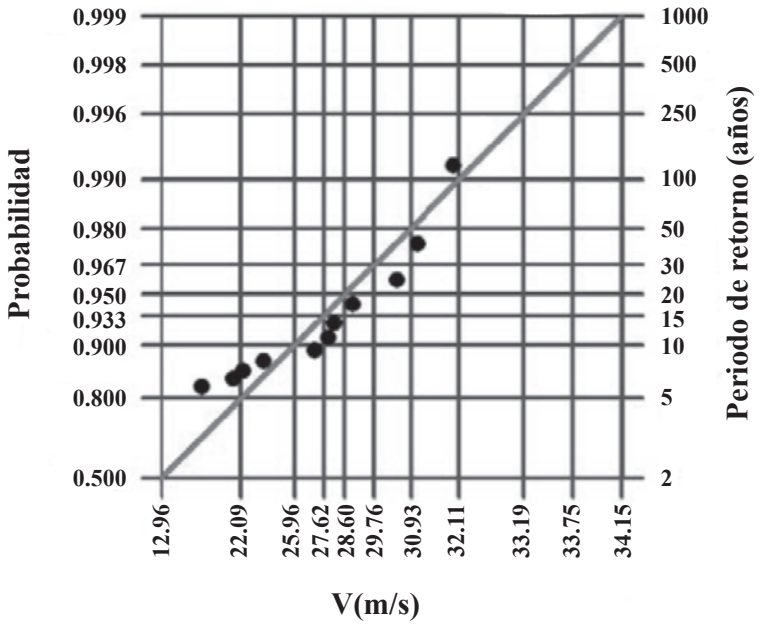


Figura 1. Régimen anual extremal de velocidades de viento sostenidos para la zona costera de San Francisco de Campeche (Ruíz *et al.*, 2008).

Figura 2. Batimetría obtenida en 2004 por el Grupo de Ingeniería de Costas y Puertos, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

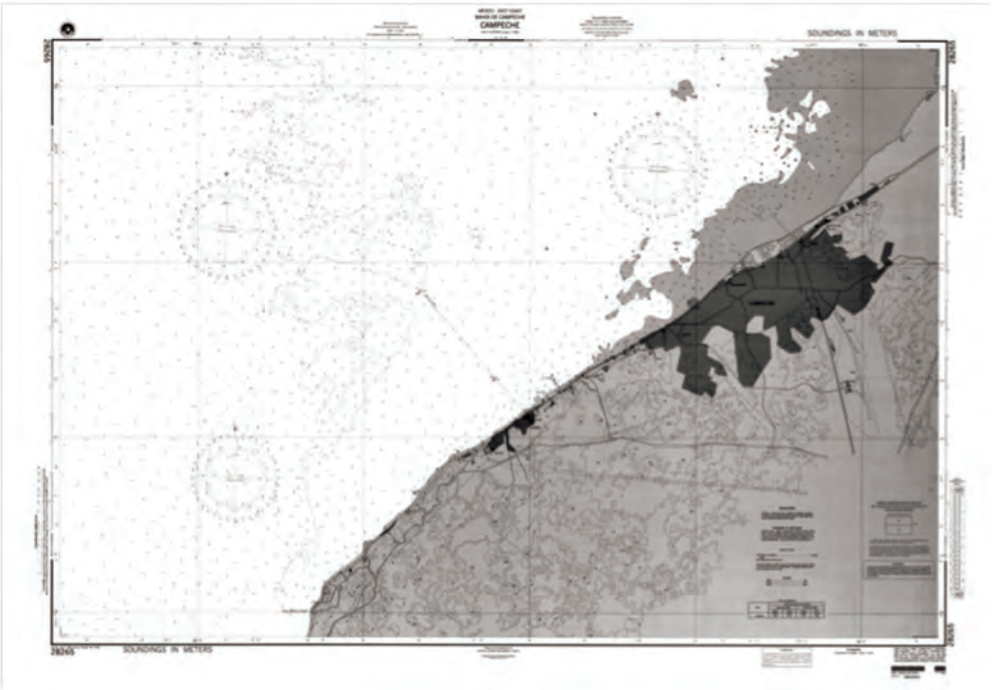


Figura 3. Carta batimétrica No 28265 de HYCOOP.

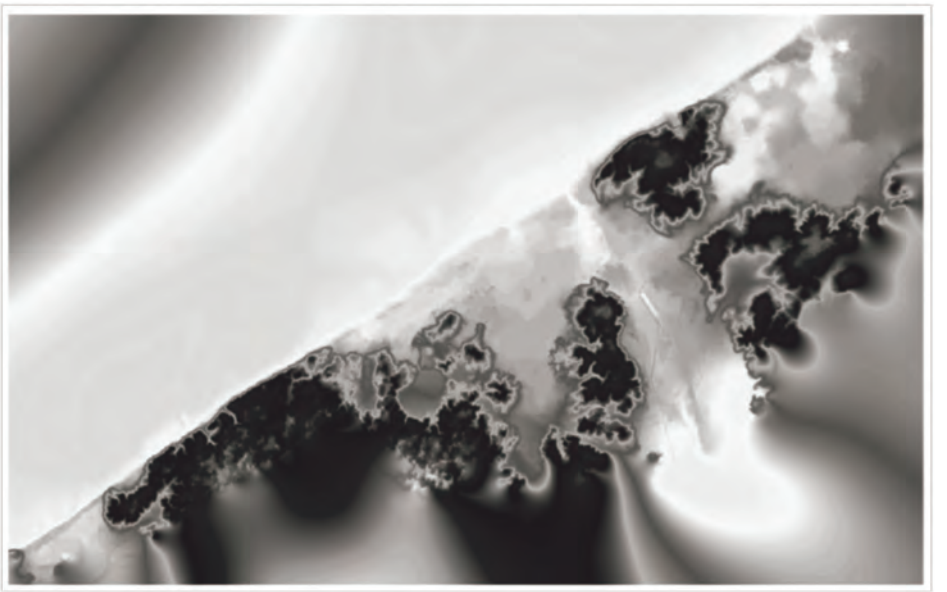


Figura 4. Modelo digital de elevaciones para San Francisco de Campeche, resolución 3m, Grupo ODI.

(caso 1); y entre 2.5 y -7.0 m para la modelación del escenario asociado con cambio climático (caso 2). Las figuras 5 y 6 representan las mallas para cada uno de los escenarios. Estas mallas están compuestas por 51 646 y 51 526 celdas, respectivamente. La línea representa la costa, se observa que salvo en la parte norte de ambas figuras, no hay desplazamiento de la costa hacia tierra adentro cuando el nivel medio del mar aumenta +0.59 m, esto debido principalmente a la protección dada por el malecón construido en la ciudad de Campeche.

El paso de tiempo utilizado fue de 1.0 s, el esfuerzo asociado al viento se incrementó paulatinamente desde 0.0 hasta su nivel máximo por medio de una función cúbica, una vez alcanzado este máximo se mantuvo constante hasta que la solución numérica fuera estable, esto es que no haya cambio en el área de inundación en un intervalo de 30 minutos.

Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los dos escenarios una vez que la solución numérica es estable. Se hace énfasis en que el único fenómeno natural modelado fue viento constante.

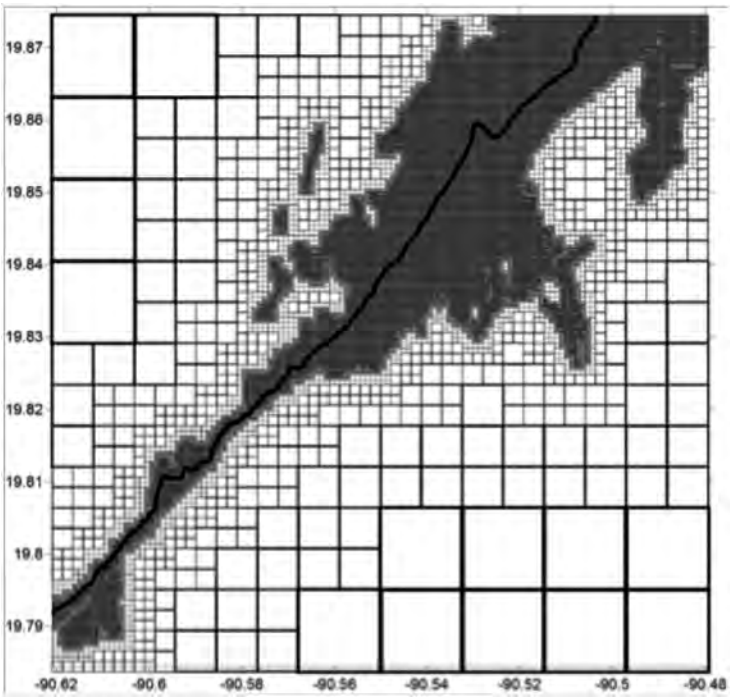


Figura 5. Malla numérica para el escenario 1, sin cambio climático.

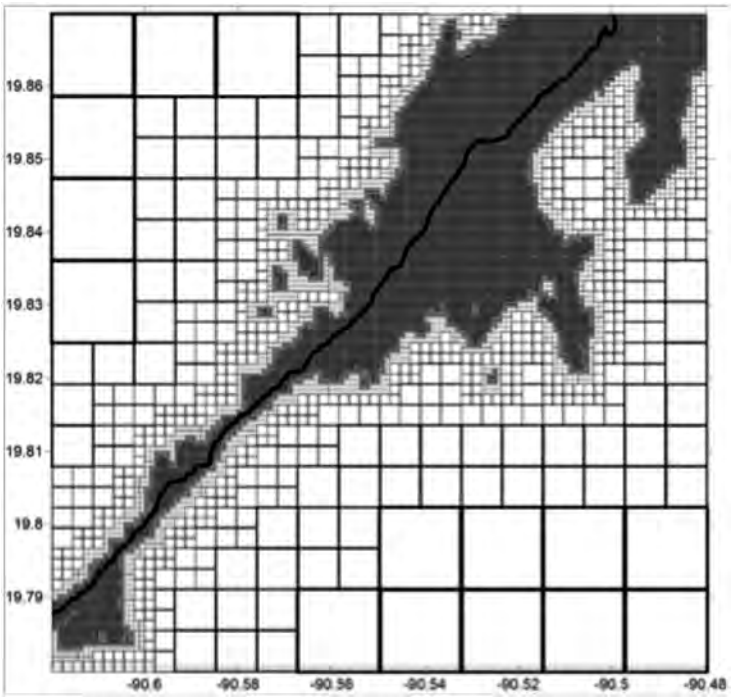


Figura 6. Malla numérica para el escenario 2, con cambio climático.

Caso 01, condición actual

En la figura 7 se presenta el valor de la superficie libre antes de que comience la inundación, esta situación se alcanza aproximadamente 4 horas después de que el viento ha llegado a su máximo. El valor máximo de la superficie libre es de 0.38 m. Las velocidades máximas son cercanas a 0.72 m/s y se ubican en las celdas cercanas a la costa (figura 8).

El nivel estable de inundación se alcanza cuando el viento máximo ha actuado durante 15 horas en la ciudad de Campeche, en la figura 9 se muestra el valor de superficie libre correspondiente a dicho instante, las mediciones están referidas al nivel medio del mar, la inundación real en las zonas costeras está entre 30 y 35 cm.

Caso 02, considerando nivel máximo de aumento en el nivel medio del mar asociado al cambio climático

Se modeló el comportamiento hidrodinámico de la bahía de Campeche bajo las mismas condiciones de viento que en el caso anterior, considerando un aumento en el nivel medio del mar de 0.59 m, como el escenario de cambio climático más desfavorable.

Para este caso antes de comenzar la inundación en la ciudad de Campeche, las velocidades son similares a las estipuladas para el caso 01 (figura 8); al igual que el valor de la superficie

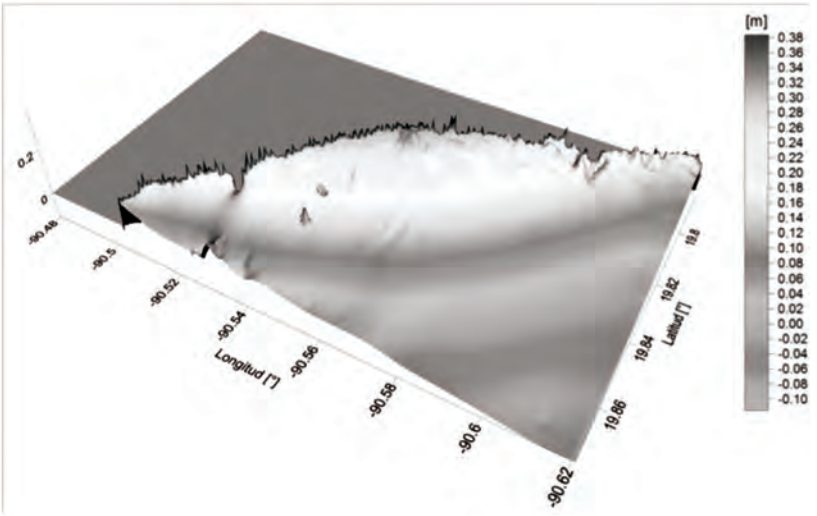


Figura 7. Niveles de superficie libre (metros) antes de comenzar la inundación.

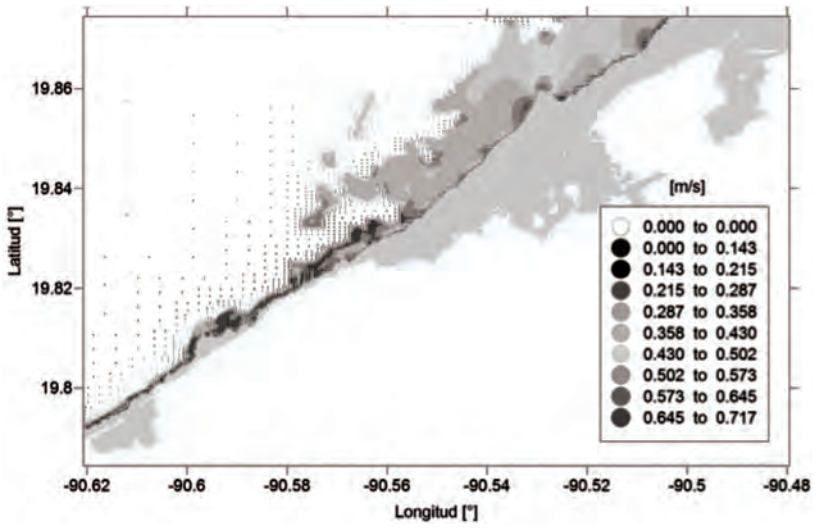


Figura 8. Valores de velocidad (m/s) antes de comenzar la inundación.

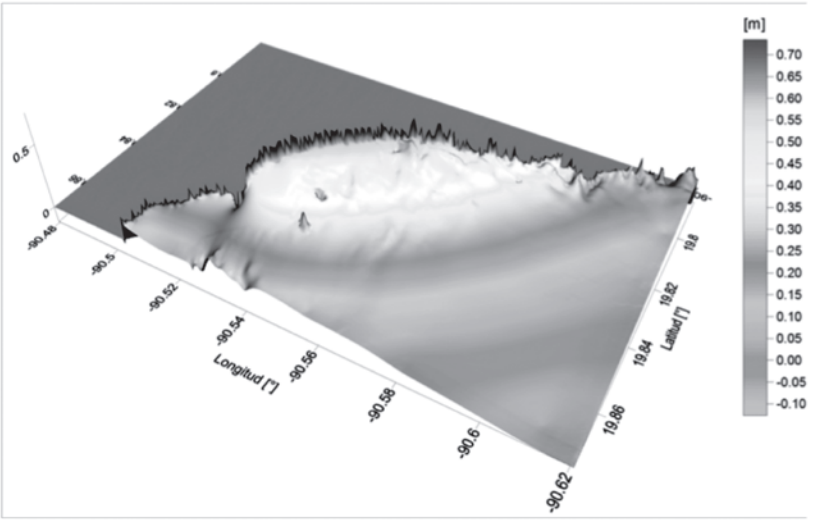


Figura 9. Niveles de superficie libre con inundación estable, caso 01.

libre del mar en el frente playero, considerando aquí que este dato está referido al nivel medio del mar de la modelación.

En las figuras 10 y 11 se presentan los valores de superficie libre y de velocidades cuando la inundación es estable, los máximos valores son cercanos a 0.60 m y 2.0 m/s para la inundación y las velocidades, respectivamente.

Con el fin de hacer una comparación entre el área inundada para el caso 01 y el caso 02, con respecto al nivel medio del mar sin cambio climático se construyó la figura 12, se aprecia la línea de costa original, y los contornos de inundación con y sin cambio climático, respectivamente. En la tabla 2 se presentan las áreas de inundación para cada uno de los casos.

Análisis de resultados

Al analizar la configuración de la línea de costa con y sin cambio climático para la ciudad de San Francisco de Campeche, se concluye que con un aumento de +0.59 m en el nivel medio del mar (sin considerar el efecto del viento), solamente la parte norte del área modelada (Los Petenes) se inunda y la ciudad no resulta afectada, esto debido a que la línea de costa está compuesta por un malecón con una altura promedio de 1.5 m que funciona para condiciones normales (*e.g.* marea astronómica y viento de baja intensidad) como obra de defensa. Es importante mencionar que este aumento de +0.59 m repercutirá en un aumento de la permanencia de agua de mar debido a la marea astronómica en los manglares de la zona norte, por lo que estos sufrirán los efectos correspondientes.

Para el caso 01 comienza la inundación de la ciudad de Campeche 5 horas después de que el viento está actuando con su máxima intensidad, para el caso 02 este lapso de tiempo dismi-

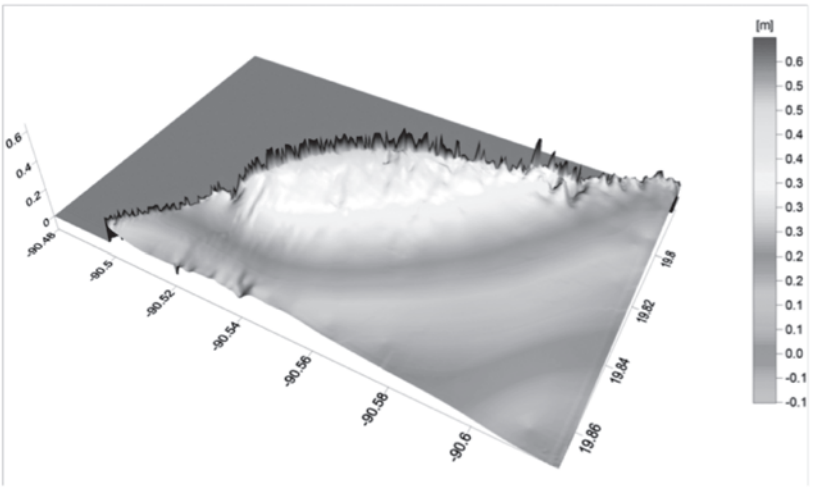


Figura 10. Niveles de superficie libre con inundación estable, caso 02

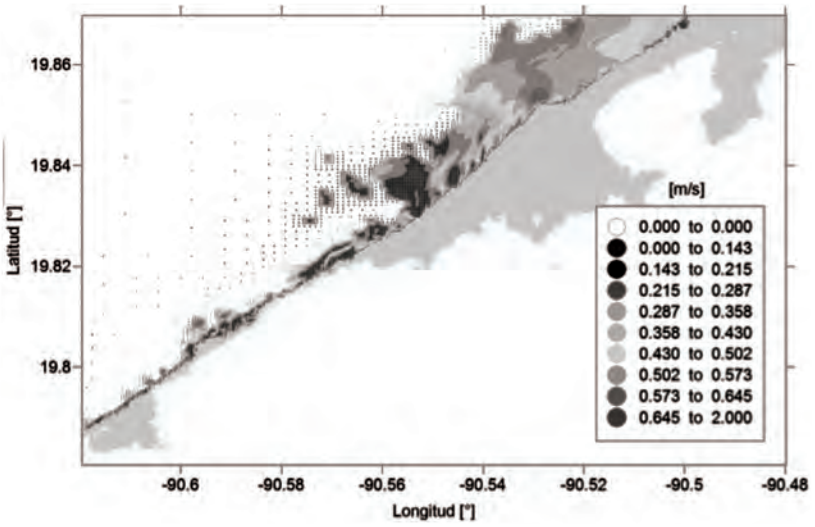


Figura 11. Valores de velocidad con inundación estable, caso 02.

Figura 12. Comparación gráfica entre inundaciones para viento constante con y sin cambio climático.

Tabla 2. Comparación entre inundaciones asociadas a viento constante con y sin cambio climático.

Condición	Área (m2)
Caso 01, condición actual	475 574
Caso 02, ascenso de +0.59 m asociado al cambio climático	1 575 493

nuye a 3 h, a partir del momento en que la inundación ocurre, el área que se inunda en el caso asociado a cambio climático es 3 veces superior a la que ocurriría para las condiciones actuales. Las principales áreas que se inundan son: Los Petenes, zona comercial Akim-Pech y la parte central (zona amurallada), los dos últimos son terrenos ganados al mar entre los años 50 y 60 con la construcción del primer malecón.

El viento modelado corresponde a la condición esperada para un periodo de retorno de 100 años, vientos correspondientes a periodos de retorno menores producirán niveles de inundación inferiores, el análisis extremal de viento se obtuvo para registros y modelaciones ocurridas en el periodo 1948 a 2007, por lo que debe actualizarse permanentemente para evaluar su variación conforme a la ausencia u ocurrencia del cambio climático.

La ciudad de Campeche carece de corrientes superficiales permanentes, cuando llueve su drenaje es a través de canales construidos para este fin (*e.g.* Ría de San Francisco). Para mejorar el análisis realizado en este trabajo se debe considerar la inundación producida por el desbor-

damiento del agua que llevan estos canales, ya que un nivel de marea de tormenta de +0.60 m funciona como un tapón que obliga a que el nivel del agua en los caudales aumente, ocasionando por lo tanto inundaciones en zonas alejadas de la línea costera.

Agradecimientos

Los autores reconocen y agradecen la ayuda otorgada por la Bióloga Areli Assenett Martínez Reyes y el M.A Ramón Zetina Tapia para la elaboración de este trabajo. De manera muy especial agradecen a la Dra. Evelia Rivera Arriaga la oportunidad de ser partícipes de esta obra, así como su paciencia en otorgarnos múltiples ampliaciones del plazo para entregar este capítulo.

Literatura citada

Blumberg, A.F., y G.L. Mellor, 1987, A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. Three-dimensional coastal ocean models. Ed N.S. Heaps, American Geophysical Union. Washington DC.

Castanedo, S., 2000. Desarrollo de un modelo hidrodinámico tridimensional para el estudio de la propagación de ondas largas en estuarios y zonas someras. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria.

Falconer, R.A., 2004. An introduction to nearly-horizontal flows. p. 27-36. *In:* M.B. Abbott and W.A. Price (eds.). Coastal, Estuarial and Harbour Engineer´s Reference Book, , Chapman & Hall, Londres.

IPCC, 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

Posada, G., R. Silva, y R. Medina, 2008. Modelo numérico tridimensional para transporte de un contaminante conservativo. *Ingeniería Hidráulica en México segunda época*, IMTA, XXIII (1): 5-19, II época.

Ruiz, G., Mendoza, E., Silva, R., Posada, G., Pérez, D., Rivillas, G., Escalante, y E., Ruíz, F., 2008. Caracterización del régimen de oleaje y viento de 1948-2007 en el litoral mexicano. *Revista de Ingeniería del Agua*, 16(1).

Rogers, B., 2001. Refined localised modelling of coastal flow features using adaptive quadtrees grids. Tesis Doctoral., University of Oxford.

Silva, R., *et. al.*, 2008. Atlas Oceanográfico de clima marítimo de la vertiente Atlántica mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México.

Sosa Ferreira, A.P., 2010. Condiciones socioeconómicas y vulnerabilidad de la península de Yucatán. p. 623-638. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Condiciones socioeconómicas y vulnerabilidad de la península de Yucatán

Ana Pricila Sosa Ferreira

Resumen

La península de Yucatán constituye una de las principales áreas amenazadas por los efectos del cambio climático: el incremento en el número y fuerza de eventos meteorológicos y la posible elevación del nivel del mar (Rowley *et al.*, 2007) constituyen amenazas a sus costas. La Organización Mundial del Turismo (OMT o UNWTO), señala al Gran Caribe como una de las regiones en mayor riesgo por los efectos del cambio climático (UNEP-WMO-UNWTO, 2008). A su vez, tanto el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, IPCC, como el Informe Stern (2006) indican que la península de Yucatán está altamente amenazada por esos efectos. Ante esto, en este apartado se revisan las características sociodemográficas de la población de la costa de la península, para aportar datos en la definición de su grado de exposición ante esas amenazas como uno de los elementos que definen su vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático (CC). De acuerdo a los datos presentados, existe una concentración demográfica importante con un alto crecimiento de la población en la costa de la península de Yucatán. Las comunidades costeras presentan un grado de exposición que favorece aún más el nivel de vulnerabilidad: la presencia de zonas bajas a lo largo de la costa, una creciente población costera a 30 o menos kilómetros del litoral y las condiciones sociales de marginación de la misma, son los elementos que propician un grado de vulnerabilidad de medio a alto (Salles *et al*., 2006). Para el análisis de la vulnerabilidad de las comunidades en la costa de la península, será necesario continuar examinando otros elementos como son las capacidades sociales, institucionales e individuales para aplicar medidas de prevención y adaptación.

Introducción

El cambio climático implica repercusiones y responsabilidades en todas las actividades y para todas las áreas geográficas, lo que exige un análisis cuidadoso en cada tema y al mismo tiempo de forma integrada. La península de Yucatán constituye especialmente un área prioritaria a la luz de sus características sociogeográficas y el nivel de riesgo ante los posibles efectos del cambio climático. Requiere entonces de análisis desde las diversas disciplinas y sobre las distintas implicaciones. Este trabajo* realiza una revisión de las características sociodemográficas de las comunidades costeras de la Península, como un elemento importante y un primer paso para determinar el nivel de exposición de esta población ante las amenaza para ayudar a definir el nivel de riesgo. Para ello se realizo una investigación bibliográfica y documental, así como un levantamiento en campo.

Los conceptos generales que son asumidos en este texto son los siguientes:

"*El cambio climático se refiere a una variación estadísticamente significativa en el estado o bien la media del clima o en de su territorio (micro-local) o temporal (estacional) de la variabilidad, que persiste por un período prolongado (normalmente, décadas o más)." El cambio climático puede deberse a procesos naturales internos o los forzamientos externos (por ejemplo, la fluctuación en la energía solar), o los cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra... "La mitigación del cambio climático se refiere a los cambios tecnológicos, económicos y sociales, así como las sustituciones para reducir las emisiones*". (OMT, 2007)

"La vulnerabilidad es la probabilidad de que una comunidad, expuesta a una amenaza natural, pueda sufrir daños humanos y materiales según el grado de fragilidad de sus elementos: infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta, grado de organización. La suma de la amenaza natural y la vulnerabilidad, determinan el riesgo". (CEPAL-BID, 2000).

La península de Yucatán: amenazas y exposición

La península de Yucatán constituye un área principal amenazada por los efectos del cambio climático: el incremento en el número y fuerza de eventos meteorológicos (tormentas tropicales, huracanes y las lluvias asociadas) y la posible elevación del nivel del mar (Rowley *et al.,* 2007) constituyen amenazas a sus costas. La OMT señala al Gran Caribe como una de las regiones en mayor riesgo por los efectos del cambio climático (UNEP-WMO-UNWTO, 2008). Tanto el Panel Intergubernamental, como el Informe Stern (2006) indican que la península de Yucatán

*Este trabajo es parte de los avances del proyecto para la Red de Cambio Climático del Sureste de México, apoyado por Promep. Agradezco el apoyo de la Lic. Perla Fragoso y de la estudiante María del Mar Rosete.

está amenazada por esos efectos. Los atlas de riesgos de los estados que integran la península lo señalan de la misma manera. Ante esto, y para el interés de este trabajo, resulta importante revisar el grado de exposición de la población costera de la península de Yucatán y de las actividades económicas en el área (figura 1).

En este apartado, se revisarán las características sociodemográficas de la población de las costas de la península, para aportar datos en la definición del su grado de exposición ante las amenaza, mismas que definen su vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático (CC).

Se parte de conceptos de las instituciones internacionales (ONU, PNUD, IPCC) y nacionales (Semarnat), y que la CEPAL (CEPAL-BID, 2000) resume con claridad: Una amenaza es la probabilidad de que ocurra un evento (como fenómenos naturales), en un espacio y momento determinado, y que pueda causar daño. Por otro lado, la vulnerabilidad se refiere a la probabilidad de que, debido a la intensidad del evento y a la fragilidad de los elementos expuestos, ocurran daños a la economía, a los seres humanos y al ambiente. Los "elementos expuestos" son la infraestructura, vivienda, actividades productivas, capacidad de organización institucional y social para enfrentarlo y el desarrollo político-institucional. El riesgo es la relación entre amenaza y vulnerabilidad; está definida por las capacidades de prevención y respuesta o la ausencia de ellas (CEPAL-BID, 2000). Este trabajo se concentra en la vivienda y otras condiciones socioeconómicas, así como las actividades productivas que definen en parte el grado de exposición ante las amenazas.

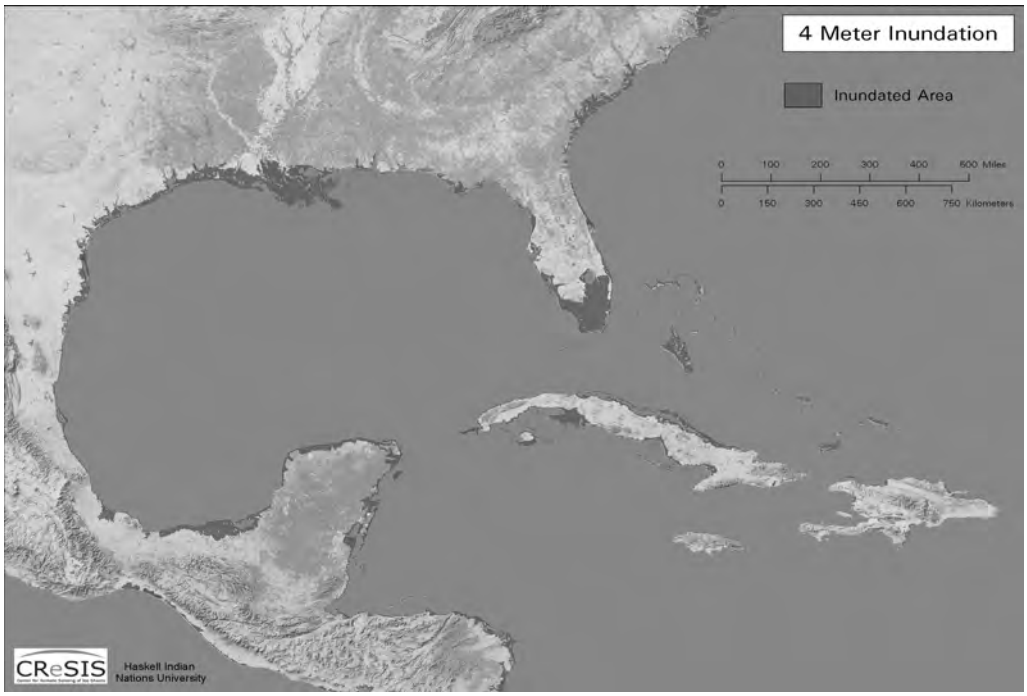


Figura 1. Afectación en el Caribe por la elevación del nivel del mar en 4 m.
Tomad de: https://www.cresis.ku.edu/data/sea-level-rise-maps?quicktabs_3=0#quicktabs-3.

La discusión respecto de la adaptación ante el cambio climático es intensa y relevante. León Diez (2009) señala que los países desarrollados cuentan con análisis y planes fundamentados y detallados al respeto, mientras que los países en desarrollo deben aún avanzar en construir sus metodologías y sus planes en este tema. El Banco Mundial también ha promovido la atención a este tema vinculado a los Objetivos del Milenio y proponiendo apoyo de los países desarrollados hacia los subdesarrollados en este tema. Desde la OCDE se trabaja para que los países cuenten con su Plan Nacional de Adaptación para el Cambio Climático. Un primer paso, sin embargo, es realizar los diagnósticos, incluyendo la revisión de las condiciones de los asentamientos humanos.

De manera idónea, las medidas de adaptación incluyen no solamente la previsión de las amenazas de fenómenos naturales que ya se observan, sino también las medidas que anticipan futuros efectos derivados del cambio climático (Semarnat, 2007a y b). Para ello, se establece el comportamiento histórico del clima, los escenarios del futuro mediato y de largo plazo y a partir de ello cuáles son las opciones de adaptación y las políticas que deben asegurarlas. Para León Diez (2009), el caso de Francia es ejemplar al establecer la siguiente propuesta conceptual para la adaptación:

a) Un acercamiento intersectorial (agua, riesgos, salud y biodiversidad);
b) Un acercamiento basado en visiones sectoriales (agricultura, energía e industria, transporte, construcción y turismo);
c) Un acercamiento basado en ecosistemas (urbano, costa, montañas, bosques).

Para el análisis de las vulnerabilidad y adaptación, también existen propuestas que estudian las capacidades para aplicar medidas de adaptación; es decir, están dirigidas a evaluar las capacidades sociales, institucionales e individuales en las comunidades a ser analizadas, que hacen viable la aplicación de las medidas (Landa *et al.*, 2008). En esta línea, los elementos que permiten desarrollar esas capacidades son: la posibilidad de crear políticas nacionales e implementarlas, de generar conocimiento, de contar con un marco legal que lo facilite, existencia de espacios participativos de legislación y políticos y marco internacional. Estos elementos complementarían un marco general de análisis de la adaptación; no obstante, los alcances de este trabajo se encuentra en una fase inicial de nivel de exposición de las comunidades, de acuerdo a sus condiciones sociodemográficas, dejando los otros elementos para un avance posterior.

La costa de la península de Yucatán

Conformada por los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, la costa de la península de Yucatán tiene una extensión de 1 941 kilómetros lineales y cuenta con una población de más de tres millones de habitantes. De las tres entidades federativas que abarca, Quintana Roo es la que tiene un litoral más extenso con 865.22 km. El segundo lugar lo ocupa Campeche, ubicado en la parte suroeste de la Península, con un litoral de 523 km. El estado de Yucatán, ubicado en la parte central del litoral, es el que tiene el territorio costero más reducido, pues cubre una extensión de 365 km (figura 2).

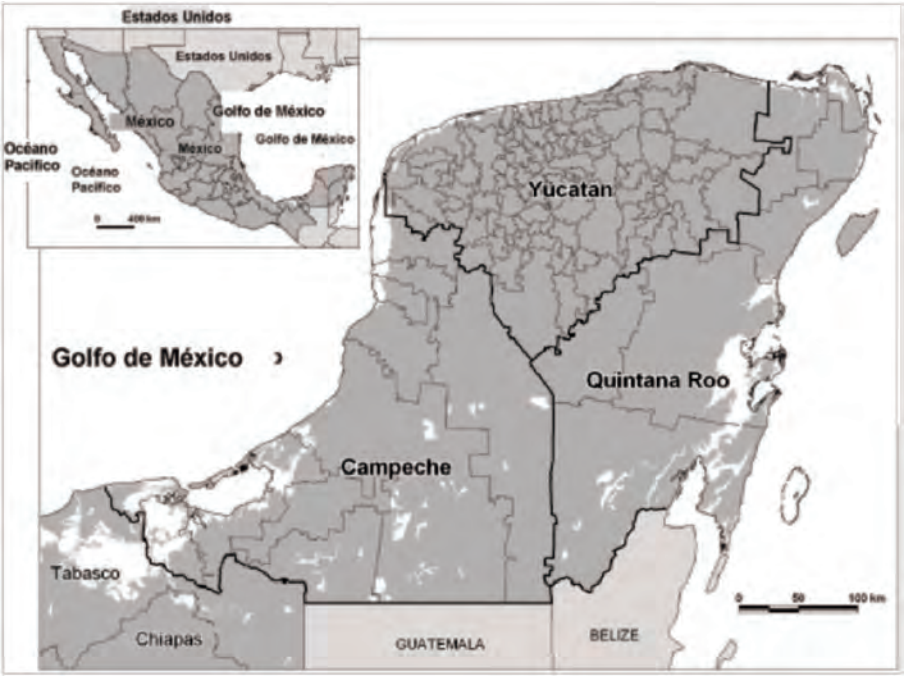


Figura 2. División estatal y municipal de la península de Yucatán.
Fuente: Laboratorio de Geografía, Universidad de Laval.

En Quintana Roo casi todos los municipios son costeros -7 de 8[1]- y en Campeche lo son más de la mitad -7 de 11[2]-, en Yucatán únicamente 13 de los 106[3] municipios están ubicados en la costa (tabla 1). Pese a que Yucatán es el estado con mayor población total, la población de los municipios costeros es mucho más grande en Campeche y Quintana Roo. En Yucatán, a excepción de tres municipios costeros entre los cuales Tizimín es el más poblado, los otros 10 cuentan con menos de 10 000 habitantes, mientras que en Quintana Roo todos sobrepasan este número: el más pequeño es Isla Mujeres con 13 315 y el más grande Benito Juárez -que incluye la ciudad de Cancún- con más de medio millón de habitantes (Doyon *et al.,* 2009).

Como se aprecia en el tabla 1, mientras que tres municipios costeros del estado de Yucatán –Dzilam de Bravo, Sinanché y Yobaín- presentan una tasa de crecimiento anual negativa, los municipios de Solidaridad y Benito Juárez en Quintana Roo tienen una tasa elevada, de las más altas a nivel nacional, lo que se relaciona con la actividad turística que constituye un factor de atracción.

[1] Lázaro Cárdenas, benito Juárez, Isla Mujeres, Solidaridad, Cozumel, Felipe Carrillo Puerto y Othón P. Blanco.
[2] Calkiní, Campeche, Carmen, Champotón, Hecelchakán, Tenabo y Palizada.
[3] Celestún, Hunucmá, Progreso, Dzemul, Ixil, Telchac Puerto, Sinanché, Yobaín, Dzidzantun, Dzilam de Bravo, San Felipe, Río Lagartos y Tizimín.

Tabla 1. Población de los municipios costeros de la península de Yucatán en 2005. Fuente: Inegi, II Conteo de Población y Vivienda 2005.

Municipio costero	Población total	Residentes en localidades de 2,500 y más habitantes (%)	Tasa media de crecimiento anual 2000-2005 (%)
Campeche			
Entidad	754 730	74.0	1.6
Calkiní	49 850	74.7	1.1
Campeche	238 850	90.6	1.7
Carmen	199 988	86.4	2.7
Champotón	76 116	62.7	1.3
Hecelchakán	26 973	67.3	1.4
Tenabo	9 050	76.6	1.3
Palizada	7 903	- -	1.7
Yucatán			
Entidad	1 818 948	83.0	1.6
Celestún	6 269	99.6	0.6
Dzemul	3 263	93.8	0.6
Dzidzantún	8 165	99.4	0.6
Dzilam de Bravo	2 248	0.0	-1.2
Hunucmá	28 100	91.6	1.4
Ixil	3 598	98.3	1.9
Progreso	49 454	94.2	0.2
Río Lagartos	3 272	0.0	1.2
San Felipe	1 838	0.0	0.0
Sinanché	2 972	0.0	-0.4
Telchac Puerto	1 626	0.0	0.4
Tizimín	69 553	68.1	1.4
Yobaín	2 056	0.0	-0.1
Quintana Roo			
Entidad	1 135 309	85.6	4.7
Cozumel	73 193	97.6	3.5
Felipe Carrillo P	65 373	54.3	1.4
Isla Mujeres	13 315	83.7	2.9
Othón P. Blanco	219 763	73.0	1.0
Benito Juárez	572 973	96.4	5.6
Lázaro Cárdenas	22 357	28.6	1.6
Solidaridad	135 589	89.3	14.2

El papel de la costa en la economía peninsular fue marginal hasta la segunda mitad del siglo XX, cuando se desarrolló el sector pesquero (sin contar las rutas comerciales que abastecían la zona). En las últimas décadas del siglo XX y la primera del XXI, actividades tales como la industria maquiladora, la petrolera y el turismo internacional dominan el panorama económico. Las dos últimas fuertemente vinculadas al litoral.

Como señala Córdoba (2009), actualmente subsiste el "grupo de explotación económica tradicional", que comprende la explotación de los viejos recursos conocidos en la costa de la península de Yucatán, como la sal y la pesca-; y un segundo grupo, que ha adquirido mayor fuerza, está centrado en una nueva forma de explotación de recursos: el petróleo y el turismo. El impacto de la explotación petrolera en la Península es aún limitado y se circunscribe a Ciudad del Carmen y sus inmediaciones (Villalobos y Rivera, 2009), mientras que el turismo ha tenido ya un impacto sociogeográfico extendido en todo el litoral.

El proceso de reconversión económica, iniciado en la década de los setenta se ha acelerado. Actualmente los tres estados que la conforman, cuya población representa el 3.59% de la federación, aportan ya el 4.20% del PIB mexicano y han logrado diferenciarse de otros estados del sur del país cuyas poblaciones permanecen en la marginalidad. En este contexto, la península de Yucatán ha recobrado cierta centralidad geoestratégica al llevar a cabo procesos de reconversión económica.

Datos relativos al medioambiente

Respecto a sus características geofísicas, el litoral de la Península es del tipo de isla de barrera, es decir, aquél en el que la acumulación de los sedimentos ha dado lugar a la formación de una extensa isla sedimentaria, paralela a la línea de costa continental, y con lagunas costeras someras y humedales que las separen entre sí (Capurro, 2003). El gran desarrollo urbano tiene lugar en ambos ambientes, aunque predomina el de la isla de barrera por la presencia de playas directamente frente al mar. El litoral caribeño responde al mismo tipo de evolución aunque cuenta además con la presencia de una extensa barrera de arrecifes de coral. Además de constituir la principal atracción marina turística, esta barrera actúa como rompeolas y amortigua la erosión marina generada por las olas y corrientes (Ortiz y de la Lanza, 2006). El litoral quintanarroense y campechano presentan al sur las áreas de costa bajas, con el mayor riesgo de inundación ante lluvias abundantes (*e.g.* huracanes) y ante la posible elevación del nivel del mar.

Actualmente, más del 18% de la Península está catalogado como espacio natural protegido. Esta superficie, que representa 2 639 161 ha, incluye grandes extensiones interiores, como la Reserva de la Biosfera de Calakmul, pero concierne sobre todo a arrecifes coralinos y espacios insulares y litorales con frentes costeros de gran longitud (Laguna de Términos, Petenes, Ría Celestún, El Pamar, Dzilam, Ría Lagartos, Yum Balam, Sian Ka'an y Uaymil), además de los parques marinos.

Una característica muy importante del litoral de la península de Yucatán, tanto desde la perspectiva ecológica como económica, es la existencia de un sistema de lagunas y ciénagas a

lo largo de la toda la costa; en total son 13 600 ha de aguas protegidas. Las lagunas costeras tienen gran importancia en el entorno natural de la costa yucateca y para sus pobladores: por un lado –como zona de transición entre el ambiente acuático y el terrestre- estos cuerpos de agua paralelos a la costa y comunicados con el mar son de una enorme productividad gracias a los aportes de nutrientes y materia orgánica que se generan en ellos.

La seguridad, la salud, y el desarrollo económico y social en la península de Yucatán requieren incorporar en la planeación y gestión, los análisis relativos al cambio climático global (CCG) y sus efectos en el medio ambiente, especialmente en las zonas costeras (ipcc, www.ipcc.ch/). El sureste de México es la región del país con mayor vulnerabilidad a sus efectos, al menos en lo que se refiere a la posible elevación del nivel del mar; es también vulnerable ante los huracanes, tormentas e inundaciones; lo que exige una planificación del uso del territorio, el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías y la participación informada de la sociedad. El PIDM (2009) considera que no es posible evitar los riesgos, pero si es factible reducir sus efectos si se cuenta con una buena planificación con base en información oportuna y confiable.

Por otra parte, además de la abundancia y variedad de fauna –aves y peces- que habitan las lagunas costeras, éstas se aprovechan para el turismo y la recreación, como puertos de abrigo, para la obtención de madera y tanino del manglar, para la extracción de sal y, de manera incipiente, para la acuacultura. No obstante, del mismo modo que son ecosistemas muy productivos, las lagunas costeras son también muy frágiles y vulnerables ante cualquier alteración de sus ciclos naturales.

De acuerdo a Salles *et al.* (2006), la amenaza de los fenómenos meteorológicos, en las zonas bajas del área y con una población costera importante, en condiciones sociales poco favorables, reúne los elementos para que se presente un grado de vulnerabilidad de medio a alto. Los elementos determinantes son: déficit de vivienda, condiciones débiles en su construcción, con deficiencia de servicios (agua entubada, drenaje, electricidad). La amenaza de que el área reciba tormentas tropicales o huracanes de categoría 1 o dos son bajas a medias y media a alta para recibir huracanes más fuertes (categoría 3 o 4 más). El Atlas de Riesgos (Salles *et al.*, 2009) define que los riesgos por marea de tormenta son medios y altos.

Condiciones socioeconómicas en Yucatán

En 2005, de acuerdo con el II Conteo de Población y Vivienda, la población total en el conjunto de las municipios costeros de Yucatán ascendía a 184 419 habitantes, una población que se ha multiplicado 4.5 veces desde 1940 (tabla 3). Tres municipios concentran al 79.8% de esta población: Tizimín (38.1), Progreso (27.1) y Hunucmá (15.4), que son, en números absolutos, también los municipios cuyas poblaciones han crecido más desde aquél año, como puede apreciarse en la tabla 3. La población restante se distribuye en los otros 10 municipios costeros, de los cuales solamente Dzinzantún y Celestún, que a pesar del rápido crecimiento de éste último en las últimas dos décadas, apenas superan el 3%.

Tabla. 2. Municipios costeros de Yucatán
Grado de marginación e indicadores socioeconómicos, 2005

	Grado de marginación %	Población analfabeta de 15 años o más %	Población sin primaria completa de 15 años o más %	Población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios mínimos
Dzemul	Alto	16.5	43.7	77.5
Hunucmá	Alto	15.0	40.0	75.3
Ixil	Alto	11.5	36.0	78.2
Sinanché	Alto	17.2	43.8	80.1
Tizimín	Alto	18.3	45.2	75.2
Celestún	Medio	10.7	50.0	76.3
Río Lagartos	Medio	7.0	42.0	65.2
San Felipe	Medio	6.8	38.9	70.0
Telchac Puerto	Medio	11.5	38.6	71.5
Dzilam de Bravo	Medio	6.9	33.0	72.9
Yobaín	Medio	13.3	39.1	79.0
Progreso	Bajo	5.2	22.8	53.6
Dzidzantún	Bajo	9.5	31.2	63.6

Fuente: Indices de marginación (Conapo, 2005).

Una parte importante de la población de los municipios costeros de Yucatán vive en condiciones de marginación, es decir, no participa adecuadamente del acceso a bienes y servicios esenciales. De acuerdo con las estimaciones elaboradas en 2005 por el Consejo Nacional de Población (Conapo, 2005) a partir de la consideración de una serie de dimensiones socioeconómicas entre las que se encuentran educación, vivienda, ingresos y distribución de la población, solamente dos municipios de la costa yucateca (Didzantún y Progreso), tienen un bajo grado de marginación, mientras que seis (Celestún, Río Lagartos, San Felipe, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, Yobaín) tienen un grado de marginación medio y cinco un alto grado de marginación (Dzemul, Hunucmá, Ixil, Sinanché, y Tizimín). De acuerdo al Conteo de 2005 (INEGI, 2006), a excepción de Tizimín y Dzidzantún, todos los municipios costeros se encuentran con algún grado de marginación.

La costa de Campeche

Ubicado en la parte suroeste de la península de Yucatán, el estado de Campeche tiene un litoral de 523 km, con numerosos pantanos y ciénagas, que se amplía con la laguna de Términos en la zona interior, la cual tiene más de 60 km de longitud.

Desde el punto de vista físico, Campeche se encuentra en una posición de transición entre la selva tropical del Petén guatemalteco y la selva baja caducifolia del extremo norte de la Penín-

Tabla 3. Yucatán: grado de marginación e indicadores socioeconómicos, 2005.

Municipio %	Ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario %	Ocupantes en viviendas sin energía eléctrica %	Ocupantes en viviendas sin agua entubada %	Viviendas con algún nivel de hacinamiento %	Ocupantes en viviendas con piso de tierra
Dzemul	24.0	0.6	3.5	50.4	1.1
Hunucmá	33.2	1.0	22.6	63.9	2.5
Ixil	46.2	1.9	8.2	62.5	2.0
Sinanché	4.3	1.3	3.0	51.5	3.9
Tizimín	5.5	5.2	4.7	61.7	12.4
Celestún	3.6	4.0	1.3	59.6	8.9
Río Lagartos	1.7	2.2	2.4	58.0	1.8
San Felipe	1.9	3.5	2.6	48.1	2.0
Telchac Pto.	3.5	1.1	2.1	52.2	1.9
Dzilam de B.	5.1	1.3	2.0	55.8	1.3
Yobaín	1.9	0.9	0.8	56.3	1.2
Progreso	3.1	0.9	1.2	47.5	1.7
Dzidzantún	7.7	1.7	15.5	51.1	1.1

Fuente: Conapo, Índices de marginación 2005.

sula. Campeche forma parte de la gran laja caliza que es la península de Yucatán, su territorio es una planicie ligeramente ondulada con una suave inclinación que desciende de sur a norte, dividida en dos partes. Al sur sobresale la meseta de Zoh Laguna, que se eleva unos 300 m sobre el nivel del mar y desciende al este y al oeste por medio de bruscos escalones. Hacia el sur se une con la planicie del Petén, que es una zona de ondulaciones o bajas colinas, entre las que se encuentran grandes bajos o akanchés.

A pesar de ser el estado más grande de la península (57 924 km^2), también es el menos poblado (754 730 habitantes (Conapo, 2005)). Campeche está divido en once municipios: Calakmul, Escárcega, Hopelchén, Candelaria, Carmen, Campeche, Calkiní, Champotón, Hecelchakán, Palizada y Tenabo; los últimos siete son costeros.

Todos los ríos -excepto el Champotón- y lagunas que posee Campeche se concentran en la zona suroeste: Palizada, Chumpán, Candelaria, Mamantel, que desembocan en la laguna de Términos; además del río San Pedro, que es un brazo del Usumacinta y que desemboca en el Golfo de México. Laguna de Términos es un área inundable.

Así, a raíz del descubrimiento y explotación de los yacimientos de petróleo de Campeche, Ciudad del Carmen se convirtió en el centro administrativo de actividades de Petróleos Mexicanos en la región. La fuerte migración resultado de esta situación, provocó un crecimiento acelerado de la población y la superficie urbana: la tasa de expansión creció 0.08% a 1.7% entre 1970 y 1990 (Villalobos y Rivera, 2009).

Este proceso ha favorecido las disparidades entre las microregiones. Como señalan Villalobos y Rivera (2009), la industria petrolera por su magnitud, complejidad, dinamismo y encadenamiento con el resto de la economía-, es capaz de generar, por un lado, efectos positivos multiplicadores muy significativos tanto a escala regional como nacional en el empleo, el avance tecnológico, la formación de capital humano y el desarrollo de otras actividades productivas, pero también por otro lado, acciones de tal dimensión e intensidad que afectan drásticamente el ambiente de zonas que, como las tropicales, son sistemas naturales sumamente frágiles. Al menos en el municipio del Carmen, el campo y la pesca disminuyen su importancia relativa, mientras que el sector urbano industrial crece con base en un nuevo circuito socioeconómico.

Campeche es uno de los estados del país con mayores índices de marginación; en el contexto nacional, ocupa el octavo lugar. De los once municipios del estado, cinco tienen grado de marginación alto. Como se desprende de la tabla 4, Campeche y Carmen son los municipios que concentran la mayoría de los servicios públicos y la actividad económica del estado. Por el contrario, municipios como Candelaria, Calakmul, Hopelchen, Palizada y Tenabo, tienen los promedios más bajos de escolaridad y de acceso a servicios básicos. Los municipios costeros se presentan en negritas.

Tabla 4. Campeche: grado de marginación por municipio, 2005.

Municipio	% Población analfabeta de 15 años o más	% Población sin primaria completa de 15 años o más	% Ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario	% Ocupantes en viviendas sin energía eléctrica	% Ocupantes en viviendas sin agua entubada	Grado de marginación y lugar estatal
Estado	10.20	26.96	9.85	4.85	11.15	
Calakmul	22.07	45.73	11.09	18.94	38.25	Alto (1)
Candelaria	17.90	44.05	13.32	25.15	18.24	Alto (2)
Hopelchén	15.86	33.93	37.63	10.14	8.73	Alto (3)
Palizada	12.21	37.16	4.78	7.75	36.39	Alto (4)
Tenabo	14.69	33.66	44.26	5.75	6.81	Alto (5)
Champotón	14.12	37.36	11.91	3.94	12.08	Medio (6)
Escárcega	14.68	37.40	7.87	5.55	4.51	Medio (7)
Calkiní	16.84	34.59	26.36	2.98	7.53	Medio (8)
Hecelchakán	14.67	30.69	25.18	7.41	8.47	Medio (9)
Carmen	6.70	21.95	3.32	2.89	20.35	Bajo (10)
Campeche	6.27	18.84	3.84	1.19	1.42	Muy bajo (11)

Fuente: Indicadores socioeconómicos (Conapo, 2005),

La costa de Quintana Roo

El estado de Quintana Roo, ubicado en el Mar Caribe, tiene un territorio de 50 843 km^2, y un extenso litoral de 865 km, el cual ha cobrado una importancia inusitada en las últimas décadas por su acelerado desarrollo turístico y por su relevancia como generador de divisas. El territorio quintanarroense presenta en conjunto un relieve casi plano, interrumpido por pequeñas colina y numerosas hondonadas con suave declive de norte a sur, con una altura media de 10 metros sobre el nivel del mar. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, y presenta variaciones de temperaturas medias anuales entre los 24°C y 28°C, así como precipitaciones medias anuales entres los 700 y más de 1 500 mm.

A lo largo de buena parte del litoral del Estado, y del vecino país de Belice, se extiende la barrera de coral más grande del mundo. De igual modo, a lo largo del litoral, abundan los pastizales marinos, que favorecen la abundancia de fauna marina (Dachary *et al.,* 1992). La presencia de los manglares también resulta fundamental en la costa de Quintana Roo.

La variedad de especies vegetales es característica de las selvas del oriente de la península, se estima que en estos bosques existen de 100 a 120 especies por hectáreas. Las más abundantes son el chicozapote y el ramón, además de que se presentan condiciones óptimas para el desarrollo de la caoba, especie que tradicionalmente ha sido el eje de la economía forestal del estado.

Los municipios costeros de Quintana Roo presentan el mayor crecimiento demográfico a nivel nacional, lo que representa no solamente una presión sobre los ecosistemas costeros, sino que ha significado, desde la perspectiva social, un permanente rezago en la disponibilidad de servicios públicos, salud y educativos para esa población.

Dentro del contexto nacional, en 2005 el estado de Quintana Roo ocupó el lugar 19 en cuanto marginación se refiere, lo que significa una leve mejora con respecto al año 2000 cuando ocupó el 20º lugar, pasando de tener un grado de marginación medio a uno bajo. En algunos indicadores relacionados con los servicios básicos, el estado se encuentra en una mejor situación con respecto al promedio nacional. Así es en lo referente a ingreso, agua entubada, población sin primaria completa, analfabeta, entre otros, tal como se aprecia en la tabla 5.

Consideraciones finales

El fenómeno del cambio climático y sus repercusiones son temas de interés para todas las áreas geográficas y temáticas y exigen un análisis cuidadoso. La península de Yucatán constituye especialmente un área prioritaria a la luz de sus características sociogeográficas y las amenazas ante los posibles efectos del cambio climático. Requiere entonces de análisis desde las diversas perspectivas del problema.

Las comunidades costeras de la península de Yucatán presentan un grado de exposición que favorece su nivel de vulnerabilidad. La amenaza de los fenómenos meteorológicos, la presencia de zonas bajas y una población costera a 30 o menos kilómetros del litoral, en condiciones sociales poco favorables, son los elementos que propician un grado de vulnerabilidad de medio a alto (Salles *et al.,* 2006). De acuerdo a los datos presentados, existe una concentración

Tabla 5. Quintana Roo. Indicadores socioeconómicos y grado de marginación 2005, por municipio.

Entidad federativa / Municipio	% Población analfabeta de 15 años o más	% Población sin primaria completa de 15 años o más	% Ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario	% Ocupantes en viviendas sin energía eléctrica	% Ocupantes en viviendas sin agua entubada
Quintana Roo	6.58	19.42	5.19	2.59	4.66
Cozumel	4.02	16.76	0.44	1.00	6.15
Felipe Carrillo Puerto	18.98	34.25	38.30	6.52	4.26
Isla Mujeres	4.82	20.35	2.11	4.31	10.48
Othón P. Blanco	8.45	23.62	3.07	3.00	2.14
Benito Juárez	3.86	14.61	0.64	1.72	6.18
José María Morelos*	16.98	36.83	33.60	6.80	1.75
Lázaro Cárdenas	14.81	34.63	10.11	7.14	1.94
Solidaridad	5.85	18.71	3.59	1.93	2.91

Fuente: Indicadores marginación (Conapo, 2005),
* No es municipio costero

Tabla 5 (continuación). Quintana Roo. Indicadores socioeconómicos y grado de marginación 2005, por municipio.

Entidad federativa / Municipio	% Viviendas con algún nivel de hacinamiento	% Ocupantes en viviendas con piso de tierra	% Población en localidades con menos de 5 000 habitantes	% Población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios mínimos	Grado de marginación
Quintana Roo	49.90	8.41	17.10	36.78	Bajo
Cozumel	51.36	1.84	2.45	31.28	Muy bajo
Felipe Carrillo Puerto	70.78	31.30	67.07	68.09	Alto
Isla Mujeres	52.83	4.26	16.28	39.37	Bajo
Othón P. Blanco	47.36	12.77	33.27	48.76	Bajo
Benito Juárez	45.02	3.39	3.57	26.01	Muy bajo
José María Morelos*	70.84	21.50	68.17	74.03	Alto
Lázaro Cárdenas	65.50	24.25	71.55	65.42	Alto
Solidaridad	57.57	5.89	10.66	30.48	Muy bajo

Fuente: Indicadores marginación (Conapo, 2005).
* No es municipio costero.

demográfica importante y un crecimiento de la población en la costa; sus condiciones en distintos niveles de marginación y en especial las condiciones de la vivienda, son elementos que incrementan su vulnerabilidad y por tanto su riesgo. A partir de esto, es necesario revisar si existen las condiciones institucionales y de comunicación para la adaptación de la población, siguiendo las pautas establecidas para ello en instancias nacionales y la estrategia y programa nacional.

La seguridad, la salud, e igualmente el desarrollo económico y social en la península de Yucatán requieren incorporar en la planeación y gestión los análisis relativos al cambio climático global (CCG) y sus efectos en el medio ambiente, especialmente en las zonas costeras (IPCC, 2007; UNEP-oxford University-WMO-UNWTO, 2008).

Literatura citada

Capurro, L., 2003. Un gran ecosistema costero: la península de Yucatán. *Revista Avance y Perspectiva*, 22: 69-75.

CEPAL-BID (ECLAC-IDB,) 2000. A matter of development: how to reduce vulnerability in the face to natural disasters. CEPAL-BID, México

CONAPO, 2005. Índices de Marginación.

Córdoba, J. 2009, Descentralización, territorio y ambiente en la Península de Yucatán: una mirada geográfica desde el enfoque de la centralidad. p. 57-78. En: J. Fraga, G. J. Villalobos, S. Doyon y A.García (eds.). Descentralización y manejo ambiental. Gobernanza costera en México, México, Plaza y Valdés. 365 p.

Dachary, A., D. Navarro, y S. Maris, 1992. Quintana Roo: los retos del fin del siglo, México, Centro de Investigaciones de Quintana Roo.

Doyon, S., A. Guindon, y A. Blais, 2009. La diversidad de estados y municipios en la península de Yucatán. p. 79-90. En: J. Fraga, G. J. Villalobos, S. Doyon y A.García (eds.). Descentralización y manejo ambiental. Gobernanza costera en México, México, Plaza y Valdés. 365 p.

IPCC, 2007. Adaptation and Vulnerability – Contribution of Working Group II to the Four the Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, University Press Cambridge, Cambridge and New York.

Landa Magaña, N., 2008. Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático, Semarnat.

Martínez, J., A. Fernández-Bremaunt, y P. Osnaya (comp.), 2007. Cambio Climático: una visión desde México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología, México D.F., 523 p.

León Diez, C., 2009. Adaptación al cambio climático. Segunda Reunión Ejecutiva para la evaluación de medidas a integrarse en el Plan de Acción Climática del Distrito Federal, diciembre de 2007. www.smq.df.gob.mx/celnet. Fecha de consulta, agosto de 2009.

Ortiz Pérez, M. A. y G. de la Lanza Espino, 2006. Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional. Instituto de Geografía, México, UNAM. Serie Textos Universitarios No. 3

OMT, 2007. Declaratoria de Davos a Balí: la contribucción del turismo al reto del Cambio Climatico. OMT.

PIDM, 2009. Proyecto de Integración y Desarrollo de Mesoamérica. www.planpuebla-panama.org/. Mayo 26 de 2009.

Rowley, R. J., J. C. Kostelnick, D. Braaten, X. Li, y J. Meisel, 2007. Risk of Rising Sea Level to Population and Land Area, Eos Trans.

Salles Alfonso de Almeida, P., R. Silva, C. Sara, y G. Posadas, 2006. Atlas de Riesgo Oceanográfico. Quintana Roo. México, Conacyt, UNAM. UQRO.

Semarnat, 2007a. Comisión Intersectorial de Cambio Climático (2007), Estrategia Nacional de Cambio Climático.

Semarnat, 2007b. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático: Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012.

Stern, N., 2006. The Economics of Climate Change: The Stern Review, Cambridge University Press, Cambridge.

UNEP-Oxford University-WMO-UNWTO, 2008. Climate Change Adaptation and Mitigation in the Tourism Sector. Frameworks, Tools and Practices. Madrid, Spain.

UNEP-WMO-UNOMT, 2008. Climate Change and tourism: responding to global challenges. Madrid, Spain.

UNWTO, 2003. Climate Change and Tourism: Proceedings of the First International Conference on Climate Change and Tourism, Djerba, Tunisia, 9–11 April 2003. http://www.unwto.org/sustainable/climate/brochure.htm.

Villalobos, G. j., y E. Rivera Arriaga, 2009. La actividad petrolera en Campeche: situación, retos y oportunidades. p. 161-178. En: J. Fraga, G. J. Villalobos, S. Doyon y A.García (eds.). Descentralización y manejo ambiental. Gobernanza costera en México, México, Plaza y Valdés. 365 p.

Barba Meinecke, H., B. Díaz Fuentes, y P. Luna Erreguerena, 2010. El patrimonio arqueológico en costas y mares de México ante el cambio climático. p. 639-654. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

El patrimonio arqueológico en costas y mares de México ante el cambio climático

Helena Barba Meinecke, Belynda Díaz Fuentes y Pilar Luna Erreguerena

Resumen

Hasta ahora, ha sido poco abordada la forma en que los efectos previsibles del cambio climático global impactarán sobre el patrimonio cultural, tanto tangible como intangible. En este trabajo se realiza un análisis sobre las zonas más vulnerables ante dichos efectos y se proponen acciones para empezar a generar conocimiento especializado sobre este tema desde la perspectiva del Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Introducción

Desde el último cuarto del siglo pasado, el cambio climático global (CCG) ha sido un tema debatido ampliamente en todos los foros relacionados con el medio ambiente. La preocupación de la clase científica ha generado una amplia gama de estudios al respecto, mismos que han servido como base para generar escenarios que van desde los más optimistas hasta los más catastróficos, todos concurriendo en cinco efectos principales:

- Incremento de la temperatura media global.
- Elevación de la temperatura en los océanos.
- Desaparición de glaciares.
- Aumento del nivel promedio del mar.
- Intensificación y mayor frecuencia de fenómenos climatológicos extremos.

La concurrencia de uno o más de los anteriores afectarán de forma negativa los servicios ambientales que proveen los ecosistemas, la disponibilidad de agua y en general a las poblaciones.

También es cierto que los expertos coinciden en que los próximos diez años serán cruciales para instrumentar acciones con miras a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, que permitirán postergar y atenuar las temibles consecuencias esperadas.

Frente a esta situación, México, como muchos otros países, ha comenzado a tomar medidas para enfrentar este fenómeno. De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, las acciones se encaminarán en dos sentidos: para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y para impulsar medidas de adaptación (Presidencia de la República, 2007).

Los efectos de este cambio global se dejarán sentir en todos lo ámbitos sociales e implicarán modificaciones –de superficiales a radicales– en los estilos de vida de la humanidad. En este sentido, en la esfera de lo social existe una diversidad de aspectos que se verán directamente afectados, entre ellos, el patrimonio cultural.

Nuestro país cuenta con una amplia herencia de patrimonio cultural producto de una larga y profunda historia generada durante siglos. La preocupación por la preservación de este patrimonio en el contexto de un fenómeno que potencialmente desencadenará alteraciones serias en la forma de interacción entre los grupos sociales, hacia el interior y con el medio ambiente, pudiera parecer vana e intrascendente, sin embargo, cuando comprendemos el papel que juega éste dentro de la sociedad, entendemos su importancia y alcances.

El patrimonio cultural

El patrimonio cultural puede ser definido como "*... ese acervo de elementos culturales –tangibles unos, intangibles los otros– que una sociedad determinada considera suyos y de los que echa mano para enfrentar sus problemas... para formular e intentar realizar sus aspiraciones y sus proyectos; para imaginar, gozar y expresarse*." (Bonfil, 1993)

Según Lumbreras, el patrimonio cultural de cada pueblo está integrado por "*un cúmulo muy grande de objetos, que van desde los instrumentos directos de trabajo... hasta los recursos estrictamente mentales que les permiten explicar y reproducir su existencia a nivel de conciencia*" (Lumbreras, 1994). En esta definición quedan incluidas no solamente las manifestaciones de las culturas antiguas, sino también todas las expresiones, materiales e inmateriales, de los pueblos vivos. (García, 1993)

De acuerdo con este autor, el patrimonio sustenta la identidad de los pueblos y bajo esta premisa, advierte sobre los riesgos que implica su pérdida: "*genera el desconcierto social, político y económico*" (Lumbreras, 1994), poniéndolos en peligro de extinción. En este caso, los riesgos que se refieren son de origen antropogénico, ejemplificados con la pérdida de lenguas originarias, costumbres, mitos, leyendas, tradiciones, que se alteran por la intromisión de agentes externos como los medios de comunicación masiva, los grupos religiosos y las culturas extranjeras.

Los efectos del cambio climático afectarán (lentamente y a largo plazo) las estructuras sociales, muchas de ellas consideradas dentro del patrimonio intangible: formas de organización, de subsistencia, de percepción sobre el entorno y apropiación de éste. Es un proceso en el que no podremos intervenir y que será necesario para asegurar la convivencia grupal, además de que estas transformaciones están implícitas en la dinámica social.

Por otro lado, el patrimonio cultural tangible es un recurso que al igual que los naturales, recae en la categoría de "no renovable", susceptible a sufrir daños, e incluso desaparecer por los efectos negativos del CCG.

En nuestro país, la preservación de este patrimonio cultural es competencia del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Desde 1939, año de su creación, éste ha cumplido con los objetivos de investigar, proteger, conservar, restaurar y difundir el patrimonio cultural, arqueológico, histórico, artístico y paleontológico de la nación (DOF, 1998).

Figura 1. Indígena en San Cristóbal de las Casas, Chiapas. © Helena Barba.

Figura 2. Foto de uno de los 119 cráneos sumergidos en el Cenote Calaveras, Quintana Roo © Archivo SAS/ INAH. Jerónimo Avilés.

Las formas en las que se presentan estos bienes, muebles e inmuebles, son tan diversas como la imaginación del hombre: pinturas, esculturas, objetos de uso cotidiano, herramientas, documentos, restos fósiles de fauna pleistocénica, huesos humanos de los primeros pobladores del continente, evidencias materiales de culturas prehispánicas (desde fragmentos de cerámica hasta enormes pirámides), vestigios de medios de transporte acuático, instrumentos de navegación y armas, por mencionar sólo algunos.

Al parejo de esta amplia gama de materiales se encuentra la dimensión del espacio donde este patrimonio se alberga: museos, bodegas, instituciones de investigación, bosques, desiertos, selvas e incluso sumergido en lagos, ríos, cenotes, cuevas inundadas y océanos. Un gran porcentaje de los kilómetros que conforman la geografía de nuestro país está cubierto por una u otra manifestación de nuestra herencia cultural.

Dada la magnitud de nuestro objeto de estudio, apenas esbozado en las líneas precedentes, en este trabajo realizaremos un primer acercamiento a la identificación de los sitios arqueológicos que, consideramos, podrían sufrir de manera más directa los impactos adversos previsibles del cambio climático global. Dividiremos el análisis en dos secciones correspondientes a terrestres y acuáticos, ambos ámbitos de competencia del INAH.

Finalmente haremos una revisión de las acciones que el Instituto tiene en marcha en materia de prevención de desastres y algunas propuestas que, desde el punto de vista de las autoras, deben empezar a ejecutarse para estar preparados para dichos impactos.

Sitios arqueológicos costeros

En la actualidad, los sitios arqueológicos que se tienen ubicados a nivel nacional suman más de 200 mil. Éstos van desde fogatas y concentraciones de materiales en campamentos de cazadores/recolectores, hasta las grandes zonas como Teotihuacán y Chichén Itzá. De este universo, se tienen abiertos al público casi 200, además de cerca de un centenar de museos.

Asentados a lo largo de la franja litoral de 14 de los 17 estados[1] que colindan con los principales mares que rodean nuestra nación (Océano Pacífico, Golfo de México, Mar Caribe y Mar de Cortés), se han ubicado por lo menos 34 sitios y 16 zonas arqueológicas[2] (Z.A.). Cabe mencionar que este conteo se realizó sobre asentamientos que han sido, si no estudiados a fondo, por lo menos caracterizados, aunque de antemano se sabe que el número real es mucho mayor (tabla 1).

Además de los anteriores, se identifican por lo menos siete sitios sobre islas, algunas de las cuales fueron modificadas en tiempos prehispánicos o incluso construidas de manera artifi-

[1] No se localizaron referencias para sitios ubicados en la costa de Baja California, Jalisco y Michoacán.
[2] Zonas arqueológicas se les llama a los sitios que han sido investigados y fueron abiertos al público, por lo que cuentan con un mínimo de infraestructura de servicios. En contraparte, los sitios pueden haber o no sido estudiados, están contabilizados en el Atlas Arqueológico Nacional pero no están abiertos al público; aunque algunos de ellos son de facto visitados, no cuentan con facilidades para el turismo.

Tabla 1. Relación de sitios y zonas arqueológicas ubicadas en la costa.

Nombre del Sitio	Ubicación	Nombre del Sitio	Ubicación
El Batequi	Baja California Sur	Z.A. Xelha	Quintana Roo
San Joaquín	Baja California Sur	Z.A. Tulum	Quintana Roo
Champotón	Campeche	Z.A. Muyil	Quintana Roo
Tixchel	Campeche	Guasave	Sinaloa
Xicalanco	Campeche	Chametla	Sinaloa
Playa del tesoro	Colima	El Calón	Sinaloa
Morett	Colima	Guaymas	Sonora
Región del Soconusco	Chiapas	Z.A. Comalcalco	Tabasco
Zacatula	Guerrero	Región del Río Bari	Tabasco
Coyuca de Benítez	Guerrero	Z.A. La Venta	Tabasco
Palma Sola	Guerrero	Z.A. Las Flores	Tamaulipas
Puerto Marqués	Guerrero	Tancol	Tamaulipas
Amapa	Nayarit	Pavón	Tamaulipas
San Mateo	Oaxaca	Chachalacas	Veracruz
Santa Ma. del Mar	Oaxaca	El Trapiche	Veracruz
Huatulco	Oaxaca	Z.A. Tres Zapotes	Veracruz
Tututepec	Oaxaca	Los Tuxtlas	Veracruz
Río Viejo	Oaxaca	Z.A. Quiahuiztlan	Veracruz
Z.A. Guiengola	Oaxaca	La Mojarra	Veracruz
Z.A. El Meco	Quintana Roo	Tabuco	Veracruz
Ecab	Quintana Roo	Z.A. Cempoala	Veracruz
Z.A. El Rey	Quintana Roo	Emal	Yucatán
Z.A. Xcaret	Quintana Roo	El Cuyo	Yucatán
Akumal	Quintana Roo	Z.A. Xcambó	Yucatán
Z.A. Oxtancah	Quintana Roo	Z.A Dzibilchaltún	Yucatán

Figura 3. Pirámide del Adivino, Uxmal, Yucatán © Helena Barba.

Figura 4. Mural del Templo de los Guerreros, Chichén Itzá.

cial. Esta última particularidad ha ocasionado que por lo menos en la Jaina (Campeche) no se permita el acceso al público en general, puesto que no se ha determinado la capacidad de carga de la isla.

Los sitios insulares son de gran relevancia histórica. En el caso de la península de Yucatán, está ampliamente documentada su función como infraestructura de apoyo para la navegación prehispánica y su papel como enclaves dentro de las amplias redes de comercio de cabotaje que existieron durante el período Clásico (300 al 900 d.C.) (tabla 2).

Los denominados concheros son formaciones características de culturas antiguas con gran aprovechamiento de los moluscos que les ofrecían lagunas y mares circundantes. Las valvas que se desechaban, en muchos casos eran reutilizadas como materiales de construcción, creando montículos con diferentes funciones, muy recurrentes en áreas como laguna de Términos en Campeche y la costa de Sinaloa.

Tanto estos últimos como los sitios asentados sobre islas deben ser considerados como particularmente frágiles ante cualquier cambio en las condiciones medio ambientales que los rodean.

Tabla 2. Relación de sitios insulares.

Sitio insular	Ubicación
Jaina	Costa de Campeche
Isla Tiburón	Costa de Sonora
Z.A. Isla Mujeres	Costa de Quintana Roo
Z.A. San Gervasio	Costa de Quintana Roo
Isla de Sacrificios	Costa de Veracruz
Isla Cerritos	Costa de Yucatán
Isla Piedras	Costa de Yucatán

Figura 5. Sitio Zapotal, Ciudad del Carmen, Campeche © Archivo SAS/INAH. Jerónimo Avilés.

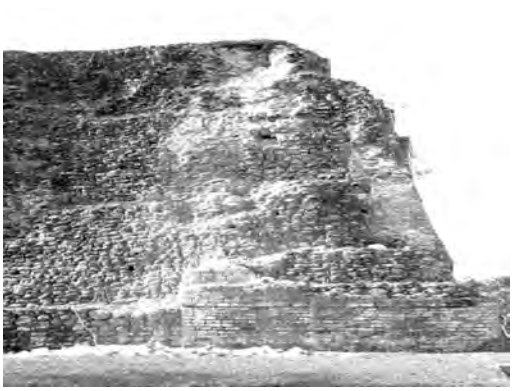


Figura 6. Daños en estructuras de la Z.A. Becán, Campeche. © Archivo Centro INAH Campeche. Diana Arano.

Riesgos de los sitios costeros e insulares frente a los efectos del cambio climático

Existe una serie de efectos que debemos esperar sobre sitios patrimoniales costeros y marinos, los cuales deben considerarse para tomar medidas preventivas:

Afectación a los sitios insulares y concheros. El aumento del nivel del mar y la erosión costera son amenazas severas que ponen en riesgo la conservación de las islas y las estructuras prehispánicas que pueden estar erigidas sobre ellas, así como sobre los endebles concheros.

Afectación a sitios costeros. Vistas desde dos aspectos: sobre las edificaciones y sobre sus componentes decorativos.

- Daños materiales ocasionados por la intensificación y multiplicación de los huracanes sobre sitios ubicados en zonas costeras y sobre aquellos que están en tierra firme pero sobre las trayectorias de paso de estos meteoros.
- Afectación a pinturas murales, frescos, estucos y toda la gama de elementos de ornato por los incrementos de temperatura ambiental.

Afectaciones a bienes culturales. La mayor probabilidad de inundaciones pone en jaque la conservación de colecciones arqueológicas, históricas, documentales, artísticas y etnográficas, entre otras, que se resguardan en edificios históricos, museos, bodegas, etcétera.

Si bien el análisis de las características generales de los sitios nos permite hacer algunas inferencias, su vulnerabilidad ante el efecto de los impactos negativos previsibles del cambio climático debe establecerse tomando en cuenta una serie de variables ponderables que nos permitan acercarnos a una jerarquización estandarizada y real de los que presentan mayor riesgo. Entre ellas podemos mencionar:

- Características arquitectónicas (presencia o no de edificaciones permanentes, materiales de construcción, estado de conservación, resistencia histórica a fenómenos meteorológicos, etc.).
- Distancia de la costa.
- Existencia de caminos permanentes para comenzar trabajos de restauración.
- Altura sobre el nivel del mar.

Teniendo elementos de juicio normalizados para la mayor parte de los espacios de interés, podremos proponer acciones preventivas o, si aplican, de adaptación ante los cambios esperados.

Figura 7. Arquitectura vernácula del área maya en San Felipe, Yucatán. © Archivo SAS/INAH. Flor de María Curiel.

Al margen de lo anterior, es tarea de los antropólogos y de todas aquellas especialidades

que estudian las sociedades, considerar también las afectaciones posibles sobre los grupos socioculturales que habitan en las costas, como: cambios en las formas de subsistencia, modificación y pérdida de la arquitectura vernácula, cambios en las costumbres, etcétera.

Sitios arqueológicos subacuáticos

Nuestro país también es rico en cuanto a las huellas que el hombre ha dejado a través de la historia. Bajo nuestros mares, ríos, lagunas, manantiales, cenotes y aquellas cuevas ahora inundadas pero que hace miles de años albergaron a grupos humanos, se esconden restos materiales que provienen desde los inicios del poblamiento de América y los tiempos prehispánicos, pasando por la conquista, la independencia, la época republicana y la industrial, hasta el presente.

Todos estos vestigios han podido estudiarse gracias a la arqueología subacuática, ciencia de reciente desarrollo que en México ha seguido un paso estable y sólido a través de proyectos que han contado con el apoyo de instituciones y especialistas nacionales y extranjeros, llevando a cabo investigaciones en aguas continentales, costeras y profundas, en estas últimas con sistemas de prospección remota.

La preocupación por la preservación de este patrimonio ha llevado a la creación de diversos consejos internacionales enfocados en este tema. En 1991, el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS) creó el Comité Internacional para la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático (ICUCH), del cual México es miembro desde 1992. Un paso importante en esta lucha fue la aprobación, en 1996, de la Carta Internacional del ICOMOS sobre la Protección y la Gestión del Patrimonio Cultural Subacuático.

Esta Carta resultó sumamente inspiradora para los expertos gubernamentales de varios países –entre ellos México– que se reunieron entre 1998 y 2001 en la sede de la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en París para elaborar el texto de lo que sería la Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático, la cual fue aprobada en noviembre de 2001 y entró en vigor en enero de 2009. México fue el octavo país en ratificarla, en julio de 2006.

Dicha Convención define el patrimonio cultural subacuático como "*... todos los rastros de existencia humana que tengan un carácter cultural, histórico o arqueológico, que hayan estado bajo el agua, parcial o totalmente, de forma periódica o continua, por lo menos durante 100 años, tales como: i) los sitios, estructuras, edificios, objetos y restos humanos, junto con su contexto arqueológico y natural; ii) los buques, aeronaves, otros medios de transporte o cualquier parte de ellos, su cargamento u otro contenido, junto con su contexto arqueológico y natural; y iii) los objetos de carácter prehistórico...*" (UNESCO, 2001)

En México este patrimonio está representado por sitios tan variados como: la laguna de la Media Luna en San Luis Potosí (600-900 a.D.); la cueva de Naharon (14,500 a.P.) y el cenote Calaveras (600-900 d.C.); en Quintana Roo; las lagunas del Sol y de la Luna en el cráter del Nevado de Toluca (Posclásico 900-1521), y los naufragios conocidos como: sitio Pilar (siglo XVI) en la Sonda de Campeche; 40 Cañones (siglo XVIII) en Banco Chinchorro, Quintana Roo; El

Figura 8. Ancla del Pecio Boris, Banco Chinchorro, Quintana Roo. © Archivo SAS/INAH. Jerónimo Avilés.

Figura 9. Ánforas registradas en 1979 en un naufragio de la época Helénica en la costa suroeste de Turquía © Archivo SAS/INAH. Pilar Luna E.

Pesquero (siglo XVIII) en Champotón, Campeche; el buque de guerra U.S. *Somers* (siglo XIX) en Veracruz, y el vapor Lolá (siglo XIX) en las aguas costeras de Campeche, por mencionar algunos de los más representativos.

Figura 10. Especies asociadas al sitio Magnífico, Holbox, Quintana Roo © Archivo SAS/INAH. Flor de María Curiel

Cabe destacar que, además de su importancia histórica, estos lugares desempeñan un valioso rol ambiental. A través de los años, distintos organismos se adhieren a las superficies metálicas y de madera, dando pie a la formación de arrecifes artificiales. Estos ecosistemas son relevantes para la reproducción de diversas especies marinas y, en muchos casos, también impactan de forma positiva a la pesca, pues algunas de dichas especies son aprovechadas comercialmente. Estos sitios son el mejor ejemplo de la simbiosis que llega a existir entre el patrimonio natural y el cultural.

Dentro de las 200 millas náuticas que corresponden a las aguas de jurisdicción nacional, las zonas que han sido estudiadas con mayor intensidad han sido el litoral y sonda del estado de Campeche, y Banco Chinchorro, frente a las costas de Mahahual, en Quintana Roo.

En la Sonda de Campeche, durante las dos primeras campañas de mar del Proyecto Inventario y Diagnóstico de Recursos Culturales Sumergidos en el Golfo de México, realizadas en 1997 y 1998 por la Subdirección de Arqueología Subacuática (SAS) del INAH, se identificaron 29 sitios. Derivado del análisis de sus materiales diagnósticos se concluyó que dos corresponden al siglo XVI, dos más se ubican entre el XVI y el siguiente siglo, uno está correlacionado al siglo XVII, dos están señalados entre los siglos XVII y XVIII, dos más se fecharon para el XIX, siete entre éste y principios del XX y trece para este último.

Por su parte, la bahía de Campeche ha sido explorada de manera sistemática a partir de 2003, desde la línea de costa hasta las 40 millas náuticas, partiendo del municipio de Campeche y continuando hacia los de Champotón y Ciudad del Carmen.

En este espacio acuático se han localizado y registrado, a través de dibujo, fotografía y video, 135 sitios arqueológicos sumergidos cuyos restos materiales corresponden principalmente al siglo XX, aunque entre éstos se encuentran también tres correlacionados entre los siglos XIX y XX, seis del XIX, seis entre los siglos XVIII y XIX, y uno fechado para mediados del XVIII. A los anteriores se suman seis asentamientos costeros de la época prehispánica.

La costa de Quintana Roo ha sido también objeto de estudios de la arqueología subacuática desde finales de la década de 1980. En estas latitudes se localizó el pecio Bahía Mujeres correspondiente al siglo XVI (INAH, 1984), así como los sitios Cocos y Hanan en la porción oriente de Cozumel, fechados entre los siglos XVII y XIX. A estos trabajos se suman los efectuados en el atolón Banco Chinchorro desde 2006, en donde se han registrado 67 lugares que contienen restos materiales, ya sea naufragios completos o elementos aislados, correspondientes a los siglos XVI-XX. Asimismo, la Isla Holbox, en la punta noreste de la península, ha sido escenario de dos campañas que han derivado en la localización de once sitios que van de finales del siglo XVIII a inicios del XX. Los recientes descubrimientos en la zona de la ría Lagartos resaltan en el mapa del estado de Yucatán, área en donde se ubicaron dos buques datados entre finales del siglo XIX y principios del XX.

Por otro lado, como resultado de los trabajos realizados en el puerto de Veracruz, se han localizado por lo menos siete contextos sumergidos; posiblemente el más representativo sea el U.S. *Somers*, barco hundido en la llamada Guerra de 1847 cuya localización y registro *in situ* motivó un proyecto de cooperación binacional.

De la misma forma, las aguas de Baja California son escenario de una investigación conducida por la Subdirección de Arqueología Subacuática del INAH, la Universidad de Santa Clara

Figura 11. Cañón de bronce *in situ*, pieza de artillería más antigua del Hemisferio Occidental, Arrecife Cayo Nuevo, Sonda de Campeche © Archivo SAS/INAH.

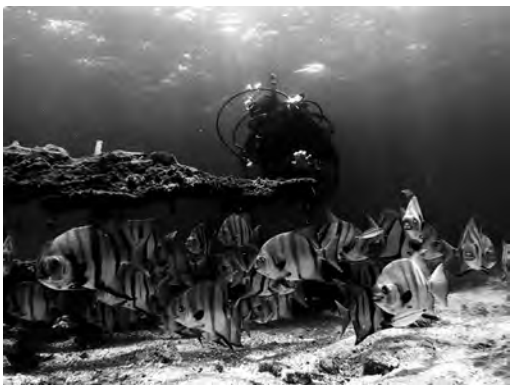


Figura 12. Pecio La Carmelita, costa de Hecelchakán, Campeche. © Archivo SAS/INAH. Eugenio Aceves.

Figura 13. Foto sitio Vapor de las anclas, Banco Chinchorro, Quintana Roo © Archivo SAS/INAH. Jerónimo Avilés.

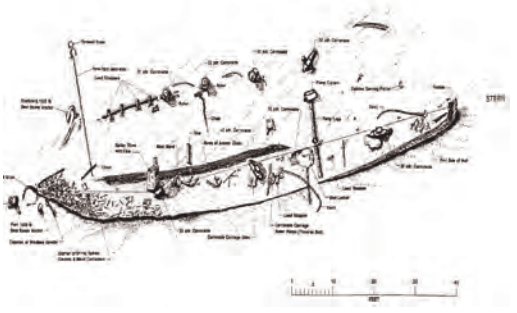


Figura 14. Imagen del mapa elaborado del US Somers. © Archivo SAS/INAH.

en California y el Museo Marítimo de San Diego (EUA), los cuales coordinan esfuerzos para localizar los restos de uno de los galeones de Manila perdido en esas aguas.

Hoy en día podemos hablar de por lo menos 253 sitios arqueológicos sumergidos registrados e integrados a sus correspondientes inventarios, y que incluyen navíos naufragados, hundimientos intencionales, carga alijada como cañones, anclas, lastre, algunas máquinas, tanques, dragas y plumas, entre otros elementos.

El resto de los litorales de los estados costeros del país aún no ha sido investigados con la intensidad que los de la península de Yucatán. Seguramente estas áreas también son ricas en recursos culturales, y su estudio futuro enriquecerá el inventario del patrimonio cultural subacuático que ya hemos iniciado.

Cabe mencionar que dentro de sus investigaciones, la arqueología subacuática mexicana ha tenido la oportunidad de encontrar evidencias del gran cambio climático acaecido a finales del Pleistoceno. En cuevas sumergidas del estado de Quintana Roo se han podido estudiar los restos de –hasta el momento– cuatro esqueletos humanos fechados en más de 10 000 años, por lo que corresponden a los primeros grupos que poblaron América. Su ubicación, en algunos casos a centenares de metros de la entrada de la cueva, sugiere que estos individuos entraron caminando, cuando las cavernas estaban secas.

Figura 15. Restos óseos de la mujer de Naharon *in situ.* © Archivo SAS/INAH. Jerónimo Avilés.

De acuerdo con los investigadores, hace 13 000 años a.P. el nivel del mar en el Caribe debió encontrarse alrededor de 65 metros por debajo del nivel actual. Esto permitió que

dichos espacios fueran aprovechados por grupos humanos de los cuales poco se conoce. El desarrollo del espeleobuceo ha permitido acceder a estas cámaras de tiempo y comenzar a develar los secretos de los primeros pobladores de nuestro país. La osamenta más antigua recuperada hasta ahora –conocida como la Mujer de Naharon– fue datada arrojando una antigüedad de 11 670±60 años de C14 a.P., lo que corresponde a alrededor de 14 500 años calendáricos a.P.

Estas cuevas se han constituido como una muestra de los drásticos cambios que puede experimentar nuestro planeta.

Riesgos de los sitios sumergidos frente a los efectos del cambio climático

Hasta hace poco tiempo, las amenazas identificadas como riesgosas para la preservación se centraban en las de origen antropogénico, principalmente el saqueo, llevado a cabo por las comunidades ribereñas, turistas, buzos profesionales y deportivos, espeleobuzos y grupos de cazadores de tesoros. El panorama actual nos obliga a reflexionar sobre los efectos que el CCG pueda tener sobre este patrimonio. Por el ambiente en el que se ubican, la consecuencia más temida es la incidencia de huracanes cada vez más intensos y recurrentes.

Quizás la primera vez que se evaluaron las repercusiones del paso de un fenómeno meteorológico sobre el patrimonio arqueológico sumergido fue en 2008 en Banco Chinchorro. Tras el paso del ojo del huracán Dean por el área, investigadores de la Subdirección de Arqueología Subacuática del INAH, en coordinación con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), valoraron los daños que el meteoro había ocasionado sobre los sitos registrados en temporadas de trabajo previas.

En un análisis comparativo de fotografías tomadas desde 2006[3], se pudo constatar la fuerza y las afectaciones que un evento de esta naturaleza causa a las estructuras.

Figura 16. Sitio Hubba en 2007 a la derecha y 2008 a la izquierda: colapso de uno de los costados. © Archivo SAS/INAH. Izq. Eugenio Aceves; der. Jerónimo Avilés.

[3] Efectuado por la Arqlga. Laura Carrillo Márquez para el Informe de Actividades 2008 del Proyecto Programas Especiales de la Subdirección de Arqueología Subacuática.

A pesar de que en los dos casos que se muestran, los pecios son modernos y de metal, se aprecian claramente las alteraciones que sufren por la intensidad del viento y el oleaje que acompaña un huracán, los cuales se suman a los procesos de deterioro de los restos sumergidos en un ambiente tan agresivo como es el marino tropical.

Acciones de prevención

Retomando lo anteriormente expuesto, es el INAH quien tiene la encomienda de conservar, y en su caso restaurar los bienes que conforman el patrimonio cultural de la nación. Si bien no existe un documento que contemple de manera expresa los efectos adversos del CCG, dentro de los planes de trabajo del Instituto se han estructurado acciones en materia de prevención de catástrofes.

En el pasado, la concurrencia de desastres naturales con daños sobre el patrimonio pusieron en alerta a las autoridades, las cuales desde hace varios años implementaron estrategias para su atención. La más destacada fue la contratación de seguros que protegen a los bienes culturales de la nación y que permiten brindar la atención adecuada para su eventual rescate o restauración.

También se cuenta con el Programa de Prevención de Desastres en Materia de Patrimonio Cultural, creado con el propósito de generar condiciones preventivas y de protección que permitan a las comunidades y al personal del INAH salvaguardar la integridad del patrimonio cultural de que son depositarios (INAH, 2003).

Entre sus objetivos más destacados se cuenta la intención de elaborar un Atlas de Riesgo, instrumento necesario para la planificación de cualquier actividad preventiva.

Dado que las acciones de prevención en los casos de la incidencia inminente de un fenómeno natural son limitadas, hasta ahora la actividad del INAH se ha enfocado en la respuesta ante los desastres. Para ello se cuenta con un procedimiento administrativo detallado de los pasos a seguir una vez que termina la contingencia y llega el momento de efectuar los diagnósticos y posterior restauración de los bienes afectados.

Figura 17. Sitio Tropic en 2007 a la derecha y las alteraciones a la izquierda: desarticulación de winche y maquinaria. © Archivo SAS/INAH. Der. Eugenio Aceves; izq. Jerónimo Avilés.

El CCG y sus efectos constituyen un tema que aún no es incluido en los programas preventivos del Instituto. Si bien muchos de los fenómenos derivados ya han sido enfrentados, existen otros, como el cambio en el nivel del mar y el aumento en la temperatura que, por ser procesos lentos, no son considerados como desastres, aunque afectarán los bienes patrimoniales.

En este sentido, valdría la pena retomar lo asentado en el Plan Nacional de Desarrollo 2007 – 2012 en su exhortación al desarrollo de capacidades preventivas y de respuesta ante dichos impactos adversos. Entre ellas se incluyen la generación de información y conocimiento sobre la vulnerabilidad de distintas regiones y sectores del país, así como de los impactos potenciales.

De igual forma, se señala que de no iniciarse un proceso de adaptación, la vulnerabilidad ante el cambio climático puede ir en aumento, por lo que resulta prioritario crear una cultura preventiva para los proyectos económicos y de desarrollo.

Menciona también que una de las tareas fundamentales en el desarrollo de capacidades de adaptación ante el cambio climático es la generación de conocimiento científico estratégico para la toma de decisiones. Por ello, es de suma importancia generar información científica junto con los estados y municipios vulnerables, enfocada al diseño de mecanismos de monitoreo de la vulnerabilidad de los diversos sectores y regiones ante el fenómeno, así como desarrollar estudios sobre la definición de umbrales de sensibilidad de sistemas socioambientales y la identificación de oportunidades que los cambios esperados pueden ofrecer .

Conclusiones

El análisis sobre las amenazas que representa el cambio climático global nos mueve a reflexionar sobre los grandes retos que enfrentarán los investigadores para desarrollar estrategias de protección ante los efectos negativos que se espera impacten sobre sitios y bienes considerados patrimoniales, en particular aquellos que se ubican en la franja costera de nuestro país.

Es necesario empezar a impulsar investigaciones para evaluar los sitios terrestres y acuáticos que tienen mayor riesgo por concurrencia de trayectoria de huracanes, así como los que podrían quedar parcial o totalmente sumergidos.

Es posible que los resultados de estos estudios arrojen zonas donde el riesgo de perder evidencias culturales sea inminente, ante lo cual el INAH tendrá que implementar mecanismos para recuperar la mayor cantidad de información sobre ellos, a la usanza de los proyectos de salvamento.

Por otra parte, los proyectos de restauración tendrán que contemplar cada vez más recursos para contrarrestar los daños que los fenómenos meteorológicos ocasionen sobre las estructuras en tierra. Se requerirá también prever formas de financiamiento para la reparación de los bienes afectados que complementen lo que aporten los seguros y el Fondo Nacional de Desastres.

En suma, el cambio climático global acarreará consecuencias en muchos ámbitos de la vida que aún no se han comenzado a dimensionar. Es necesario que, además de las acciones que los gobiernos emprendan como preparación para estos efectos, las instituciones tomen conciencia

de cada una de las tareas que les competen. En el caso del patrimonio cultural, el INAH necesita trabajar de la mano con científicos de diversas especialidades y con la propia sociedad para asumir como una tarea conjunta la protección del legado cultural de los mexicanos.

Literatura citada

Bonfil Batalla, G., 1993. Nuestro patrimonio cultural: un laberinto de significados. En: E. Florescano (comp.). El patrimonio cultural de México. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Fondo de Cultura Económica, México.

Diario Oficial de la Federación, 1998. Artículo 2, Ley Orgánica del Instituto Nacional de Antropología e Historia, 3 de febrero de 1939. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de enero de 1998.

García Canclini, N., 1993. Los usos sociales del patrimonio cultural. En: E. Florescano (comp.). El Patrimonio Cultural de México. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Fondo de Cultura Económica, México.

INAH, 1984. Expediente: 1984. A/1/PRM(QROO) 01.23/20. Archivo Técnico de la Subdirección de Arqueología Subacuática, INAH. México.

INAH, 2003. Programa de Prevención de Desastres en Materia de Patrimonio Cultural. Consultado en línea en: https://paginah.inah.gob.mx/modules.php?name=Cenvirdoc&file=articleCenvirdoc&sid=735

Lumbreras S. L., 1994. El patrimonio cultural como concepto económico. En: J. Villafranca y R. Witker B. (coords.) Memoria del Simposio Patrimonio y Política Cultural para el siglo XXI. Colección Científica del INAH n. 296, Conaculta – INAH, México.

Presidencia de la República, 2007. Plan Nacional de Desarrollo 2007 – 2012. Presidencia de la República. Consultado en línea en: http://pnd.calderon. Presidencia.gob.mx/sustentabilidad-ambiental/cambio-climatico.html

UNESCO, 2001. Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático, Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Cultura y la Ciencia, Francia.

Figueroa Beltrán C., 2010. Las adaptaciones culturales en la prehistoria del noroeste de Baja California: inferencias arqueológicas ante el cambio climático. p. 655-668. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Las adaptaciones culturales en la prehistoria del noroeste de Baja California: inferencias arqueológicas ante el cambio climático

Carlos Figueroa Beltrán

Resumen

Los sitios arqueológicos de la costa noroeste de Baja California se caracterizan por su abundancia y escasa monumentalidad, situación que los hace poco atractivos para la investigación arqueológica y altamente vulnerables ante los desarrollos de infraestructura portuaria o turística y ante los devastadores efectos colaterales del cambio climático. Los concheros no son manifestaciones monumentales pero sin embargo poseen información relevante de la relación de las comunidades prehistóricas con su medio ambiente y de cómo se han dado los cambios medioambientales a partir de la última glaciación. La escasa monumentalidad observada en la cultura material de los grupos cazadores-recolectores-pescadores es muy simple, pero esa sencillez nos habla de la complejidad de los procesos intelectuales que llevaron a esos grupos a tener un profundo conocimiento de su medio ambiente muy acorde con la sencillez tecnológica mostrada en los instrumentos de cacería, pesca y recolección. Las prácticas culturales mostradas por los grupos prehistóricos responden a las estrategias adaptativas a los cambios ambientales que se gestaron desde finales del Pleistoceno y que dieron origen a la conformación del paisaje que hoy vemos. El hábitat del Holoceno Temprano sufrió transformaciones que impactaron no sólo el tipo de vegetación y las especies animales existentes para ese entonces, sino que afectaron directamente el modo de vida indígena.

Introducción

La investigación arqueológica en el corredor Eréndira-San Quintín (Baja California), ha permitido conocer la manera en que las comunidades prehistóricas se han relacionado con la zona costera desde hace milenios. También ha permitido detectar un cambio en las prácticas alimenticias como resultado de las estrategias de adaptación en respuesta a los cambios ambientales del Holoceno. Plantas, frutos y semillas de la costa llegarían a ocupar un lugar central en las prácticas alimenticias y en la elaboración de instrumental utilizado en este proceso hasta ya bien entrada la colonización europea. Lo confirma la existencia de instrumentos de molienda y despulpadores de agave que marcan el fin de dos prácticas intensivas de apropiación alimenticia previa: la de recolección de moluscos en la costa y de la cacería de especies mayores en las zonas lacustres del interior peninsular. Los sitios arqueológicos comunmente conocidos como concheros son algo más que una simple acumulación de conchas; son la evidencia de los procesos adaptativos de los grupos humanos que durante milenios han sobrevivido en los desiertos costeros del noroeste de Baja California, por lo que es importante reconocerlos como parte de nuestro legado patrimonial que debe ser estudiado, conservado y usado como insumo en los programas de desarrollo económico y educativos en beneficio de las comunidades rurales de Baja California.

El cambio climático y su efecto en el medio ambiente

El final del Pleistoceno

El final de la última glaciación marca el inicio de una nueva configuración de la línea de costa en el continente americano. El impacto provocado por el aumento en la temperatura y el subsecuente deshielo de los casquetes polares da lugar a un incremento en el nivel del mar que deja sumergidos posibles restos de migraciones humanas pleistocénicas que hubieran tomado la ruta costera desde Asia porpuesta por Fladmark (1978). Si estos grupos hubieran encontrado refugio en las cavidades rocosas de la zonas costeras del Pacífico norteamericano hace 30 000 años, los contextos arqueológicos estarían sumergidos en el mar (figura 1). Sin embargo, la península de Baja California experimentó levantamientos tectónicos que mantuvieron la línea de costa casi en su totalidad tal como actualmente la vemos (Br-

Figura 1. Mortero sumergido.

yan, 1999). Esta condición permite suponer que la península es el lugar ideal para los estudios arqueológicos y paleoambientales enfocados al proceso de cambio climático y al poblamiento del continente americano. Lo confirman los proyectos arqueológicos llevados a cabo en Laguna Chapala, Eréndira, Isla de Cedros e Isla del Espíritu Santo, donde se han encontrado una gran variedad de evidencias arqueológicas y los fechamientos más antiguos de la Península.

Las adaptaciones ambientales en el Holoceno temprano (11 000-7 000 a.p.)

Por más del 99% de su transcurrir histórico, los seres humanos han sido cazadores-recolectores, por lo que las prácticas de caza y recolección se prodrían considerar como el modo de vida básico de la especie humana (Yesner, 1980). Esto resalta la importancia de comprender las adaptaciones ambientales de las sociedades de cazadores-recolectores-pescadores ante cualquier intento de análisis sobre el proceso de evolución cultural.

En el Holoceno temprano, las prácticas alimenticias de los grupos costeros del noroeste del Pacífico se enfocaban primordialmente a la recolección de moluscos y en menor grado a la pesca y a la cacería de mamíferos marinos como la nutria y el lobo (Gruhn y Bryan, 2004). Para ello, utilizaban artefactos de piedra poco elaborados como lascas y esquirlas líticas para desprender y abrir los bivalvos del intermareal rocoso, proceso donde algunas conchas pudieron haber sido utilizadas como herramientas. A pesar de que se han encontrado en contexto arqueológico algunos elementos de hueso que componen el anzuelo de pesca, no parece que la pesca como práctica intensiva haya cubierto de manera importante las necesidades alimenticias de los grupos indígenas antes del 5 000 a.p. cuando el nivel de mar sube algunos metros de su nivel actual permitiendo el desarrollo de sistemas estuarinos en las desembocaduras de los ríos como en La Bocana, al norte de Eréndira (Davis, 1999) en la costa noroeste de Baja California. En contraste, en el interior peninsular y en la región del Lago Cahuilla, la tecnología lítica parece haber alcanzado su nivel de excelsitud durante el Holoceno temprano. Las puntas de dardo y lanza, cuchillos, raspadores y otros artefactos de posible uso ritual caracterizan el instrumental de caza y destazamiento de la fauna mayor. Las prácticas, entendidas como aquellos eventos que representan la estrategias de reproducción social, se centraron en los contextos lacustres, en la cacería del venado bura, el borrego cimarrón, el berrendo, el caballo y otros animales menores como el conejo y la liebre. Esta actividad proveía el alimento, el vestido y parte del instrumental utilizado para la manufactura de herramientas líticas, como lo es el asta de venado. Así lo confirman los artefactos encontrados en las antiguas playas de la laguna Chapala descritos por Arnold (1984) en sus exploraciones, además de Davis (2003) y Gruhn y Bryan (1999) en sus excavaciones; artefactos líticos como cuchillos, tajadores, raspadores y puntas retocadas por presión.

A medida que el temperatura se incrementaba al transcurrir del Holoceno, la vegetación esclerófita avanzaba hacia el interior de la Península y los bosques de coníferas se desplaza-

ban hacia niveles hipsográficos mayores hasta convertirse en bosques *relictus* en las partes altas como en la Sierra Blanca, al pie del Valle de Guadalupe.

Esos cambios ambientales trajeron una eventual desecación de los sistemas lagunares, hace aproximadamente 7 000 años, hábitats donde los cazadores habían desarrollado sus prácticas durante milenios (Davis, 2003).

La arqueología del Pacifico Norte

Área de estudio

La región se localiza en Provincia fisiográfica denominada Provincia de la Península de Baja California y en el límite sur de la Provincia Florística de Baja California, con la mayor parte de su espacio conformado por una llanura costera con lomeríos (figura 2). El corredor costero Eréndira-San Quintín se localiza en el municipio de Ensenada (Baja California), partiendo del norte desde la comunidad de Eréndira hasta la zona de Valle Tranquilo en su extremo sur entre los 31° 13' 10.4" y 30° 09' 45" de latitud norte y de 116° 21' 03" y 115° 47' 19" de longitud oeste.

Figura 2. Corredor costero Eréndira-San Quintín.

Los sitios arqueológicos en el corredor Eréndira-San Quintín

Para este análisis, se parte de la premisa de que el registro arqueológico es el resultado material de prácticas sociales (además de los procesos de alteración post-deposicional) de individuos entendidos como sujetos históricos activos con objetivos propios, que toman decisiones y actúan de acuerdo a ellas, en un marco de condiciones tanto objetivas como subjetivas que los limitan (y no los determinan) y que son características de un lugar y una época (Shennan, 1993). Por ello el objeto principal de este trabajo será la construcción de conjuntos específicos de prácticas, sus continuidades y cambios.

Erendira

Las excavaciones arqueológicas en el Abrigo de los Escorpiones documentan la evolución de las prácticas de los grupos costeros desde aproximadamente el 9 000 a.p. (figura 3). La acumulación de material en el refugio, que alcanza la profundidad máxima de 8 metros, muestra la existencia de grupos con un nivel tecnológico relativamente simple expresado a través de artefactos líticos, de hueso y concha. Los gruesos raspadores, las lascas reutilizadas y los machacadores predominaron en las fases más tempranas de ocupación, mientras que las puntas de projectil están hechas por percusión, a diferencia de aquellas de laguna Chapala, donde se observa el uso de la técnica de presión, lo cual marca una diferencia tecnológica importante entre las prácticas alimenticias de los cazadores intensivos y las de los cazadores-recolectores-pescadores. La secuencia estratigráfica del abrigo muestra que las orientación a la recolección de mariscos y en menor grado a la cacería de mamíferos marinos y a la pesca de litoral. En los niveles más superficiales, aparecen las manos y los morteros como indicación de una reorientación al uso de plantas en su práctica alimenticia (Gruhn y Bryan, 2000, 2001, 2002, 2004).

Colonet

Punta Colonet es una gran plataforma formada por dos mesas y un cabo que remata en un cantil rocoso con una marcada pendiente que topa en el Oceano Pacífico y que sobresale de manera importante en la geografía costera de esta región (figura 4).

La mayor parte de la superficie terrestre se compone de roca sedimentaria (areniscas y conglomerados) y sólo la zona de Cabo Colonet presenta basaltos, que es la fuente principal utilizada en la prehistoria para la manufactura de herramientas.

A diferencia de Abrigo de los Escorpiones, donde la naturaleza de refugio permitió una ocupación constante durante varios milenios, los sitios de Colonet presentan una distribución en el paisaje con características de asentamientos semipermanentes, resultado de una alta movilidad, típica de los grupos de cazadores-recolectores-pescadores de los desiertos costeros (Figueroa, 2007).

Los conceptos de movilidad usados en el estudio de estos grupos coinciden en que es universal, variable y multidimensional. Binford (1980) fue el pionero en el análisis conceptual de la

Figura 3. Sitio de abrigo.

Figura 4. Bahía Colonet.

idea de movilidad. Este autor marca clara diferencia entre movilidad residencial y movilidad logística, ambas asociadas directamente tanto a la disponibilidad de recursos como a las prácticas de los grupos en la prehistoria.

La *movilidad residencial* es aquella que efectúa toda una banda o grupo local de un campamento a otro, mientras que la *movilidad logística* la efectúan sólo un grupo de individuos desde el campamento residencial. Binford, agregó posteriormente a estos conceptos el de *movilidad territorial* o *de largo plazo*, con el cual se incorpora la noción de movimientos cíclicos de un grupo a través de una serie de territorios.

San Quintin

Esta región situada a 60 km al sur de Colonet, fue estudiada durante cuatro temporadas de campo desde 1995 por el Dr. Jerry Moore de la Universidad Estatal de California. Después de registrar la cantidad de 290 sitios, Moore (2001) encontró que la mayoría de los sitios constituyeron campamentos habitacionales, indicado por las evidencias de las prácticas de preparación y consumo de moluscos, metates y fogones para tatemar agave así como la producción de herramientas líticas, respaldada por los hallazgos de materiales encontrados cerca de los sitios, principalmente núcleos y lascas de basalto.

En sus conclusiones, el investigador plantea a manera de hipótesis "el modelo de adaptación transhumante transpeninsular" para explicar por qué aparecen conchas de moluscos provenientes del Mar de Cortés y obsidiana de yacimientos ubicados entre la sierra de San Pedro Mártir y el Mar de Cortés.

Los contextos arqueológicos y las prácticas culturales de los grupos costeros en el corredor Eréndira- San Quintín

La recolección de moluscos

El planteamiento que aquí se hace con respecto a los sitios dispersos en el paisaje costero de esta región, exceptuando al refugio de Eréndira en su fase del Holoceno inicial es que pertenecen al modelo de movilidad residencial. Los contextos arqueológicos en superficie, aunque limitados en información, aportan elementos de análisis cuando se entrecruzan con la información paleoambiental, de las fuentes etnohistóricas y con el estudio de las prácticas culturales de las sociedades del pasado.

En superficie, casi todos los sitios muestran a la recolección de moluscos como una práctica alimenticia fundamental de los grupos que habitaron la región costera del noroeste. Su continuidad cronológica durante milenios hace suponer que los moluscos de playas arenosas y del intermareal rocoso fueron aprovechados en prácticas de consumo estacionales, durante la época del año en que los bivalbos llegaban a la adultés (figura 5).

Esta práctica supone un conocimiento ancestral de los ciclos reproductivos de las diferentes especies costeras. Para el Abrigo de los Escorpiones en Eréndira y para los sitios de Colonet, en la parte de la mesa y hacia el sur de ésta, la abundancia de conchas propias del ambiente arenoso como las almejas nos hacen suponer que estos contextos provienen cuando menos del Holoceno medio ya que en la actualidad, depués del aumento en el nivel del mar, no existen playas arenosas, como sí las hubo en el Holoceno temprano o medio. Existe también abundancia de conchas de *mytilus, fissurella, lottia* y *collisella* provenientes del intermareal rocoso, seguramente de la zona baja del cantil del Cabo y de otras zonas que quedaron igualmente sumergidas por el avance pospleistocénico del mar.

Las herramientas utilizadas para llevar a cabo esta práctica son principalmente lascas por reducción de núcleo que se elaboraron en talleres de evento "singular", práctica prehistórica definida por Binford (1980) como "tecnología expedita" en donde las herramientas se elaboraban "al momento" de existir un necesidad dada, especialmente la relacionada a la práctica estacional de la recolección de moluscos, en el desprendimiento de las almejas de las rocas o para abrir sus conchas. Así, los cambios en la tecnología lítica dependían directamente del tipo de molusco

Figura 5. Conchas de moluscos.

al que se accedía. Aquellos que requerían un mayor esfuerzo tecnológico para desprenderlos de las rocas como el *mytilus* (mejillón) debían tener largos y firmes filos a diferencia del instrumental usado para extraer de la playa arenosa a la *tivela* (pismo). Los cuchillos y las puntas fueron instrumentos utilizados para la cacería y para destazar mamíferos marinos como los lobos, las focas y las nutrias.

Por su parte, las fuentes etnohistóricas refieren también la existencia de recursos alimenticios aprovechados por los indígenas de esta región. El padre Serra por ejemplo, realiza la descripción de San Telmo, muy cerca de Colonet:

> "*...este paraje es espaciosísimo y tendrá más de una legua de hermosísimo pasto, y entre él algunos tablones de tulares manando en agua; y al fin de él, en donde paramos, tiene una poza de agua clara, dulce y excelente que tendrá de largo como 150 varas (aunque otros le echan más) y de ancho no bajarán de 20, y tan profunda que por los lados y su remate, desde el primer paso, no se halla pie." Más adelante continúa: "...En dicha poza han cogido nuestros neófitos algunas tortugas*" (Lazcano, 2002).

El aprovechamiento de plantas

La tatema del agave

Esta práctica representó en Colonet, de igual manera como lo indican los resultados de Moore en San Quintín, una alternativa de alimentación importante en las comunidades prehistóricas desde el Holoceno medio, particularmente cuando el cambio climático había generado un sustancial aumento en el nivel del mar, dejando sumergidas antiguas zonas del internareal rocoso, donde abundaban los moluscos como el *Mytilus californianus*. En consecuencia, tuvo que darse un cambio en las prácticas culturales, como una reacción adaptativa al cambio climático, situación que permitió un mayor aprovechamiento del uso de las plantas, especialmente del agave. En la zona de San Quintín se han localizado en superficie algunos hornos para la tatema de este vegetal (figura 6) y mucha de la tecnología expedita, especialmente cuchillos y raspadores que fueron utilizados para cortar las pencas y el corazón para la preparación de este alimento (figura 7). Otra práctica importante asociada al agave es el proceso de despulpamiento de las pencas para la elaboración de cordelería con las fibras resultantes. Las fibras eran la base de fabricación de muchos objetos de uso doméstico en estas comunidades como las sandalias y las bolsas, además de cordeles para anzuelos y redes de pescar, instrumental esencial para las prácticas de pesca (figura 8).

Los primeros europeos que llegaron a la península dan cuenta de este recurso. El padre Miguel del Barco (1988) menciona que:

> *"...entre todas las plantas de la California, la del mezcal es la que más útil y proficua a sus naturales. Las demás proveen de sustento a lo sumo una temporada de dos o tres meses: el mezcal la mayor parte del año. Las otras no dan su fruto todos los años sino que muchos,*

Figura 6. Horno de agave.

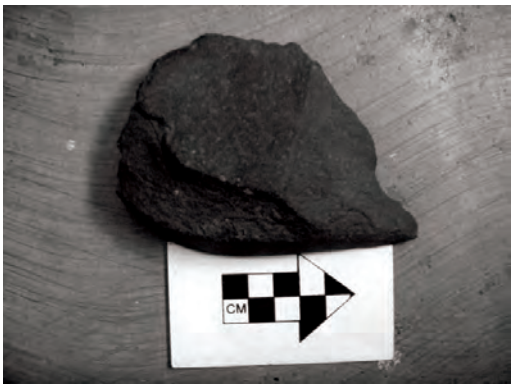


Figura 7. Cuchillo.

o en los más, nada o poco fructifican; pero los mezcales constantemente todos los años, sin interrupción, suministran a los indios el alimento necesario. De suerte que, exceptuando los playanos, que toman del mar su principal sustento, los demás no pudieran vivir si no hubiera mezcal, si no tuvieran el recurso que, después de cristianos, han tenidos las misiones, si bien éstas por lo regular no pueden sustentar a todos".

Figura 8. Sandalias.

Más adelante, relata

"Y en tales ocasiones caminan agobiadas, bajando no sólo la cabez sino inclinando también los hombros y la espalda, para que sobre ésta descanse algo del peso de la carga y la cabeza pueda resistir, y forcejar mejor contra el mismo peso. Demás del uañí, lleva cada una un cuchillo belduque. Y a falta de machete (de que algunas pocas, más acomodadas, ya usan), para cortar el tronco de mezcal, tienen una pequeña tabla de madera dura, ancha, de tres a cuatro dedos, y larga de dos a tres palmos, a modo de un pedazo de hoja de espada ancha, pero sin punta aguda y, en lugar de ella, adelgazan por aquella parte la tablita, para que por allí corte el mezcal".

Una referencia directa al uso del agave en Colonet lo proporciona la relación de Juan Páez acerca de la llegada del navegante Juan Rodríguez Cabrillo a Colonet:

"Estando en este cabo de San Martín fueron en tierra por agua y hallaron una laguna pequeña de agua dulace donde tomaron agua. Y en esta aguada vinieron los indios en número de 40 con sus arcos y flechas, no se pudieron entender con ellos, venían desnudos, traían maguey asado para comer y pescado" (Lazcano, 2007).

Muy posiblemente, y en concordancia con varios autores que han investigado la región de Colonet-San Quintín en la época anterior al contacto europeo, la preparación del mezcal llegó a ser la práctica alimenticia primaria de estas comunidades.

La molienda de semillas

El cambio climático orientó el aprovechamiento integral de las plantas; de esta manera se observan en superficie variados artefactos manufacturados para la molienda, especialmente de semillas. En los asentamientos prehistóricos de Colonet se han conservado varios morteros y abundantes manos usados en la molienda. La utilización de este recurso en tiempos posteriores a las prácticas intensivas de recolección de moluscos y de cacería sugiere, al igual que en Eréndira y San Quintín, una adaptación cultural al medio ambiente del Holoceno medio, cuando arriva la vegetación semiárida del desierto costero. Poco a poco, las prácticas alimenticias fueron centrándose en los ciclos reproductores de las plantas y de sus frutos y los grupos o bandas adoptaron el "forrajeo" como forma de organización económica a partir del Holoceno tardío hace aproximadamente 4 000 años. Las especies vegetales utilizadas en las prácticas alimenticias en la prehistoria y que aún sobreviven en la actualidad son entre otras, la jojoba, la manzanita y la chía. También algunas semillas de frutos como la biznaga o la pitahaya fueron molidas y hechas harinas que sirvieron de base para la elaboración de atoles y bebidas. La tabla 1 presenta el análisis bromatológico por especie vegetal hecho para el grupo Kolew, cuyas bandas aprovechaban los ciclos estacionales de estas especies al igual que de los moluscos en el Holoceno tardío para bajar a la costa del Pacífico, entre San Quintín y Colonet (Lucero, 1995).

Tabla 1. Resultados del análisis bromatológico por especie utilizados por los grupos indígenas prehispánicos de Baja California (tomada de Lucero, 1995).

Nombre común	Proteína	Carbohidratos	Lípidos	Fibra	Minerales	Calorías
Mescal						
a)asado	3.89	12.65	1.8	77.31	4.35	36.82
b)fresco	5.4	15.85	1.89	72.33	4.79	100.97
Jojoba	29.13	2.56	39.14	27.14	2.03	489.26
Chía	10.98	6.16	35.12	40.44	7.30	384.64
Pitaya Agria	21.38	13.74	9.42	61.37	3.42	225.26
Biznaga						
a)pulpa	8.83	4.90	2.08	54.76	29.43	73.64
b)semilla	19.82	3.77	19.71	52.93	3.77	271.75

Lecciones aprendidas: el cambio climático, el patrimonio cultural costero y el desarrollo sustentable

El cambio climático ha sido una constante en la historia humana. En la costa noroeste de Baja California, las practicas culturales de los grupos prehistóricos se dieron como una reacción al aumento del nivel del mar y al avance de la vegetación desértica. Las bandas de cazadores-recolectores-pescadores pudieron bajo ese esquema de cambio medioambiental desarrollar estrategias para el aprovechamiento de plantas y animales que no eran importantes en otras epocas; así lo constatan los artefactos arqueológicos dejados por aquellos primeros habitantes de la península de Baja California. Pero el cambio climático con el ininterrumpido avance de la deserficación ha sido un factor altamente limitante para el desarrollo de las comunidades que hoy viven en esta región. Los ríos que antiguamente eran fuentes perennes de agua, se encuentran secos y los acueductos se han agotado o se han contaminado por el agua de mar. El conocimiento de las adaptaciones prehistóricas al cambio climático debe dejarnos varias lecciones, entre ellas que debemos echar mano de estrategias adaptativas para abatir la pobreza y mejorar el nivel de vida de las comunidades de las zonas áridas. En este sentido, el trabajo arqueológico debe representar no sólo una aportación al conocimiento científico y a la conservación del patrimonio cultural, sino también servir como insumo básico para atender las necesidades de desarrollo sustentable de las comunidades rurales, generalmente olvidadas de los programas sociales y con graves carencias de infraestructura y servicios. En este contexto el patrimonio cultural tangible que se rescate de la investigación arqueológica debe ser aprovechado como insumo en el diseño de programas de manejo ecoturísticos, y en la creación de museos comunitarios que permitan a las comunidades actuales un mayor nivel organizativo y educativo a partir del conocimiento de las prácticas culturales de las comunidades del pasado y del manejo del patrimonio que les pertenece.

Los museos comunitarios han fundado un modelo de participación activa de las comunidades en tareas como la investigación, conservación y difusión del patrimonio cultural. En nuestro país el museo comunitario ha jugado un papel importante principalmente en las comunidades indígenas del sur del país como catalizador de la capacidad organizativa y educativa de las comunidades automotivadas que ven en el museo comunitario no sólo el recinto que alberga objetos del pasado sino también un espejo donde la comunidad puede mirarse como generador y portador de cultura y asumir una actitud activa frente al presente y, por supuesto, al futuro (Bedolla, 1995). Las plantas que dieron alimento y abrigo a muchas generaciones de individuos durante la prehistoria se encuentran aún en el paisaje rural de esta región costera, pero sin uso alguno; olvidadas e ignoradas. Es tiempo de aprender del pasado.

Sugerencias y recomendaciónes

La fase de prospección arqueológica en superficie que se realizó en el corredor costero Erén-dira-San Quintín ha aportado información relevante acerca de las prácticas culturales de las comunidades prehistóricas de la región del Pacífico norte que se dieron como consecuencia del cambio climático generado con el fin del Pleistoceno; sin embargo, el estudio no ha concluído. La siguiente etapa de la investigación será la excavación intensiva y extensiva de sitios donde exista mayor probabilidad de encontrar ocupaciones largas e información que nos permita reconstruir la evolución ambiental de esta región. Paralelamente, es necesario encontrar la secuencia estratigráfica que nos permita conocer con mayor precisión el desarrollo histórico de las prácticas domésticas y de aquellas relacionadas con su cosmovisión, como las prácticas funerarias, los rituales de iniciación y las creencias religiosas. Más allá de esto, persiste el reto de poder entender más profundamente cómo se entrelazan sincrónicamente el conjunto de prácticas culturales que tomaron lugar en épocas marcadas por severos cambios ambientales derivados del aumento en la temperatura del planeta. Importante será también hacer uso del conocimiento al que nos da acceso la investigación arqueológica para que las comunidades conozcan y entonces valoren el pasado como una vía que les permita el desarrollo sustentable a través del manejo de su propio patrimonio y del aprovechamiento de los recursos que permitieron la sobrevivencia de aquellas comunidades ante el cambio climático. Un camino para lograr esto es la apropiación del patrimonio a través del museo comunitario, donde podrán converger historia, identidad y desarrollo.

Literatura citada

Arnold, B., 1984. Early man in Baja California-evidence and interpretation. *Pacific Coast Archaeological Society Quaterly*. 20(1): 27-36.

Bedolla, A. G., 1995. Museos comunitarios: una experiencia social. *Revista México en el Tiempo*, 1(6): 49-56.

Binford, L.R., 1980. Willow smoke and dog's tails: hunter-gatherer settlement systems and archaeological site formation. *American Antiquity,* 45 (1): 4-20.

Bryan, A., 1999. El poblamiento originario. p. 41-67. En: Historia General de America Latina. Vol. I, UNESCO.

Davis, L., 1999. Resultados de las investigaciones arqueológicas en el sitio de La Bocana, Baja California Norte. Memorias del II Encuentro Binacional: Balances y Perspectivas de la Antropología e Historia de Baja California. INAH. 31 p.

Davis, L., 2003. Geoarchaeology and geochronology of pluvial Lake Chapala, Baja California, Mexico. *Geoarchaeology: An International Journal*, 18(2): 19 p.

Del Barco, M., 1988. Historia Natural y Crónica de la Antigua California. Estudio preliminar, notas y apéndices de Miguel León-Portilla. UNAM-IIH. 482 p.

Figueroa, C., 2007. Arqueología de superficie en Colonet: interpretaciones preliminares**.** Memorias del congreso Balances y Perspectivas de la Antropología en Baja California. INAH-Conaculta. 18 p.

Fladmark, K. R., 1978. The feasibility of the northwest coast as a migration route for early man. p. 119-128. *In*: A. Bryan (ed.). Early man in America from a Circum-Pacific Perspective. University of Alberta. Department of Anthropology Ocassional Papers No.1, Edmonton.

Gruhn R., y A. Bryan, 1999. Results of the 1997 excavations at the Abrigo Paredon Laguna Chapala, Baja California, Mexico. Informe INAH. 31 p.

Gruhn, R., y A: Bryan, 2000. Informes técnicos temporada 2000 de excavación en Abrigo de los Escorpiones, Eréndira, B.C.

Gruhn, R., y A: Bryan, 2001. Informes técnicos temporada 2000 de excavación en Abrigo de los Escorpiones, Eréndira, B.C.

Gruhn, R., y A: Bryan, 2002. Informes técnicos temporada 2000 de excavación en Abrigo de los Escorpiones, Eréndira, B.C.

Gruhn R., y A. Bryan, 2004. Informe sumario de la temporada cuarta de excavaciones en el Abrigo de los Escorpiones, Baja California. Informe Técnico. INAH. 11 p.

Lazcano, C., 2002. Diario de Fray Junípero Serra. Colección Ensenada (5).119 p.

Lazcano, C., 2007. Mas Allá de la Antigua California. La navegación de Juan Rodríguez Cabrillo 1542-1543, Col. Navegantes (5). 111 p.

Lucero, J. E., 1995. Determinación de la calidad nutricional de la flora utilizada como alimento por el grupo étnico Kolew de Arroyo de León, B.C. Tesis de Licenciatura. UABC-Fac. de Ciencias. 97 p.

Moore, D. J., 2001. Proyecto arqueológico San Quintín-El Rosario adaptaciones indígenas en el norte de Baja California durante 7 000 años. Informe Final INAH. 143 p.

Shennan, S., 1993. After social evolution: a new archaeological agenda? p. 53-70. *In:* Yefee y Sherrat (comps.). Archaeological Theory: Who Sets the Agenda? Cambridge University Press.

Yesner, D., 1980. Maritime hunter-gatherers: ecology and prehistory. *Current Anthropology*, 21(6): 727-50.

Seingier G., I. Espejel, J.L. Fermán, y O. Delgado, 2010. Vulnerabilidad de las poblaciones costeras ante la peligrosidad natural, enfoque estatal y municipal. p. 669-688. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Vulnerabilidad de las poblaciones costeras ante la peligrosidad natural, enfoque estatal y municipal

Georges Seingier, Ileana Espejel, José Luis Fermán y Oscar Delgado

Resumen

En este capítulo se calcula un índice de vulnerabilidad de los estados de la costa mexicana, el cual, al relacionarlo con la peligrosidad natural de las planicies costeras, representa un índice de riesgo costero. La peligrosidad consideró dos conceptos: peligrosidad física, la cual se midió sumando la longitud de la línea de costa, el número de cuerpos de agua marinas interiores (bahías y lagunas), la proporción de la planicie en el municipio y la peligrosidad climática que se basó en la frecuencia de los eventos meteorológicos. Se incluyeron tres tipos de vulnerabilidad socioambiental: la vulnerabilidad demográfica, dada por el número de habitantes y la densidad por km^2 en la planicie, la vulnerabilidad socioeconómica que considera el promedio del índice de marginación de las localidades en la franja costera y la vulnerabilidad que les da el haber perdido vegetación natural en la franja costera cuya función, como servicio ambiental, es la protección de la costa. Los estados costeros con un índice de riesgo costero alto son Tamaulipas, Quintana Roo (cuya peligrosidad es mayor que la vulnerabilidad), Veracruz y Baja California (cuya vulnerabilidad es mayor que la peligrosidad). Le siguen con riesgo medio Tabasco, Campeche, Michoacán, Sinaloa, Baja California Sur y Guerrero. Los 7 estados restantes presentaron riesgo costero bajo. Se presentan también los datos municipales y se hace un análisis del papel que juega el crecimiento poblacional proyectado al 2030 en el índice de riesgo. A pesar de las perdidas ocasionadas por ejemplo en Cancún por el huracán Wilma o en el sureste debido al huracán Stan, se insiste en desarrollar las costas con modelos idénticos de construcción tanto de nuevas y largas ciudades turístico-residenciales

con frente de mar y enormes puertos de carga en ciudades industriales. Por lo tanto, no se proyecta un escenario futuro diferente, de hecho será peor, ya que aumentará la población vulnerable a los efectos del cambio climático la cual vivirá en sitios peligrosos por lo que habrá más municipios con mayores índices de riesgo costero.

Introducción

Según el Reporte del Banco Mundial 2010 (World Bank, 2009), los impactos físicos del cambio climático, como los son la elevación del nivel medio del mar, la intensidad y frecuencia de huracanes y el recrudecimiento de sequías, amenazan las vidas y la seguridad de millones de personas en el mundo en vías de desarrollo. Para reducir la vulnerabilidad a estos impactos, todos los países necesitarán adaptarse estratégicamente a las condiciones cambiantes del ambiente. Según esta fuente, con un metro que se eleve el nivel del mar, ahora considerado en nuestro tiempo de vida, aumentarán los problemas ya existentes en abastecimiento de alimentos y desaparición de ecosistemas costeros (los cuales amortiguan tormentas en las ciudades costeras y favorecen la producción pesquera).

El cambio climático es un reto más que enfrentan los países en desarrollo, el cual, de no atenderse pronto, revertirá las ganancias que hasta ahora se han logrado con el desarrollo económico de dichos países. Aunque México se ha sumado a los esfuerzos de un desarrollo que incorpora cuestiones de clima en cuanto a políticas y estrategias (Semarnat, 2007a), en la práctica se siguen desarrollando grandes proyectos costeros (principalmente centros residenciales, turísticos y puertos) que no parecen prevenir los efectos de un clima cambiante.

Para poder imaginar lo que le sucederá a la población mexicana que vive en las costas, en escenarios de elevamiento de mar y cambios en el clima, primero debemos visualizar el estado actual de la costa ya que este escenario refleja las consecuencias del crecimiento poblacional costero.

Por eso, en este capítulo, se toma de la OCDE un modelo para medir el desarrollo sustentable y lo aplicamos a las costas mexicanas. El esquema calcula la vulnerabilidad de la población humana, la peligrosidad de la costa mexicana y el riesgo a efectos de cambio climático. Quizás reduccionista, porque no considera todas las posibles variables ni interacciones de un sistema complejo, como lo es la costa mexicana, el modelo que se presenta es una especie de caricatura que refleja los puntos donde la población de mexicanos es más vulnerable porque viven en zonas naturalmente peligrosas. El aumento de la población en municipios costeros con peligrosidad costera es relativamente nuevo, ya que la historia del desarrollo costero de México es muy reciente (Gutiérrez de MacGregor y González Sánchez, 1999; León, 2004) aunque muy concentrado en ciertas ciudades costeras.

La definición oficial de costa mexicana corresponde a los municipios con frente de mar y a aquellos en planicies costeras con presencia de vegetación de humedales (segundo y tercer orden) (Semarnat, 2007b). En este caso se eligió hacer los cálculos para 169 municipios que tienen frente de mar o laguna costera (Seingier *et al.,* 2009), los cuales, para una mejor interpretación, se agruparon por estados, sin perder las particularidades municipales.

Para entender los conceptos de vulnerabilidad y riesgo utilizados en este capítulo, asociados a peligros naturales desde el punto de vista de la geología (Cardona, 1993; Cendrero, 1997; Romero y Maskrey; 1993, UNDRO, 1979; Varnes, 1984; Wilches-Chaux, 1993), se hacen las siguientes aclaraciones: se entiende por riesgo costero al encuentro en un territorio naturalmente peligroso (por sus características físicas como son presencia continua de huracanes, de suelos inundables, de costas erosionables, de incendios naturales, etc.) de una población humana que es vulnerable porque está marginada, (porque no tiene la mínima infraestructura urbana, es pobre, vive en lugares densamente poblados, etc.). Así por ejemplo, un municipio con más riesgo costero será aquel que tenga una costa larga, que posea una gran proporción de planicie costera, que haya frecuente presencia de huracanes y esté habitada por una densa población marginada. Se podría hablar de vulnerabilidad socioambiental cuando además dicha población vive en donde se ha eliminado o transformado la vegetación natural con la consecuente pérdida de protección natural que este hecho conlleva.

Este trabajo considera que con –o sin cambio climático– y a partir de los datos retrospectivos de los censos e inventarios forestales, se pueden construir modelos que midan el aumento de la vulnerabilidad socioambiental en los estados con características más peligrosas, proporcionar un aproximado que permita visualizar los efectos del riesgo de inundación, por ejemplo, en los municipios y estados que conforman al México costero.

Hasta ahora, se ha explorado poco la relación de la población costera de los municipios mexicanos con un grado de riesgo regional y local ante escenarios de cambio climático (Seingier *et al*., 2009, y Martínez *et al*., 2006). Por eso, el objetivo de este capítulo es presentar algunas implicaciones que pudiera tener el aumento del riesgo costero tomando en cuenta a ciertos indicadores de las bases de datos oficiales mexicanas (básicamente los censos y conteos poblacionales y los inventarios forestales de INEGI), para que pueda dárseles seguimiento automáticamente cada cinco o diez años.

Para esto, se analizan los municipios agrupados en estados, según indicadores de peligrosidad (física), vulnerabilidad (socioambiental) y que sumados reflejan el riesgo a sufrir las consecuencias que conllevarían los eventos climáticos cambiantes.

Estado del arte

El cambio climático global, como consecuencia de cambios naturales y antropogénicos, es una de las amenazas ambientales más serias a las que el hombre se ha enfrentado, y éste se manifiesta en los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del nivel del mar (IPCC, 2007).

El calentamiento global durante los pasados 100 años ha ocasionado una expansión térmica del agua oceánica y un influjo neto de agua por el deshielo de los glaciares. Los registros más recientes de cambios del nivel del mar consisten de datos altimétricos de los satélites TOPEX/Poseidon y Jason (Nerem y Mitchum, 2001). Para un periodo de 10 años, entre 1993 y 2003,

los datos de altimetría de satélite muestran que la razón de elevación del nivel del mar fue 3.1 +/- 0.7 mm/ año (Cazenave y Nerem, 2004; Leuliette*, et al.*, 2004).

La elevación del nivel del mar es una amenaza particularmente importante porque 10% de la población mundial (634 millones de personas) habitan las zonas costeras con elevaciones entre los 0 y 10 m por arriba del nivel medio del mar, de las cuales 360 millones se encuentran en zonas urbanas.

México tiene una importante cantidad de áreas costeras con elevación entre 0 y 10 m sobre el nivel del mar, que le colocan en el octavo lugar en el contexto mundial (McGranahan*, et al.*, 2007). Se puede suponer que más del 50% de los aproximadamente 16.4 millones de habitantes que habitan en los municipios costeros (INEGI, 2006), al igual que su infraestructura se encuentran ocupando espacios físicos en dicha cota, además de las estructuras naturales, como las lagunas costeras y las estructuras sedimentarias tipo dunas, estarán expuestas a ser inundadas ante una elevación del nivel del mar, condición que aumenta la vulnerabilidad de estas áreas costeras a las inundaciones causadas por los surgimientos de tormenta, los tsunamis y condiciones de marea astronómica extrema. Conforme sube el nivel del mar, los efectos asociados a tormentas de una intensidad dada podrán llegar a alcanzar cotas de nivel más altos sobre el continente, extendiendo más las áreas de inundación.

Es importante señalar que buena parte de los problemas asociados con el aumento en el nivel del mar representan los efectos acumulados de procesos que han empezado desde hace décadas, quizás siglos, y que estos efectos pueden estar relacionados con otros efectos naturales y antropogénicos, tales como la reducción o inhibición de suministro de sedimentos a las costas. Además de la posible influencia de estos factores, la elevación del nivel del mar puede considerarse como el mayor agente que ha causado erosión de las costas (Leatherman *et al.*, 2000; Cooper y Pilkey, 2004). Los datos obtenidos con instrumentos para registrar la marea sugieren que a partir de 1993 la razón de aumento del nivel del mar se ha incrementado a 3 mm/año (Church y White, 2006), que sugiere que la situación puede acelerar procesos que han estado presentes por siglos, como inundaciones de los primeros metros de costa, erosión en las playas, intrusión salina y pérdida de cuerpos protegidos (Bird, 1993; Leatherman, 2001).

Además del incremento de las inundaciones e impactos de tormenta en las comunidades costeras de las regiones bajas, la aceleración en el aumento en el nivel del mar afectará de manera dramática las playas de arena y las costas con islas de barrera. Estos impactos están más allá de la inundación ocasionada por la elevación del agua oceánica, e implica la pérdida permanente o casi permanente de las playas de arena. Los análisis de los balances de sedimentos muestran que la zona cercana a la playa y los deltas de marea, entre otros elementos, pueden funcionar como reservas sedimentarias (Komar, 1998). El proceso de erosión en escala de periodos largos de tiempo que se presentan en algunas playas pueden verse afectadas por la aceleración en el cambio en el nivel del mar, lo cual puede llevar al deterioro de la costas que tienen entre sus componentes las barreras de arena tipo isla, las cuales protegen zonas de alta productividad e importancia ecológica, al igual que protegen la parte continental al embate directo de tormentas y erosión.

Otro de los retos que plantea la elevación del nivel del mar es el impacto social y económico que representa para las áreas costeras (Nicholls y Leatherman, 1996; Gornitz*, et al.*, 2002). El reto, por lo tanto depende de la capacidad de disponer de información sobre los efectos sociales y económicos que representa la aceleración observada en esta elevación del nivel medio del mar. En México la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) realizo un esfuerzo de integrar la información disponible para emitir un primer diagnóstico de las posibles afectaciones a las que está expuesto el país ante la variabilidad climática y el calentamiento global (Semarnat-INE, 2006), sin embargo, este esfuerzo no abordó el daño potencial que representa un aumento en el nivel del mar a los espacios costeros del territorio nacional que contemple información conjunta de la vulnerabilidad de la población establecida en la costa y la peligrosidad costera.

El análisis del presente trabajo se hizo con una base de datos municipal pero agrupándolos en sus respectivos estados. En este apartado describiremos los resultados de analizar la costa mexicana según los indicadores explicados en la tabla 1.

Índice de riesgo costero (IRC)

El resultado de la combinación de peligrosidad costera con la vulnerabilidad socioambiental proporciona información que permite identificar los estados costeros (figura 1) y los municipios costeros (figura 2) con más riesgos ante eventos de cambio climático. Es decir, el estado con más riesgo costero es aquel que tiene una costa larga, tiene una gran proporción de planicie costera, que sufre de una frecuente presencia de eventos meteorológicos y está habitado por

Tabla 1. Indicadores utilizados para ejemplificar el riesgo costero en México.

RIESGO (IRC)=∑(IPC, IVC)

Índice de Peligrosidad Costera (IPC)

IPC=∑(SIPF, SIPC) ; ***SIPF=∑(l, p, a); SIPC=(em)***

Subíndice de Peligrosidad física (SIPF)

Indicador: Longitud de la línea de costa municipal (km)(l)
Indicador: porcentaje del área municipal en la planicie (%) (p)
Indicador: Número de aguas marinas interiores (#) (a)

Subíndice de Peligrosidad climatológica (SIPC)

Indicador: Frecuencia de eventos meteorológicos (%)(em)

Índice de Vulnerabilidad Socioambiental Costera (IVSC)

IVSC=∑ (pob, dpob, mar, st)

Indicador: Población en la planicie costera en 2005 (pob)
Indicador: Densidad poblacional en la planicie (habitantes por km^2) (dpob)
Indicador: Marginación por localidad promedio en la planicie (mar)
Indicador: Porcentaje de suelo transformado en una franja de 2km (%) (st)

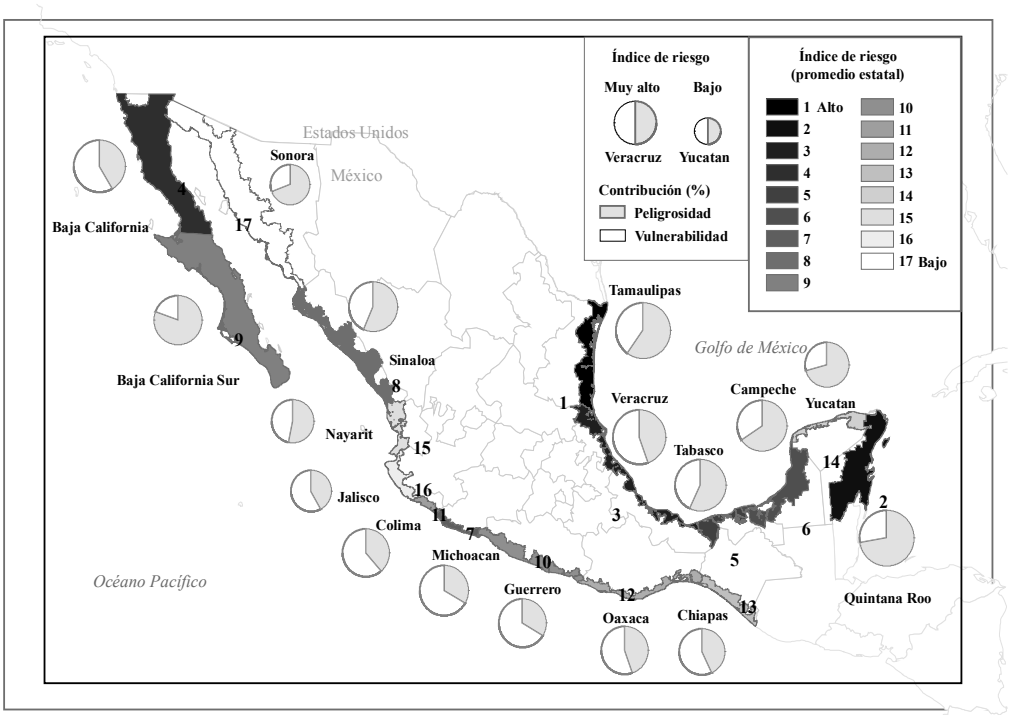


Figura 1. Promedios estatales de los índices municipales de riesgo: contribución de la peligrosidad y de la vulnerabilidad al índice de riesgo.

una densa población marginada, además que ha eliminado o trasformado la vegetación natural costera.

Los estados con un índice de riesgo costero alto (figuras 1 y 2) son Tamaulipas y Quintana Roo, cuya peligrosidad es mayor que la vulnerabilidad, y Veracruz y Baja California, cuya vulnerabilidad es apenas mayor que la peligrosidad. Le siguen con riesgo medio Tabasco, Campeche, Sinaloa, Baja California Sur, Michoacán y Guerrero donde a excepción de los dos últimos, la peligrosidad supera a la vulnerabilidad. El resto de los estados tienen riesgo costero bajo; en los estados del Pacífico sur, la vulnerabilidad supera a la peligrosidad. En general en la figura 1 es notorio que los estados del Golfo de México y Caribe y los del noroeste de México, con excepción de Baja California, la peligrosidad supera a la vulnerabilidad socioambiental costera. Es decir, que en estos estados las variables físicas prevalecen en su aportación al índice de riesgo, y esto es claro porque en ellos hay más costas (noroeste de México) o más huracanes y tormentas tropicales (Golfo de México –con la excepción de Veracruz– y Caribe). En cambio en los estados pequeños del Pacífico sur, de costas de menor longitud, y Veracruz con muchas bahías y lagunas, y con poblaciones más marginadas y densamente poblados, la vulnerabilidad domina sobre la peligrosidad natural de sus costas.

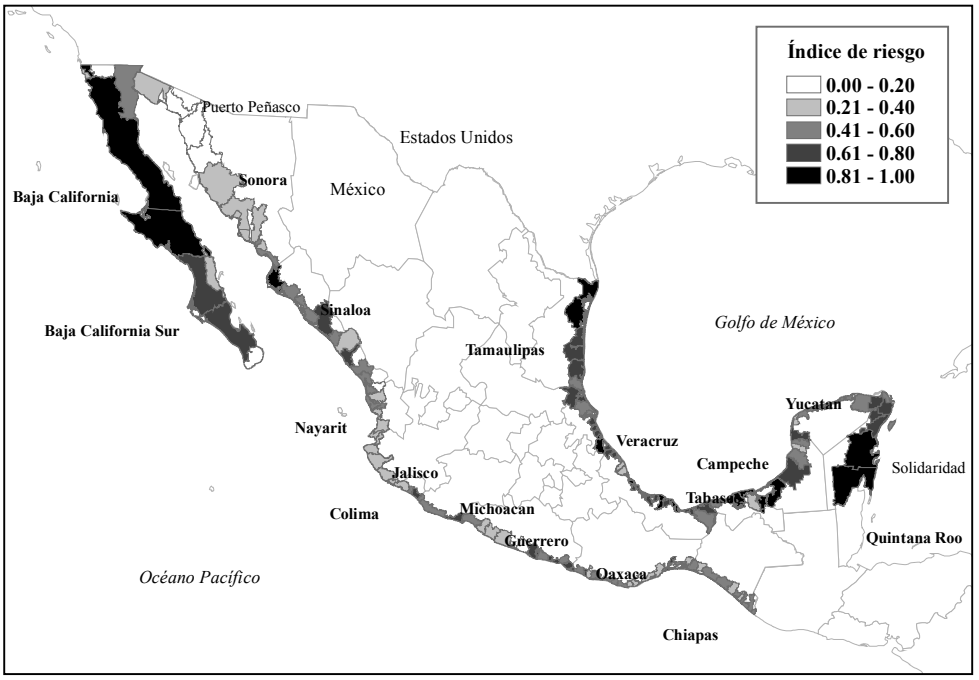


Figura 2. Índices municipales de riesgo.

La aplicación del índice en la construcción de una costa mexicana sustentable propiciaría la atención a disminuir la vulnerabilidad de los estados costeros del Pacifico sur y Veracruz y a limitar el crecimiento de desarrollos turísticos y portuarios en los estados del Golfo de México y Baja California, ya que esto conlleva a aumentar el riesgo donde ya es alto el IRC. Diferenciar entre vulnerabilidad y peligrosidad es importante en la planeación, ya que la vulnerabilidad puede manejarse: depende totalmente de voluntades políticas y acciones netamente humanas, con tomadores de decisiones nacionales y algunas de ellas con soluciones en cortos y medianos plazos; mientras que la peligrosidad natural costera de un estado o municipio es algo que debe asumirse como limitante para el desarrollo sustentable de las costas. En estos estados es importante aplicar medidas adaptativas al cambio climático que permitan evitar el aumento del riesgo ya provocado y usarse como ejemplo de lo que no conviene repetir.

Sin embargo, en otra escala más fina, cada estado tiene su propia diversidad, no todos los municipios de un estado con IRC alto tienen todos sus municipios con un IRC igualmente alto. En la figura 3, es importante visualizar que casi la mitad (54%) de los municipios están debajo de la media y casi la otra mitad (46%) arriba de la media del IRC, lo que quiere decir, es que estamos a medio camino y es el momento de decidir si queremos aumentar el riesgo costero nacional, o reconsiderar y mejor aunar esfuerzos para revertirlo.

Ocho de los 17 estados tienen aproximadamente la mitad de municipios con IR abajo del promedio y la otra mitad con IR arriba de la media (0.53), destacan Jalisco y Sonora sin un solo municipio arriba del IR promedio. Preocupante es que Tamaulipas y Veracruz, que tienen la mayoría de municipios con IRC arriba de la media (89% y 71% respectivamente), en ambos estados hay proyectos de crecimiento de sus puertos y desarrollos turísticos y habitacionales en las costas que seguramente incrementarán el riesgo costero estatal (Pérez Villegas y Arrascal, 2000).

Es interesante notar que hay municipios con altísimo riesgo costero en los estados de Veracruz y Quintana Roo, donde se siguen promoviendo los proyectos portuarios y desarrollos inmobiliarios turísticos; pero también en los estados con riesgo costero medio como Sinaloa, Campeche y Baja California Sur. De ser los desarrollos como los conocemos hasta ahora (Cancún, Los Cabos), estos estados pasaran a acompañar la lista de estados de IRC alto en un futuro cercano.

Cabe mencionar los municipios con valores extremos. Seis de ellos: Ahome en Sinaloa, Felipe Carrillo Puerto en Quintana Roo, Ciudad del Carmen en Campeche, Boca del Río en Veracruz, Mulegé en Baja California Sur y Tijuana en Baja California, tienen el IR más alto (de 9 a 1). Los municipios con menor IR (menor de 3), son Pitiquito en Sonora, San Miguel del Puerto en Oaxaca, Acaponeta en Nayarit, Los Cabos en Baja California Sur, Cabo Corrientes en Jalisco, San Ignacio en Baja California Sur, Playas de Rosarito en Baja California,

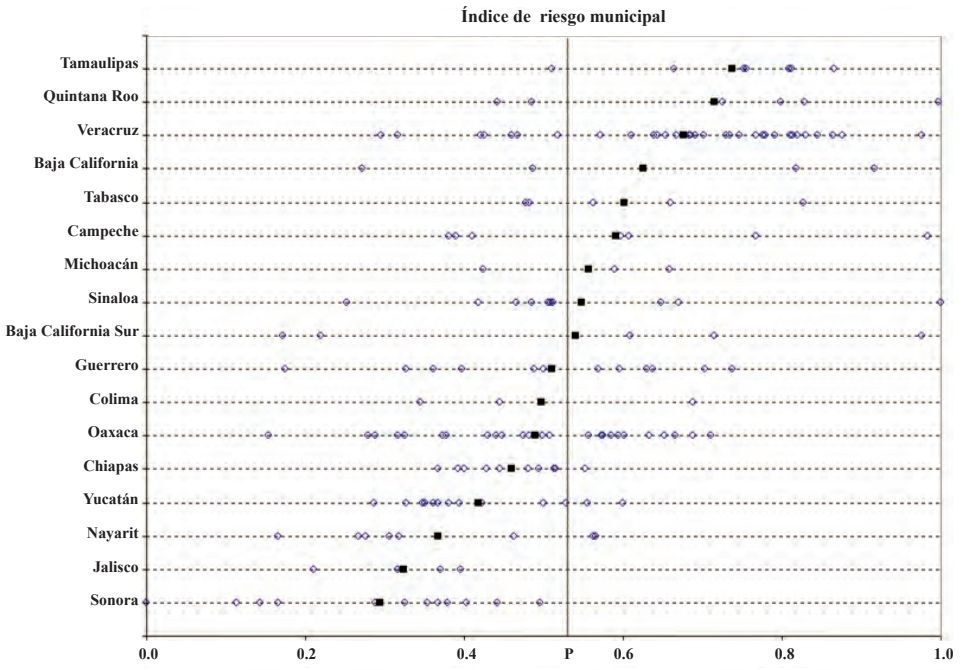


Figura 3. Datos de los 169 municipios costeros agrupados en los 17 estados. El punto negro es el promedio estatal del índice de riesgo y la línea marca el promedio de 0.53 de IR municipal..

Actopan en Veracruz y Dzizantún en Yucatán. Cada uno de ellos tienen un IRC alto o bajo por diferentes razones que serán explicadas cuando se hable de los indicadores de peligrosidad y vulnerabilidad.

El desglose y explicación de los subíndices con sus respectivos indicadores se explica a continuación.

Índice de peligrosidad costera (IPC)

Un estado o municipio puede ser considerado peligroso ante los efectos de cambio climático cuando tiene la mayor proporción de costa del país, la mayoría de las lagunas y bahías (AMI) de México, una gran proporción de planicie costera y que proporcionalmente ha sido golpeado por más eventos hidrometeorológicos extremos de cualquier intensidad en los últimos 150 años (NOAA, 2005). Por lo tanto, si no tiene la mayor proporción de costa, ni la mayoría de AMI, una gran proporción de planicie costera y con buena proporción de eventos, no es peligroso.

El resultado muestra que Quintana Roo, Baja California Sur, Tamaulipas y Campeche son los estados que muestran mayor peligrosidad; aunque Tabasco, Yucatán, Sinaloa y Veracruz tienen peligrosidad arriba de la media nacional (IP=0.35). En cambio, los estados del Pacífico sur son los menos peligrosos ante los efectos del cambio climático, se espera que los proyectos de Nayarit (Litibú, El Capomo y La Peñita), de Sinaloa (Escuinapa-Teacapan) de Jalisco cerca de Chamela y de Puerto Peñasco (Sonora), que tienen IPC bajo, el desarrollo de los proyectos turísticos se lleve a cabo de manera que no aumenten la vulnerabilidad socioambiental de sus municipios donde se realizarán.

Menos aceptables nos parecen los proyectos en los municipios más peligrosos ante eventos de cambio climático como son los de Felipe Carrillo Puerto en Quintana Roo que es donde está creciendo el proyecto de Riviera Maya y en Mulegé que es donde hay proyectos enormes de segundas residencias para extranjeros (corredor Loreto-Puerto Escondido).

Subíndice de peligrosidad física (SIPF)

Se eligieron indicadores de peligrosidad basados en características físicas de la costa. Estos tres indicadores representan elementos ecosistémicos que han sido utilizados para zonificar áreas costeras y marinas (Escofet, 2004; Espejel y Bermúdez, 2009; Ortiz y Méndez, 1999). Así, en nuestros términos, el estado más peligroso físicamente hablando, es aquel que tiene más costa, más proporción de planicie costera, más lagunas, esteros y bahías.

Indicador: Longitud de la línea de costa (km)(l)

Consideramos que el estado flanqueado por mayor longitud de costa[1] es, obviamente, el más costero. Así Baja California Sur es el estado más costero del país. La mayoría de los estados mexicanos tienen una costa de tamaño medio (entre 1 100 y 2 300 km) pero los estados del

Pacífico Sur, y Tabasco y Yucatán tienen una línea de costa corta (inferior a 600 km). Los municipios con costa más larga (de más de 1 000 km) son: Mulegé (Baja California Sur) con 1 831 km, Ensenada (Baja California) con 1 606 km, Comondú (Baja California Sur) con 1 247 km y Ciudad del Carmen (Campeche) con 1 099 km; los municipios con costa más corta (menos de 2 km) son Martínez de la Torre (Veracruz) con 1.8 km, San Pedro Huilotepec (Oaxaca) con 0.5 km, Villa Comaltitlán (Chiapas) con 0.3 km y Tampico (Tamaulipas) con 0.2 km.

Indicador: porcentaje del área municipal en la planicie (p)

Este indicador nos parece que reflejaría la susceptibilidad de un municipio costero a las inundaciones que pudieran ocurrir al haber más lluvias, o al elevarse el nivel del mar. Hay cinco grupos de estados cuyos extremos son los estados de la península de Yucatán y Tabasco donde toda las costa es una planicie, en parte los estados de Veracruz y Tamaulipas, y en el extremo contrario los estados montañosos de la península de Baja California, Michoacán, Jalisco y Guerrero. Noventa y seis municipios tienen del 90 al 100% de su superficie en la planicie (Medellín en Veracruz es el más plano de todos) y sólo diez tienen menos del 25% de su superficie plana (San Miguel del puerto en Oaxaca es el municipio con menor superficie en la planicie: 12%).

Indicador: Número de aguas marinas interiores por estado (a)

Las aguas marinas interiores fueron elegidas por Escofet (2004) y Espejel y Bermúdez (2009) como un elemento para la regionalización de las costas mexicanas, porque incluyen bahías y lagunas lo que aumenta la superficie marina en contacto con la terrestre. En la lógica del subíndice SIPC esto necesariamente aumenta la peligrosidad de un municipio ante eventos de cambio climático porque en parte, aumentan la superficie terrestre en contacto con el mar, pero también porque en estos cuerpos de agua suceden los procesos costeros más importantes, como es su función como reservorio del caudal de los ríos (el cual aumenta con las lluvias inundando las planicies costeras y acarrea los sedimentos que alimentan las playas arenosas circunvecinas). Este indicador clasifica a los estados en cuatro grupos, cuyos extremos son Veracruz y Baja California Sur con más de 35 cuerpos de agua costeros mientras que Michoacán y Colima tienen diez veces menos entradas de mar (lagunas, esteros, bahías o caletas) o AMI. Los municipios con más AMI son Ensenada, Baja California con 22 y Mulegé, Baja California Sur con 16, le sigue La Paz, Baja California Sur con 9 y luego son 20 municipios abarcando entre 3 y 5 AMI, 113 municipios tienen una o dos y 33 no tienen AMI.

[1] La línea de costa sigue siendo un rasgo fuertemente dependiente de la escala cartográfica (Espejel, 2004; Beer, 1996) , cabe mencionar que los datos de longitud de costa fueron calculados a partir de cartografía a escala 1:2500,000 del INEGI, por lo que los datos resultaran superiores a valores que suelen manejarse a nivel nacional por considerar una escala mas chica

Subíndice de peligrosidad climatológica (sipc)

Está compuesto por un sólo indicador pero que es el más utilizado por su evidencia para representar los cambios climáticos en la costa.

Indicador: Frecuencia de eventos meteorológicos (em)

Se refiere al número de veces que un municipio ha sido golpeado por un evento hidrometeorológico en los últimos 150 años (de acuerdo a la base de datos de la NOAA (2005); se consideraron ocho categorías desde baja presión tropical hasta huracán categoría 5, y se ponderaron por las categorías. Resultan tres grupos donde Quintana Roo prevalece como el más afectado con cerca de 1 200 eventos de todo tipo. En el sur del país y Baja California Sur el rango es medio mientras que Chiapas y Baja California son los menos afectados.

Los cinco municipios más afectados con más de 200 eventos son: Othón P. Blanco y Felipe Carrillo Puerto (Quintana Roo), Ahome (Sinaloa), Soto La Marina y San Fernando (Tamaulipas). Diez municipios del Golfo de México y Caribe y dos de Baja California Sur han tenido entre 100 y 195, 22 municipios entre 50 y 99, y solo 15 municipios que no han tenido un sólo evento en la historia registrada o muy pocos (Lerdo de Tejada, Agua Dulce, Pajapan y Puerto de Veracruz (Veracruz); Empalme (Sonora), Santiago Tapextla y Santa María Xadani (Oaxaca); Acaponeta (Nayarit); Benito Juárez (Guerrero), Villa Comaltitlán, Tonalá, Tapachula, Suchiate, Huixtla y Mazatán (Chiapas).

Índice de vulnerabilidad socioambiental Costera (ivsc)

Los estados más vulnerables por su densidad poblacional, marginación y que viven en sitios con costas desprotegidas por haber perdido su vegetación natural costera, son Michoacán, Veracruz, Baja California y Guerrero, aunque Colima, Tamaulipas, Oaxaca y Chiapas están arriba del promedio del IVSC (0.32).

Indicador: Población en el 2005 en la planicie (pob)

Este indicador es con el que podemos medir el efecto "humano" del cambio climático y hacer escenarios del IRC.

Tijuana, Baja California, es el municipio con más población (1 341 842) y le sigue Mexicali, Baja California (855 946) pero las ciudades de estos dos municipios no tienen una gran proporción de su población viviendo junto al mar. En Tijuana, una colonia de toda la población (Playas de Tijuana) es la que realmente aportaría a la vulnerabilidad costera. Le siguen Culiacán en Sinaloa (789 782), Acapulco de Juárez en Guerrero (679 603), Benito Juárez en Quintana Roo (573 316) y Veracruz, Veracruz (511 074) que realmente si son municipios con ciudades costeras. Municipios de 300 a menos de 500 000 habitantes son Matamoros y Tampico (Tamaulipas), Mazatlán y Ahome (Sinaloa), Ensenada (Baja California) y Cajeme (Sonora). Veinticinco municipios tienen entre 100 y 300 000 habitantes, 103 municipios son

de entre 10 000 y 100 000 habitantes y 29 son de menos de 10 000; los menos habitados son San Felipe y Telchac Puerto (Yucatán) con 1 867 y 1 626 respectivamente y San Miguel del Puerto (Oaxaca) con 1 621 habitantes.

Indicador: Densidad poblacional en la planicie (habitantes por km^2) (dpob)

Este indicador refleja la vulnerabilidad social en la franja costera y es junto con el anterior que pueden hacerse las proyecciones y los escenarios futuros que interesan en este capítulo. Al analizarlo encontramos que hay tres grupos de estados vulnerables por su densidad poblacional en la planicie (la media de los estados costeros es de 46 habitantes por km^2 y de 52 la nacional). Guerrero y Colima con el rango alto de 161 y 172 habitantes por km^2 respectivamente, la mayoría son estados de entre 50 y 125 hab/km^2 y sólo cinco estados tienen una vulnerabilidad poblacional baja de menos de 30 hab/km^2 (BCS, Yucatán, Sonora, Campeche, Quintana Roo, Nayarit).

Los municipio más densamente poblados son: Tijuana en Baja California (4 226 hab/km^2), Ciudad Madero en Tamaulipas con (4 169 hab/km^2), Boca del Río en Veracruz con 3 672.23 hab/km^2, Tampico (Tamaulipas) con 2 620 hab/km^2 y Veracruz (Veracruz) con 2 113 hab/km^2. Coatzacoalcos (Veracruz), Acapulco de Juárez (Guerrero), Puerto Vallarta (Jalisco), Salina Cruz (Oaxaca) y Tapachula (Chiapas), son municipios con ciudades importantes, tienen entre 430 y 970 hab/km^2. Treinta y seis municipios tienen densidades menores de 20 habitantes por km^2: los que sólo tienen de 2 a 4 hab/km^2 son: San Felipe (Yucatán), Soto La Marina (Tamaulipas), Palizada (Campeche), Caborca (Sonora), Mulegé (Baja California Sur) y Pitiquito en Sonora.

Indicador: Marginación por localidad promedio en la franja estatal (m)

El indicador de vulnerabilidad social que representa la pobreza indica que sólo los estados de la península de Baja California tienen un nivel de marginación medio, el resto caen en el rango de marginación alto, siendo Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Chiapas los estados que tienen las poblaciones más vulnerables por su marginación. Los municipios más marginados son: San Felipe, Yucatán; Santo Domingo Armenta, Santiago Tapextla , Santa María Xadani, San Miguel del Puerto, San Mateo del Mar, Santiago Pinotepa Nacional y Santa María Tonameca en Oaxaca; Mecayapan y Pajapan, Veracruz; Cuajinicuilapa, Azoyú, Copala San Marcos y Florencio Villarreal, Guerrero y Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo.

Indicador: Porcentaje de suelo transformado en una franja de 2 km (INF 2000) (st)

La vulnerabilidad ambiental que ha sido ocasionada por haber eliminado en la franja de 2 km ecosistemas y tipos de vegetación claves para la protección costera, se reflejó en cinco grupos: cinco estados del sur de México (Veracruz, Michoacán, Colima, Tabasco y Guerrero) han transformado más del 50% de la franja costera, Nayarit y Chiapas han transformado la tercera

parte de su costa, Jalisco, Oaxaca, Campeche, Tamaulipas, Sinaloa y Baja California entre el 20 y 25% de la costa ha sido transformada y solo cuatro estados (Baja California Sur, Sonora, Yucatán, y Quintana Roo) sólo han transformado menos del 10% de su superficie ya que los proyectos de desarrollo estaban muy concentrada en una ciudad o puerto como sería el caso de la península de California y Quintana Roo (con datos del 2000, antes de los proyectos de ampliación del corredor de Los Cabos y de la Riviera Maya, respectivamente, o más recientemente de Puerto Peñasco en Sonora). Hay 11 municipios que han perdido casi el 100% de su vegetación natural: Mecayapan, Papantla, Nautla, San Andrés Tuxtla, Tatahuicapan de Juárez, Cazones, Agua Dulce, Catemaco y Pajapan en Veracruz y Coahuayana en Michoacán y San Pedro Huilotepec en Oaxaca. Son 24 municipios que han transformado su suelo del 60 al 89% (la mitad de Veracruz). Otros 18 municipios solo tienen de la mitad al 70% de su vegetación original. Se contabilizaron 25 municipios como los que, a esta escala del trabajo y en la comparación con los otros municipios costeros del país, solo han transformado el 1% o menos de su vegetación, los que se reportan con menores pérdidas son Ixil, Hunucmá, Tantima (Veracruz); Bácum y San Ignacio Río Muerto (Sonora); Santo Domingo Zanatepec (Oaxaca); Rosamorada (Nayarit); Tenabo, Palizada, Hecelchakán y Calkiní en Campeche.

Lecciones aprendidas

Para responder las preguntas ¿Cuáles serán los efectos y su extensión en las poblaciones costeras mexicanas ante el cambio climático?, ¿Cuáles son las poblaciones costeras con mayor riesgo ahora y que tendría que pasar para que aumente la vulnerabilidad ante el cambio climático en México?, y ¿Cuáles son las proyecciones poblacionales en las regiones con mayor peligrosidad ante efectos del cambio climático? es necesario analizar los datos de crecimiento poblacional proyectado para el 2030 (Partida Bush, 2008), de donde seleccionamos los municipios de las costas mexicanas, y relacionarlo al índice de vulnerabilidad socioambiental.

Gutiérrez-MacGregor y González Sánchez (1999) muestran que la rapidez de crecimiento de la población urbana en las costas ha sido mayor que la total urbana del país y que en las planicies costeras hay 27 ciudades muy grandes y grandes (de 500 mil a menos de un millón y 100 mil a menos 500 mil habitantes respectivamente) y aunque no todas se ubican frente al mar (Seingier *et al*, 2009), en efecto ejercen una presión sobre el territorio costero al aumentar la demanda por casas de veraneo, áreas de recreación en playas o, si son industriales o fronterizas, los puertos juegan un papel importante en el crecimiento poblacional.

Muy impresionante es el crecimiento de las ciudades pequeñas y muy pequeñas (15 mil a menos de 50 mil y 10 mil a menos de 15 mil habitantes respectivamente). Según estos autores, en 1900 se registraron tan sólo nueve localidades de ambos tipos con una población total de 166 915 habitantes y en 1995 ya había 134 ciudades pequeñas y muy pequeñas donde habitaban más de dos millones y medio de habitantes. Entre 1970 y 1995 casi se duplicó tanto la población como el número de ciudades muy pequeñas y pequeñas en las planicies costeras del país.

La tendencia continúa pero no es igual para todos los municipios ya que algunos han decrecido, resultando de la emigración a las ciudades y a Estados Unidos. Según Delgado *et al.* (en prep.), entre 1990 y 2005, 19 municipios costeros mostraron un crecimiento superior al 50% pero 44 muestran un decrecimiento. De estos últimos, en 13 municipios, el decrecimiento fue superior al 10%. Sobresalen situaciones particulares, como el estado de Veracruz, con un decrecimiento poblacional en 19 de sus 29 municipios costeros y cinco de ellos superiores al 10%. Otro caso es Nayarit, en donde cinco de sus siete municipios presentan decrecimiento y Guerrero, con un municipio que decreció en más del 50% de su población. En contraste, se tiene el municipio de Los Cabos (BCS), el cual se encuentra dentro de los cinco estados con mayor índice de riesgo costero, cuyo porcentaje de población aumentó en más de un 250% y el de Benito Juárez en Quintana Roo, con el 200%. Se tienen municipios en otros estados como Santa María Huatulco (Oaxaca), con un crecimiento de 162% y Bahía Banderas (Nayarit), con 110%, cuyo porcentaje en su crecimiento poblacional adquiere relevancia social y económica pero dado los proyectos de desarrollo turístico y nuevas zonas habitacionales, también son focos rojos para atender la planeación para enfrentar el cambio climático.

El crecimiento poblacional costero se torna relevante cuando vemos las cifras que se proyectan para México en el 2030 (Partida Bush, 2008). En el 2005 se contaron 103 946 866 habitantes y se proyecta un crecimiento de 16% para el 2030 para alcanzar una población de aproximadamente 120 928 975 habitantes. Se calcula, que el porcentaje de población en los estados costeros pasará de 35% (en 2005) a 39% en 25 años. Sin embargo, el incremento poblacional de los municipios costeros con respecto a toda la República Mexicana se proyecta en más del doble (pasa de 16% de la población total mexicana a 39%).

Si comparamos la población de los municipios costeros del 2005 con las proyecciones de población para 2030 (Partida Bush, 2008) encontramos tres estados con alto crecimiento: el número de habitantes de los municipios costeros de Quintana Roo se duplicará antes del 2030, mientras que los de Baja California y Baja California Sur casi doblaran su población (121.78 y 68% respectivamente de crecimiento en 2030 con respecto a 2005). Por el otro lado tenemos cuatro estados donde sucede un decrecimiento poblacional. Se proyecta haber perdido en 2030 un habitante de cuatro que vivían en los municipios costeros de Guerrero en 2005. Para Michoacán, Chiapas y Nayarit también se proyecta un decrecimiento con respeto a 2005 de 24, 20 y 12% de la población respectivamente (tabla 2).

Este decrecimiento de los municipios costeros sigue el mismo patrón que la población estatal para los cuatro estados del noroeste, para Colima, Tamaulipas, Veracruz y Quintana Roo, sin embargo vemos algunos casos que se destacan por ser diferentes: Chiapas pierde 20% de su población costera mientras que su estado crece 23%; Nayarit pierde 12% de su población costera mientras que su estado crece 3%; en Guerrero y Oaxaca el decrecimiento poblacional es el doble en los municipios costeros que en todo el estado. Las costas de Jalisco atraen la población, más que su estado en general (35 contra 15% de crecimiento entre 2005 y 2030). Si bien en 2005 la población de los municipios costeros era el 35% de la población de los estados costeros, se proyecta que aumentará en 2030 al 39%).

En la tabla 3 se pueden ver las cifras proyectadas para el 2030 para los municipios con más IRC y menos IRC. Los estados con mayor crecimiento son aquellos que han apostado en el desarrollo de nuevas ciudades costeras cuyo sector es principalmente el turístico y quizás en el futuro habría que considerar también las ciudades que crecen por el sector industrial portuario (Veracruz, Cd. Madero, Manzanillo, y nuevos puertos proyectados como Colonet en Baja California).

Destaca el proyecto de la Riviera Maya, en los municipios de Felipe Carrillo Puerto, uno de los que resultan con mayor IRC, pero que su población está decreciendo; de la misma manera, Boca del Río en Veracruz proyecta un crecimiento basado en construcciones junto al mar, a pesar de haber sufrido inundaciones que hacen más vulnerable a su población. Tijuana tiene uno los porcentajes de crecimiento mayores (93%) no lo discutimos porque la mayor parte de su población no vive junto al mar, pero aun así, las sequías conllevaran incendios y las fuertes lluvias (aunque suceden muy escasas veces) serán torrenciales y los arroyos, donde vive gran parte de la población, seguirán siendo un problema (Bocco *et al.*, 1993). El ejemplo más reciente es Tabasco y el municipio de Centla, uno de los que tienen IRC más elevado y mayor crecimiento proyectado para el 2030 (14%).

Tabla 2. Población (2005, 2030) en los estados costeros y en los municipios costero en base a proyecciones de Partida Bush (2008).

	Municipios costeros			Estados costeros		
Estado	**2005**	**2030**	**TC %**	**2005**	**2030**	**TC %**
BCS	509 524	831 837	63	509 524	831 837	63
Sonora	1 740 576	2 096 175	20	2 413 074	2 841 311	18
Yucatan	184 288	218 346	18	1 826 750	2 388 286	31
Quintana Roo	1 097 426	2 421 695	121	1 130 652	2 450 833	117
Nayarit	407 203	357 766	-12	958 587	986 329	3
Campeche	611 840	830 938	36	758 987	967 262	27
Jalisco	312 760	422 937	35	6 782 676	7 787 954	15
Tamaulipas	1 237 322	1 481 485	20	3 035 926	3 824 091	26
Oaxaca	579 491	621 517	7	3 553 231	3 397 575	-4
Baja California	2 732 007	4 869 968	78	2 822 478	5 074 986	80
Tabasco	734 783	742 489	1	2 006 277	2 164 863	8
Sinaloa	2 219 973	2 261 494	2	2 632 273	2 608 651	-1
Chiapas	648 414	518 086	-20	4 312 067	5 290 229	23
Colima	262 120	335 461	28	569 727	733 205	29
Michoacan	199 562	150 784	-24	4 016 934	3 533 061	-12
Guerrero	1 159 512	861 179	-26	3 154 988	2 883 660	-9
Veracruz	2 197 521	2 256 588	3	7 201 126	7 362 776	2
Total:	16 834 322	21 278 745		47 685 277	55 126 909	

Tabla 3. Para cada estado, municipios con valores extremos del Índice de Riesgo.

	Municipio con IR mas alto					Municipio con IR mas bajo				
Estado (numero de municipios costeros)	**Valor del IR**	**Nombre del municipio**	**Ciudad mas importante en 2005 en el municipio (población 2005)**	**Población en la planicie en 2005 en el municipio**	**Población en la planicie en 2030**	**Valor del IR**	**Nombre del municipio**	**Ciudad mas importante (población 2005)**	**Población en la planicie en 2005**	**Población en la planicie en 2030**
Tamaulipas (7)	0.87	Ciudad Madero	Ciudad Madero (193 045)	193 045	199 194	0.51	Altamira	Cuauhtémoc (5 496)	162 626	304 529
Quintana R. (7)	1.00	F. Carrillo Puerto	Felipe Carrillo Puerto (21 530).	65 373	62 339	0.44	Cozumel	Cozumel (71 401)	73 156	114 783
Veracruz (32)	0.98	Boca del Río	Veracruz (129 416).	141 748	150 065	0.29	Actopan	Actopan (3 898)	22 033	13 573
BC (4)	0.92	Tijuana	Tijuana (1 286 187)	1 341 842	2 585 601	0.27	Playas de Rosarito	Amp. Ejido Plan Libertador (4 938)	68 233	196 303
Tabasco (5)	0.83	Centla	Frontera (21 810)	90 946	103 879	0.48	Comalcalco	Comalcalco (39 865)	174 841	189 418
Campeche (7)	0.98	Carmen	Ciudad del Carmen (154 197).	199 897	329 729	0.38	Tenabo	Tenabo (6 934)	9 049	11 022
Michoacán (3)	0.66	Lázaro Cárdenas	Ciudad Lázaro Cárdenas (74 884)	161 626	123 339	0.42	Aquila	Aquila (1 689)	12 175	11 094
Sinaloa (10)	1.00	Ahome	Los Mochis (231 977)	390 544	487 957	0.25	San Ignacio	San Ignacio (4 591)	17 770	11 019
BCS (5)	0.98	Mulegé	Guerrero Negro (11 894).	49 765	67 764	0.17	Cabos, Los	Cabo San Lucas (56 811)	161 328	435 935
Guerrero (12)	0.74	Acapulco de Juárez	Acapulco (616 394)	679 603	522 657	0.49	Coyuca de Benítez	Bajos del Ejido (5 689)	49 575	39 558
Colima (3)	0.69	Tecomán	Tecoman (76 166)	98 068	94 304	0.35	Manzanillo	Manzanillo (110 728)	133 233	219 062
Oaxaca (25)	0.71	San Mateo del Mar	San Mateo del Mar (5 291)	12 671	25 001	0.15	San Miguel del Puerto	Barra Copalita (1 376)	1 621	1 015
Chiapas (10)	0.55	Acapetahua	Acapetahua (5 375)	24 028	15 109	0.37	Villa Comaltitlán	Villa Comaltitlán (7 972)	23 269	18 087
Yucatán (13)	0.60	Tizimín	Tizimín (44 151)	67 835	95 838	0.29	Dzidzantún	Dzidzantún (8 119)	8 167	8 564
Nayarit (8)	0.57	Tuxpan	Tuxpan (20 561)	29 182	13 833	0.17	Acaponeta	Acaponeta (18 066)	32 983	26 588
Jalisco (5)	0.40	Tomatlán	Tomatlán (7 899)	29 256	18 041	0.21	Cabo Corrientes	Yelapa (715)	2 664	2 410
Sonora (13)	0.50	Huatabampo	Huatabampo (29 276)	74 559	60 280	0.00	Pitiquito	Puerto Libertad (2 823)	3 087	2 793

Los municipios de Solidaridad y Benito Juárez en Quintana Roo tienen proyectado un crecimiento impresionante (425 y 125 respectivamente), es posible que éste no sea así dado que el proyecto Cancún está en fase de cambio, donde se estabiliza el turismo y se construye otro modelo que es para residencias de segundo hogar que generan menos calidad social (Hiernaux-Nicolas, 2005).

De los 38 municipios costeros que están decreciendo 10% son de Veracruz, uno de los estados con más IRC del país, ¿será que el IRC se revierta a favor de un estado más sustentable? Habrá que analizar qué pasa con Papantla (Veracruz) donde la proyección es decreciente (37%, el penúltimo en decrecer), y es también el segundo de los que más vegetación natural transformó (99.9%) aunque es un municipio con poca costa (11 km) ¿se recuperará la vegetación porque se fue la gente?, si se recupera, ¿disminuirá su IRC?

A pesar de que el gobierno mexicano gastó casi todos sus fondos de atención a desastres en Cancún después del huracán Wilma y otro tanto en el sureste por lo daños causados por el huracán Stan (Colmex, 2007) y recientemente en Tabasco y Veracruz, se insiste en desarrollar las costas con modelos idénticos de construcción tanto de nuevas y largas ciudades turístico-residenciales con frente de mar y enormes puertos de carga en ciudades industriales. Por lo tanto, no se proyecta un escenario futuro diferente, de hecho será peor, ya que aumentará la población vulnerable a los efectos del cambio climático la cual vivirá en sitios peligrosos por lo que habrá más municipios con mayores índices de riesgo costero.

Futuro

La estrategia nacional para el cambio climático ya existe, de aplicarla, propiciaría que no se incremente el número de municipios con riesgos ante eventos de cambio climático. Sin embargo, si se consultan las páginas del sector los desarrollos programados no son diferentes de Cancún, Nuevo Vallarta, Los Cabos, etc.

Es importante que en la estructura institucional, se le dé prioridad a los municipios costeros. Muchos municipios han idealizado Cancún y promueven el desarrollo costero repitiendo los mismos errores. Parece que las lecciones que dejó Wilma en su paso por Cancún o el Stan en Chiapas y Oaxaca, no se aprendieron. Es improbable que el país sea capaz de solucionar en el futuro los problemas de cada uno de los municipios que aparecen con alto riesgo costero, sin un cambio en el paradigma de un crecimiento basado en lo económico y no en lo social y ambiental integradamente. Un mapa de riesgo costero se ha planteado como una necesidad urgente (Colmex, 2007), este capítulo hace una propuesta de riesgo costero acotada a los estados prioritarios marcando las prioridades de unos sobre otros en materia de *amenazas hidrometeorológicas y su capacidad de respuesta o adaptación al cambio*.

Es importante que la asociación de municipios costeros conozca el diagnostico actual del país y que se construyan alianzas entre aquellos que comparten prioridades de riesgo costero y que se difundan las lecciones aprendidas.

Es urgente diseñar y actualizar los ordenamientos costeros del país ya que son el instrumento preventivo con el que cuenta México para hacer frente a los impactos previsibles del cambio climático. Un mapa de riesgo como el que aquí se presenta podría ser la base de un ordenamiento costero nacional.

Surge la necesidad de incorporar la Evaluación Ambiental Estratégica para planes y programas sectoriales, especialmente los de turismo costero, donde se visualicen escenarios específicos que consideren los efectos previsibles del cambio climático.

Si se están construyendo más municipios en riesgo costero, es importante revisar las políticas y prioridades de asignación del gasto público para enfatizar la prevención, no sólo medidas de comando y control. Es posible que al visualizar el tamaño de estos gastos se propicien más acciones preventivas que reduzcan la vulnerabilidad y disminuyan el riesgo y se generen estrategias de adaptación en los planes de desarrollo regional, estatal y municipal.

Por último, es importante aprender del error. En muchos países, además de México, se tienen cientos de lecciones aprendidas. Para esto, es de suma importancia el diseño de una estrategia de comunicación y educación para generar acciones preventivas y correctivas.

Si se mira fríamente, el mapa de riesgo costero todavía no muestra un país con una gran proporción en riesgo costero, pero es urgente cambiar los paradigmas del desarrollo costero para que no lo transformemos en uno.

Literatura citada

Bird, E.C.F., 1993. Submerging coasts: the effects of a rising sea level on coastal environments. John Wiley & Sons, Chichester.

Bocco, G., R. Sánchez, y H. Riemann, 1993. Evaluación del impacto de las inundaciones en Tijuana. Uso integrado de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota. *Frontera Norte*, 10: 53-83

Cardona, O., 1993. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo, elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo. p. 51-74. En: A. Maskrey (ed.). Los Desastres no Son Naturales, La Red de Estudios Sociales, Bogotá.

Cazenave, A. y R.S. Nerem, 2004. Present-day sea level change: observations and causes. *Reviews of Geophysics*. 42:1-20

Cendrero, A., 1997. Riesgos naturales e impacto ambiental. p. 23-84. En: Fundación Universidad-Empresa (ed.). La interpretación de la problemática ambiental, enfoques básicos II. Madrid.

Church, J.A. y N.J. White, 2006. A 20th century acceleration in global sea-level rise. *Geophysical research letters,* 33:1-4.

Colmex- Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales Programa de Estudios Avanzados en Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente (LEAD-México), 2007. Evaluación del fondo de desastres naturales (FONDEN) en el ejercicio 2006. Reporte técnico a SEGOB. http://www.gobernacion.gob.mx/ FONDENdocs/ RESUMEN_EJECUTIVO_2006.pdf

Cooper, J.A.G. y O.H. Pilkey, 2004. Sea-Level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule. *Global and Planetary Chang,* 43:157-171

Delgado-González, O.E., J.A. Jiménez, I. Espejel, J.L. Ferman-Almada, A. Martínez-Díaz de León, A. Mejía-Trejo, y G. Seingier, G. (en prep.). Mexican coasts aquacultural potencial.

Escofet, A., 2004. Aproximación conceptual y operativa para el análisis de la zona costera de México: un enfoque sistémico-paisajístico de multiescala. Tesis de doctorado. UABC. 276 p.

Espejel, I., y R. Bermúdez, 2009. Propuesta para la regionalización de los mares mexicanos. En: A. Córdova, F. Rosete V., G. Enríquez Hernández y B. Fernández de la Torre (eds). 2006. Planeación Territorial. Ordenamiento Ecológico Marino. Visión Temática de la Regionalización. Semarnat-INE, México.

Gornitz, V., S. Couch, y E.K. Harting, 2002. Impacts of sea level rise in the New York City metropolitan area. *Global Planet Change,* 32:61-88.

Gutiérrez de MacGregor, M.T. y J. González Sánchez, 1999. Las costas mexicanas y su crecimiento urbano. *Investigaciones Geográficas*, 40: 110-126.

Hiernaux-Nicolas D., 2005. La promoción inmobiliaria y el turismo residencial: el caso mexicano. *Scripta Nova . Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales,* IX(194): (05). http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-194-05.htm

INEGI, 2006. II Conteo de Población y vivienda. Resultados definitivos 2006.

IPCC, 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I,II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza 104.

Komar, P., 1998. Beach processes and sedimentation (second ed.). Upper Saddle River, Prentice Hall.

Leatherman, S.P., K. Zhang, y B.C. Douglas, 2000. Sea-Level rise shown to drive coastal erosion. *EOS,* 81:55-57.

Leatherman, S.P., 2001. Social and economic costs of sea level rise. p. 181-223. *In:* B.C. Douglas, M.S. Kearney, and S.P. Leatherman (eds.), Sea-Level Rise, History and Consequences: International Geophysics Series, vol. 75. Academic Press, NY.

León C., 2004. Piezas de un rompecabezas: dimensión socioeconómica de las costas de México. p. 5-26. En: E. Rivera-Arriaga, GJ. Villalobos, I. Azuz, y F. Rosado May 8eds.). El Manejo Costero en México. México: Centro EPOMEX-Universidad Autónoma de Campeche. Semarnat. Cetys-Universidad. 654 p.

Leuliette, E.W., R.S. Nerem, y G.T. Mitchum, 2004. Results of TOPEX/Poseidon and Jason-1 calibration to construct a continuous record of mean sea level. *Marine Geodesy,* 27(12): 79-94.

McGranahan, G., D. Balk, y B. Anderson, 2007. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment & Urbanization,* 19(1): 17-37.

Martínez M.L., J.B. Gallego-Fernández, J.G. García-Franco, C. Moctezuma, y C. Jiménez, 2006. Assessment of coastal dune vulnerability to natural and anthropogenic Disturbances along the Gulf of Mexico. *Environmental Conservation,* 33(2): 109–117.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2005. Historical North Atlantic and East-Central North Pacific Tropical Cyclone Tracks, 1851-2004. NOAA's Ocean Service, Coastal Services Center (CSC). Online: http://www.csc.noaa.gov/hurricane_tracks

Nerem, R.S. y G.T. Mitchum, 2001. Observations of sea level change from satellite altimetry. p. 121-163. *In:* B.C. Douglas, M.S. Kearney and S.P. Leatherman (eds.). Sea Level Rise: History and Consequences. Academic, San Diego, Calif. .

Nicholls, R. J. y S.P. Leatherman, 1996. Adapting to sea level rise: Relative sea-level trends to 2100 for the United Sates. *Coastal Managment* (24): 301-324.

Ortiz, M.A. y A.P. Méndez, 1999. Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas*, 68-81.

Partida Bush, V., 2008. Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades 2005-2050 (Documento Metodológico). Consejo Nacional de Población. Primera edición.

Pérez Villegas, G., y E. Arrascal, 2000. El desarrollo turístico en Cancún, Quintana Roo y sus consecuencias sobre la cubierta vegetal. *Investigaciones Geográficas,* 43: 145.166.

Romero, G. y A. Maskrey, 1993. Como entender los desastres naturales. p. 1-8. En: Andrew Maskrey (eds.). Los desastres no son naturales. La Red de estudios sociales. Primera edición. Bogotá.

Seingier, G., I. Espejel, I. y J.L. Ferman, 2009. Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. Investigación ambiental. *Ciencia y política pública*. [Online] 1:1.

Semarnat-INE, 2006. Hacia una Estrategia Nacional de Acción Climática. 2006. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. http://www.semarnat.gob.mx/ queessemarnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/estrategia.aspx

Semarnat, 2007a. Estrategia nacional de cambio climático. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. Secretariado Técnico de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático; http://www.semarnat.gob.mx/queessemarnat/ politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/estrategia.aspx

Semarnat, 2007b. Estrategia Nacional para el Ordenamiento Ecológico del Territorio en Mares y Costas. Colección Legal. Semarnat. 33 p.

UNDRO, 1979. Natural Disasters and Vulnerability Analysis. Report of Experts Group Meeting, Geneva, July.

Varnes, D. J., 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Natural Hazards 3, UNESCO Press. Paris. 64 p.

Wilches Chaux, G., 1993. La vulnerabilidad global. p. 9-50. En: A. Maskrey (ed.). Los Desastres no Son Naturales. La Red de Estudios Sociales, Bogotá.

World Bank, 2009. http://econ.worldbank.org/wbsite/external/extdec/extresearch/xtwdrs/extwdr2010/0,,menupk:5287748~pagepk: 64167702~pipk:64167676~theSitepk:5287741,00.htm

Bezaury-Creel, J.E., 2010. Las áreas naturales protegidas costeras y marinas de México ante el cambio climático. p. 689-736. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Las Áreas Naturales Protegidas costeras y marinas de México ante el cambio climático

Juan E. Bezaury-Creel

Resumen

Las áreas naturales protegida constituyen actualmente la principal estrategia del Estado mexicano para intentar conservar y al mismo tiempo aprovechar la megadiversidad biológica existente en el país, no obstante que su persistencia a largo plazo dependerá de la capacidad social para lograr que estos territorios continúen aportando bienes y servicios a todos los mexicanos y que en paralelo, logremos inculcar un sentido de apreciación de estos valores en la sociedad mexicana. Los retos para lograr la conservación de la biodiversidad costera y marina, derivados de la incertidumbre de los efectos que el cambio climático global provocará, tanto en la ubicación futura de los ecosistemas y hábitats en el país, como en cuanto a los nuevos patrones de distribución de las especies, necesariamente repercutirán en una nueva conceptualización más dinámica de las áreas naturales protegidas. Por lo tanto, estas áreas tendrán que ser capaces de evolucionar tanto políticamente, como social y económicamente, requiriéndose de un cambio paradigmático en cuanto a su función y en las prácticas relativas a su gestión, manejo y gobernanza. Los conceptos tradicionales sobre la propiedad pública y la privada/social en el contexto de la franja costera serán puestos a prueba como resultado de la invasión de las aguas marinas a lo largo de la costa, por lo que a corto plazo se requerirá tanto de la imposición de restricciones efectivas para evitar la inversión a lo largo de la franja costera, como de la adopción de una definición legal más clara y precisa de las aguas de propiedad nacional y de la Zona Federal Marítimo Terrestre, con respecto a la propiedad privada y social costera. Sin afán de desestimar los posibles beneficios que las áreas naturales protegidas

costeras y marinas pueden representar en la mitigación del cambio climático global, solo si somos capaces de lograr que estos espacios continúen proporcionando bienes y servicios directos a los mexicanos y que el valor de estos sea socialmente reconocido, especialmente aquellos relacionados con la adaptación ecosistémica al cambio climático para los asentamientos humanos costeros, se logrará que estas áreas sigan vigentes en el siglo xxii.

Introducción

El cambio climático no es algo nuevo en el planeta tierra, sino un fenómeno que se ha venido repitiéndose cíclicamente a lo largo de millones de años. Sin embargo y a diferencia de los sucesos previos, el evento de cambio climático al que inevitablemente nos enfrentaremos a lo largo del siglo xxi, será por primera vez resultado directo de las actividades humanas y no producto de procesos naturales o de sucesos catastróficos casuísticos[1].

Una amplia gama de publicaciones científicas nos indican que el cambio climático es ya una realidad ineludible y que la integridad de los ecosistemas actualmente está siendo afectada como consecuencia de este fenómeno. La capacidad de los ecosistemas de persistir ante el cambio o sea su resistencia, así como su capacidad para recuperarse de estos cambios, o lo que es lo mismo su resiliencia, se verán comprometidas tanto por la velocidad a la que se avanzará el cambio climático, como por las sinergias negativas que tendrá con otra gran variedad de presiones artificiales que en estos momentos imponemos sobre ecosistemas y especies, tales como: su fragmentación funcional, la presencia de contaminantes y de nutrientes, regímenes hidrológicos alterados, la acidificación de las aguas marinas, la presencia de especies exóticas invasoras y muchos más derivados directamente de las actividades humanas.

De acuerdo a lo planteado por Dudley (2003), los principales efectos que provocará cambio climático global sobre los ecosistemas, se reflejarán en:

- La desaparición de hábitats y ecosistemas, aspecto que puede considerarse como el efecto más nocivo del fenómeno de cambio climático. Las zonas costeras que serán inundadas por el aumento del nivel del mar representa un ejemplo de este efecto.
- Cambios catastróficos y muy probablemente definitivos en los ecosistemas, pues no obstante que la mayor parte de los hábitats y ecosistemas no desaparecerán, estos podrán presentar serios e irreversibles cambios en su estructura y funcionamiento. El aumento de la temperatura superficial de los mares tropicales del año 1998 y el extenso fenómeno de blanqueamiento de corales resultante de este fenómeno, es probablemente un ejemplo de esta situación.

[1]Resulta paradójico que nuestra antropocéntrica concepción de que todo lo humano es "racional", aparentemente evita el que podamos conceptualizar los resultados de nuestra actuación colectiva como un evento meramente casuístico. Sin embargo la lógica económica en que estamos inmersos, ineludiblemente nos ha conducido a provocar el actual evento de cambio climático - nuevamente la tragedia de los comunes planteada por Harding, pero ahora al extremo de comprometer seriamente nuestra sobrevivencia - y por lo tanto esta lógica lo convierte efectivamente en un evento netamente casuístico en términos de la evolución de la vida en el planeta tierra

- Cambios catastróficos temporales en los ecosistemas, mismos que podrán resultar ser solo eventuales, aunque resulta difícil establecer la línea entre estos y los cambios definitivos. Los impactos de las sequías cíclicas representan un ejemplo de este tipo de efecto.
- Cambios individuales en las especies y las cadenas alimenticias, los cambios rápidos en la temperatura y precipitación alteran la fenología de las especies, alterando ciclos estacionales que pueden evitar por ejemplo la sincronización entre la época de reproducción de una especie y la disponibilidad de otra especie que utiliza como alimento o refugio.

El cambio climático global también provocará el profundos cambios en los patrones de distribución de muchas especies, mismos que en términos generales pueden caracterizarse bajo los siguientes escenarios (Mohr, 2008):

- Reubicación del rango de distribución, en el caso de aquellas especies capaces migrar relativamente rápido ante el cambio climático logrando así mantener un rango de distribución de igual magnitud, migrando a lo largo de gradientes latitudinales (en México hacia el norte) o altitudinales/batimétricos (montaña arriba o hacia aguas más profundas) sobre zonas con una afectación antrópica limitada.
- Incremento del rango de distribución, para las especies que se ven favorecidas por las nuevas condiciones climáticas (en este caso para México más calientes o más secas) o especies generalistas, muchas veces especies invasoras.
- Reducción del rango de distribución de las especies con bajo potencial de migración o dispersión y/o debido a la disminución del tamaño de las áreas con condiciones climáticas propicias.
- Eliminación del rango de distribución de las especies, debido a la presencia de barreras para su migración, a la falta de capacidad de dispersión y/o a la falta de áreas con condiciones climáticas propicias. Este escenario se asocia principalmente con especies árticas, alpinas e insulares o con especies dependientes de áreas alteradas.
- Sin cambios en el rango de distribución. En este caso las especies mantienen su rango normal, cuando la magnitud del cambio climático es insuficiente para inducir una migración o como en el caso de la biota de los suelos, la cual generalmente presenta una amplia gama en cuanto a la temperatura en donde se desarrolla.

Ante el fenómeno de cambio climático, las áreas naturales protegidas costeras y marinas pueden resultar ser una herramienta eficaz para: (CRC–URI y IRG, 2009)

- El mantenimiento de hábitats arrecífales y manglares capaces de amortiguar diversos impactos costeros.
- El mantenimiento de la productividad de las pesquerías a través de la protección de comunidades coralinas, de mangles y de pastos marinos sanas.
- Funcionar como refugios y fuentes de provisión de larvas para recolonización después de los eventos de blanqueamiento coralino o debido a la modificación de los rangos de distribución de las especies.

- Proveer de espacios para la migración de los hábitats hacia tierra adentro o a lo largo de la costa derivados del aumento del nivel del mar y de la temperatura.

Nuevos retos para la conservación de la biodiversidad y de los bienes y servicios que proveen a la sociedad resultantes de los efectos del cambio climático global, se derivarán tanto de cambios en la ubicación de los ecosistemas en el territorio, como de los nuevos patrones de distribución de las diferentes especies. En este sentido las áreas naturales protegidas tendrán que ser capaces de evolucionar tanto en lo político y lo social, como hacia un manejo territorial más dinámico que el que ahora es permitido por sus límites rígidos. Esto tendrá como consecuencia un cambio de paradigma en cuanto a la conceptualización actual de su función y de las prácticas relativas a su manejo, gestión y gobernanza. Actualmente las áreas naturales protegida constituyen la principal estrategia del Estado mexicano, para intentar conservar y al mismo tiempo aprovechar la megadiversidad biológica presente en el país, sin embargo, su permanencia a largo plazo dependerá de nuestra capacidad de lograr que estos territorios continúen aportando bienes y servicios a todos los mexicanos y que en paralelo, logremos inculcar un sentido de apreciación de estos valores en la sociedad mexicana. Como todos los bienes de carácter intergeneracional (Lowry, 1998), las áreas naturales protegidas de México solo serán capaces de sobrevivir a los múltiples cuestionamientos sobre su existencia que serán planteados a lo largo del siglo xxi, si los mexicanos somos capaces de valorarlas como territorios que generan beneficios claros e importantes para la sociedad en conjunto y por ende exigir que el Estado se responsabilice de su conservación efectiva.

Áreas naturales protegidas costeras y marinas de México

Las áreas naturales protegidas costeras y marinas de México, incluyen a 93 de los 551 sitios que actualmente cuentan con un instrumento legal vigente a nivel federal, estatal o municipal (hasta 10/10/2010). Con una superficie total de 14 351 198 hectáreas, las áreas naturales protegidas costeras y marinas constituyen el 58% de la superficie total de las áreas protegidas gubernamentales existentes en el país. Solo 41 áreas naturales protegidas comprenden ecosistemas marinos abarcando una superficie de 4 930 655 hectáreas y entre todas cubriendo una superficie total de 9 420 542 hectáreas de ecosistemas costeros que representan el 4.8% de la superficie terrestre e insular de la República Mexicana (tablas 1 y 2).

Las 4 930 655 hectáreas de aguas marinas incluidas dentro de las áreas naturales protegidas federales y estatales, representan el 15% de la superficie de su mar territorial, el 20% de las aguas interiores del Golfo de California, el 0.16% de su Zona Económica Exclusiva y el 7% de su plataforma continental (tabla 3).

Tabla 1. Superficie de las áreas naturales protegidas terrestres y marinas de México.

Áreas Naturales Protegidas con instrumento jurídico vigente en México	Numero total de ANP	No. de ANP costeras y marinas	%	Superficie total (ha.)	Superficie terrestre o costera ha.	%	Superficie marina (ha.)	%
ANP federales (Bezaury *et al.*, 2009 actualizado a10/2010)	170	66	39	21 313 137	16 489 740	77	4 823 397	23
ANP estatales (Bezaury *et al.*, 2007 actualizado a 10/2010)	282	25	9	3 419 865	3 312 606	93	107 259	7
ANP municipales (Bezaury *et al.*, 2007 actualizado a 10/2010)	99	2	2	167 463	167 463	100	0	0
Total ANP	551	93	17	24 900 464	19 969 808	270	4 930 655	30

Nota: La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) administra adicionalmente cuatro áreas de protección de recursos naturales, correspondientes a porciones de las Cuencas de Alimentación de las Obras de Irrigación de los Distritos Nacionales de Riego decretadas el 3 de agosto de 1949 y recategorizadas el 7 de noviembre de 2002, mismas que a la fecha ya han sido delimitadas y se encuentran en proceso de ser notificadas oficialmente. En este sentido la superficie total manejada por la Conanp incluye **25 384 818** ha.

Tabla 2. Tipos de ambientes presentes en las áreas naturales protegidas costeras y marinas de México.

Ecosistema	Ambiente	Federales		Estatales		Municipales		Total	
		No. ANP	%	No. ANP	%	No. ANP	%	No. ANP	%
Marino	Marino	32	49	8	35	-	-	40	43
	Marino Profundo (Excluye aguas marinas superficiales)	1	2	-	-	-	-	1	1
Costero	Lagunas Costeras	19	29	17	74	2	100	38	41
	Vegetación Inundable	28	43	20	87	2	100	50	54
	Terrenos Costeros	55	85	18	78	1	50	74	80
	Tierras Altas	27	42	15	65	1	50	43	46
Número total de ANP		66	100	25	100	2	100	93	100

Principales presiones derivadas del cambio climático que afectan los ecosistemas costeros y marinos de México

Los ecosistemas costeros y marinos se encuentran actualmente directa e indirectamente sujetos a una multiplicidad de presiones derivadas de las actividades humanas. Resulta evidente que el cambio climático global y los impactos directos sobre los ecosistemas costeros y marinos, entre los que destacan el incremento del nivel del mar y de su temperatura, la acidificación de las aguas marinas, así como el incremento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos

Tabla 3. Superficie de las áreas naturales protegidas marinas por zona

Aguas Marinas Mexicanas	Superficie de las Aguas Marinas Mexicanas en ha	Superficie ANP federales	%	Superficie ANP estatales	%	Superficie total ANP en ha	%
Mar Territorial (Bezaury y Torres, 2010a)	23 300 377	3 400 106	14.59	106 668	0.5	3 506 774	15.05
Aguas Interiores del Golfo de California (Bezaury y Torres, 2010a)	4 853 742	972 785	20.04	-	0.0	972 785	20.04
Zona Económica Exclusiva (Bezaury *et al.*, 2010a)	285 337 841	450 505	0.16	591	0.0	451 096	0.16
Total	313 491 593	4 823 397	1.54	107 259	0.0	4 930 655	1.57
Sobre la Plataforma Continental (-200 m) (Bezaury y Torres, 2010b)	40 283 459	2 779 509	6.90	107 259	0.3	2 886 768	7.17
Afuera de la Plataforma Continental (+200 m) (Bezaury y Torres, 2010b)	273 207 766	2 043 888	0.75	-	0.0	2 043 888	0.75
Total	313 491 593	4 823 397	1.54	107 259	0.0	4 930 655	1.57
Aguas Interiores de la Bahía de Chetumal (Bezaury *et al.*, 2010b)	136,889	-	0.00	130,680	95.5	130,680	95.46

Notas: La superficie de las aguas marinas mexicanas, utiliza la Línea de Costa en el MGM 4.1 (INEGI, 2009a, Modificada por Bezaury y Torres 2010c) y la superficie de las áreas naturales protegidas conforme a la Línea de Costa en el MGM 1.0 (INEGI, 2005). Los totales de la superficie de las aguas marinas mexicanas utilizan el promedio de la superficie SIG

meteorológicos extremos, provocarán impactos significativos tanto sobre la integridad de estos ecosistemas, como sobre el bienestar de la población humana asentada a lo largo de las costas del planeta y sus bienes. Sin embargo y desafortunadamente, la evidencia científica resulta ser aún poco precisa en cuanto a la magnitud precisa y la localización geográfica exacta de los impactos que tendrá el cambio climático, situación que ha sido aprovechada por algunos sectores e intereses para evitar la adopción inmediata de las medidas necesarias para mitigar y adaptarse ante este ineludible cambio.

La mitigación involucra la implementación de políticas que resultan en una reducción de la emisión de los gases que producen el efecto de invernadero, o el fomento de los sumideros de estos gases (Metz *et al.,* 2007). Por otro lado, la adaptación comprende a los ajustes que se realizan sobre sistemas naturales o humanos y que se implementan como respuesta a los estímulos climáticos actuales o previstos, así como de sus efectos, para moderar los daños o aprovechar las oportunidades benéficas (IPCC, 2007).

Sin tratar de minimizar la importancia y los efectos de las alteraciones a los ecosistemas costeros y marinos derivadas de fenómenos cíclicos que a partir de los últimos 150 años hemos considerado como "naturales". Es ineludible considerar que los impactos resultantes del crecimiento exponencial de las presiones que cotidianamente ejercemos sobre estos frágiles sistemas naturales, reducirán en un futuro cercano el valor de los bienes y servicios que estos ecosistemas brindan a la sociedad, dentro de en un lapso de tiempo comprendido en términos de una generación humana (+- 25 años). Estas presiones se derivan actualmente: de esquemas

de aprovechamientos pesqueros sobrecapitalizados, promovidos por el propio Estado y planteados primordialmente como soluciones a corto plazo a presiones sociales recurrentes; de la política turística con una visión orientada exclusivamente a buscar atraer inversión a cualquier costo, no obstante que como resultado se termine fomentando el desarrollo de proyectos turístico costeros que no son económico y socialmente viables a largo plazo para la sociedad nacional; y, de la aportación de nutrientes y contaminantes resultantes de un amplio conjunto de actividades humanas que se desarrollan a lo largo y ancho del país y que finalmente repercuten sobre la integridad de los ambientes marinos y costeros, debido a que el flujo de las aguas desemboca en los océanos, provocando su degradación paulatina, constante y persistente.

Ante esta compleja situación, las áreas naturales protegidas no necesariamente serán la herramienta más idónea para disminuir la mayor parte de los impactos derivados de las presiones externas y por lo tanto su resolución tendrá necesariamente que ser abordada a través del uso de otros instrumentos de la política pública. No obstante, siempre y cuando las áreas naturales protegidas sean manejadas adecuadamente y en cuanto seamos capaces de reducir a un mínimo los impactos directos derivados de las actividades humanas que se realizan adentro de ellas, pueden representar un importante elemento de la estrategia nacional de adaptación al cambio climático y el consecuente mantenimiento de los bienes y servicios que estas áreas proveen a la sociedad.

En México la mayor parte de los ecosistemas costeros se distribuyen en una estrecha franja a lo largo del perímetro continental y por lo tanto son ecosistemas relativamente escasos (tabla 4), si comparamos su extensión contra la mayor parte de los ecosistemas que se presentan al interior del continente o en los océanos.

Tabla 4. Escasez Relativa de los Ecosistemas Costeros en México

Ecosistemas	Superficie (ha)	% de la superficie total del País	Fuente
Arrecifes y comunidades coralinas	178 000	0.06	Spalding *et al.*, 2001
Humedales Costeros* (incluye tular, popal, vegetación halófila hidrófila y vegetación de petén)	1 468 682	0.75	INEGI, 2009b
Manglares*	770 057	0.39	Conabio, 2008
Vegetación de dunas costeras	140 706	0.07	Semarnap, 2000
Islas Marinas (continentales y oceánicas)	549 865	0.28	Conabio, 2007
Islas Interiores (en zonas costeras)	170 150	0.09	Conabio, 2007
Total	3 277 460	0.64	

Nota: Arrecifes y comunidades coralinas: % de la superficie total de las aguas marinas mexicanas, los demás ecosistemas: % de la superficie terrestre e insular de México. Total: % de la suma de las aguas marinas mexicanas mas la superficie terrestre e insular.

* INEGI (1984) indica un total de 1 567 300 ha de humedales costeros que representan el 0.8% de la superficie total del país. Semarnap en el Inventario Forestal Nacional 2000 indica un total de 2 082 584 ha para la vegetación hidrófila (incluye manglar, popal-tular y vegetación de galería), lo que representa el 1.07% de la superficie total del país (Palacio-Prieto *et al.*, 2000). La Serie IV de INEGI (2009b) indica un total de 2 414 522 ha para la vegetación hidrófila en humedales costeros, incluyendo además de lo indicado en la tabla 945 840 ha de manglar.

No obstante su relativa escasez, una función clave de los hábitats costeros provistos de vegetación para mitigar el cambio climático, es el papel que juegan como sumideros de carbono orgánico a muy largo plazo. El carbono capturado en estos hábitats es enterrado en los sedimentos provenientes de los manglares, marismas salobres y pastos marinos, por lo que permanece almacenado por milenios, a diferencia del carbono capturado por la vegetación terrestre que permanece almacenado solamente por décadas o siglos (Nellemann *et al*., 2009). El valor de este servicio ecosistémico deberá ser considerado en los futuros mercados de carbono que se establecerán en el contexto de las negociaciones Post-Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, como un equivalente costero y marino de REDD (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación) en función de los beneficios que de la conservación de estos hábitats marinos y costeros se obtendrá como resultado de su capacidad de mitigar emisiones de CO_2 (tabla 5).

Ante los inminentes efectos negativos que el cambio climático global provocará en las comunidades costeras y marinas mexicanas y como un componente de la estrategia de adaptación, es conveniente adoptar el principio precautorio, e incluir bajo la cobertura de algún instrumento de protección formal a la mayor parte de los ecosistemas costeros de distribución escasa. Esta estrategia, deberá contemplar tanto el régimen de áreas naturales protegidas, como la aplicación de otros instrumentos de la política ambiental y de acción social que favorezcan la aplicación de las prácticas de manejo y protección conducentes a su conservación y al mantenimiento de sus funciones ecológicas a largo plazo.

Tabla 5. Carbono almacenado anualmente en ámbitos costeros y marinos en México.

Componente	Superficie en México(ha)	Tasa media anual de enterramiento de carbono orgánico (Ton C ha $^{-1}$ año^{-1}) (Nellemann et al. 2009)	Monto anual total de carbono enterrado (Ton C año^{-1})	Fuente (Superficie)
Hábitats costeros con vegetación				
Manglares	770 057	1.39	1 070 379	Conabio, 2009
Marismas salobres	380 100	1.51	1 203 837	INEGI, 2009b (Vegetación halófila hidrófila)
Pastos marinos	?	0.83	?	
Otras áreas de depósitación costero / marinas (para efectos comparativos)				
Esteros	?	0.5	?	
Plataforma continental	40 283 459	0.2	8 056,692	Bezaury y Torres, 2010 b

Arrecifes coralinos

Los arrecifes coralinos representan ecosistemas altamente vulnerables al cambio climático global. Las principales afectaciones que se prevén sobre los arrecifes coralinos se derivan tanto de las fluctuaciones de temperatura que provocan la expulsión de las zooxantelas de los pólipos de los corales, como del fenómeno de acidificación de las aguas marinas (figura 1), el cual es producto de la absorción del CO_2 atmosférico en los océanos y cuya consecuencia es que la tasa de calcificación en los corales decrece, con efectos catastróficos para estas comunidades (Field *et al.,* 2001; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007).

Los esqueletos de los corales, formados de aragonita, son más solubles que la calcita, la forma dominante de carbonato de calcio, por efecto de la acidificación marina. Los corales ramificados y especialmente *Acropora* de aguas someras, importantes constructores primarios de arrecifes, se tornarán más quebradizos y más propensos a ser dañados, provocándose consecuentemente un amplio deterioro del hábitat (Veron *et al.*, 2009).

A nivel mundial el deterioro de los arrecifes coralinos se aceleró significativamente a partir de que las concentraciones de CO_2 alcanzaron las 320 ppm, situación que se ha acentuado ante la actual concentración de 387 ppm (Royal Society, 2009). En este sentido las propuestas de limitar los niveles de carbono a 450 ppm no evitarán la perdida catastrófica de arrecifes, ya

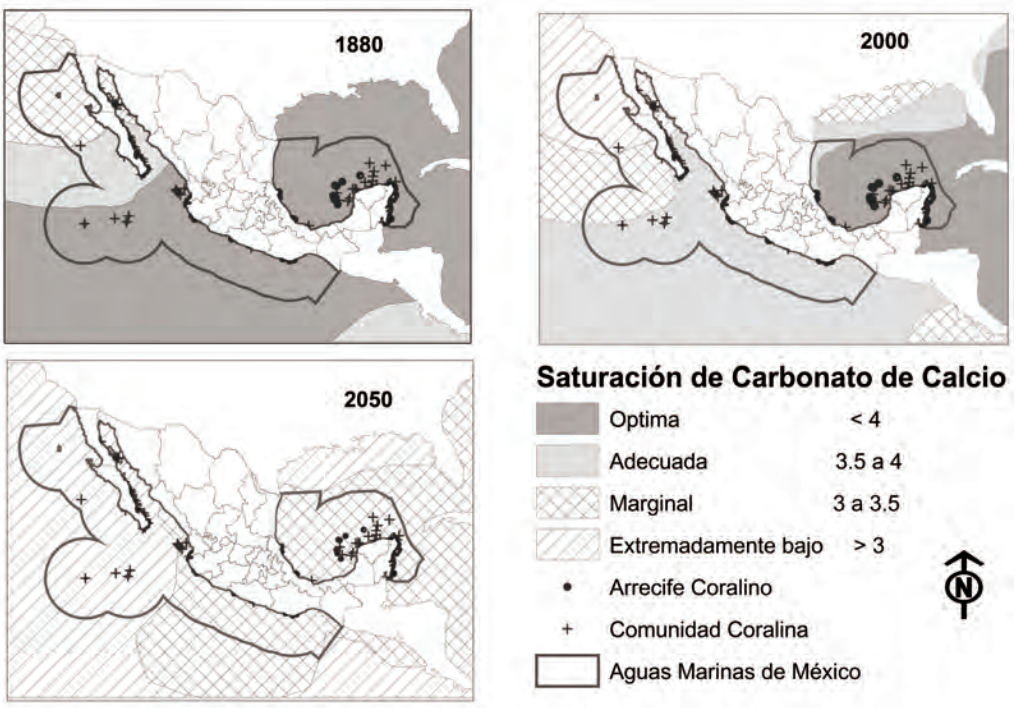


Figura 1. Modelo de Saturación de CO_2 en aguas superficiales oceánicas en los años 1880 y 2000 y proyectada para 2050. (Field *et al.,* 2001, derivado de Kleypas, 1999)

que se requerirán concentraciones significativamente menores a las 350 ppm para asegurar la viabilidad a largo plazo de estos ecosistemas (Royal Society, 2009).

Los arrecifes proveen a la economía de diversos bienes y servicios, entre los que destacan su función: como una barrera natural de protección que aminora los impactos derivados de fenómenos meteorológicos extremos, como zonas de crianza y crecimiento de especies marinas que son aprovechadas comercialmente y como sitio en donde se desarrollan actividades turísticas de muy alto valor. Asimismo constituyen ecosistemas que ayudan a mitigar el cambio climático, ya que constituyen sumideros de carbono de larga duración.

De acuerdo a Burke y Maidens (2004) casi el 50% de los arrecifes mexicanos del Golfo de México y el Mar Caribe están siendo amenazados por las actividades humanas, siendo la sobrepesca la principal amenaza, ya que afecta casi a la mitad de ellos. El desarrollo costero amenaza al 30% de los arrecifes, especialmente alrededor del desarrollo turístico de Cancún. Se estima que el cambio de uso del suelo y las actividades agrícolas representan una amenaza para el 14% de los arrecifes principalmente en Veracruz. Las actividades marinas (excluyendo el tráfico marítimo y la posibilidad de derrames asociados a la explotación petrolera en el Golfo de México) amenazan al 17% de los arrecifes coralinos, especialmente a aquellos ubicados en las cercanías de Cancún y Cozumel.

Los arrecifes coralinos de México pueden ser agrupados en cuatro grandes zonas (Bezaury-Creel *et al.,* 1998): Océano Pacífico, Golfo de México-Veracruz, Golfo de México-Sonda de Campeche y Mar Caribe. En la zona del Océano Pacífico predominan las comunidades coralinas y solamente en pocos sitios se desarrollan verdaderos arrecifes coralinos, siempre de tamaño limitado. En la zona del Golfo de México-Veracruz se presentan dos conjuntos principales de arrecifes coralinos, ambos ubicados cerca de la costa. Un mayor grado de desarrollo arrecifal caracteriza a los arrecifes de la zona del Golfo de México-Sonda de Campeche, los cuales se ubican alejados de la costa, sobre la amplia plataforma continental de la península de Yucatán. La zona del Mar Caribe presenta el sistema arrecifal mejor desarrollado de México, es un arrecife bordeante ubicado a lo largo de la costa, desde Isla Contoy en el noreste de la península de Yucatán, hasta Xcalak, México y el Cayo de Ambergris (Belice), donde se inicia el desarrollo de la Barrera Arrecifal Beliceña. Los posibles efectos del cambio climático global sobre estas grandes zonas no se presentarán en forma homogénea y requieren ser analizadas individualmente.

Arrecifes del Océano Pacífico

En la zona del Océano Pacífico los arrecifes de coral se presentan en aguas someras (0 a 25 m de profundidad), desde el sur del Golfo de California hasta Oaxaca y las islas Revillagigedo, generalmente construyendo estructuras de poco relieve con menos de 3 m de espesor (Reyes Bonilla, 2003; Calderón-Aguilera *et al.,* 2007). Durante 1997, la costa oeste de México resintió los efectos de El Niño y el calentamiento de las aguas causó severa mortalidad de los corales tanto en el Golfo de California como en el Pacifico tropical mexicano, los cuales se encuentran en pleno proceso de recuperación (Reyes Bonilla *et al.*, 2002: Calderón-Aguilera *et al*., 2007).

No obstante que los eventos de El Niño son comunes en el Pacífico oriental, la evidencia histórica indica las anomalías positivas en cuanto a temperatura provocadas por este fenómeno son atenuadas el la costa oeste de México y consecuentemente los daños ocasionados a los arreciféis han sido menores (Reyes Bonilla *et al*., 2002). Esto explica el porque después de experimentar dos de los más intensos eventos de El Niño durante un periodo menor a 20 años, estas comunidades coralinas y arrecifes aun se encuentran relativamente saludables (Reyes Bonilla *et al.,* 2002). Por otro lado efectos indirectos de El Niño como lo fueron la secuencia de 3 tormentas tropicales importantes que entre septiembre y noviembre de 1997 (Olaf, Pauline y Rick) afectaron en una magnitud menos intensa que la esperada a los arrecifes de Huatulco, documentándose patrones de daños limitados en cuanto a su severidad y variables en cuanto a su distribución espacial (Lirman *et al.*, 2001).

El primer antecedente de protección que incluyó a comunidades coralinas de esta región se realizó en 1975, cuando mediante un acuerdo secretarial se estableció la Zona de Refugio para la Protección de la Flora y Fauna Silvestre en las aguas comprendidas en Los Arcos, de la Bahía de Banderas. Actualmente en esta región solamente tres áreas naturales protegidas comprenden formaciones arrecífales: los parques nacionales Cabo Pulmo establecido en 1995 y Huatulco en 1998, así como el correspondiente a la Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo creada en 2007. Otras 5 áreas protegen comunidades coralinas de la región: la Reserva de la Biosfera (RB) Archipiélago Revillagigedo creada en 1994, el Parque Nacional (PN) Bahía de Loreto en 1996, la RB Islas Marías en el 2000, el Santuario Islas La Pajarera, Cocinas, Mamut, Colorada, San Pedro, San Agustín, San Andrés y Negrita y los Islotes Los Anegados, Novillas, Mosca y Submarino (Islas de la Bahía de Chamela) en 2002 y finalmente el Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) Islas Marietas decretado en 2005.

Sin pretender de minimizar los efectos negativos que serán ejercidos en el futuro sobre los arrecifes y comunidades coralinas, derivados de eventos de aumento en la temperatura del agua (ver Iglesias-Prieto *et al.,* 2003; Medina-Rosas *et al.,* 2005) o del incremento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos en el Pacífico mexicano, probablemente la acidificación de de las aguas marinas y la consecuente reducción de la saturación de carbonato de calcio en la región, representa la mayor amenaza para su persistencia a largo plazo. De acuerdo a Field *et al.* (2001), en 1880 la saturación de carbonato de calcio en la región se calificaba como: en situación óptima para el desarrollo coralino desde el extremo meridional de la Península de Baja California hacia el sur, incluyendo al archipiélago Revillagigedo, en situación adecuada en la porción sur del Golfo de California y en situación marginal en la porción norte del Golfo de California. Para 2000 esta saturación disminuyó hasta alcanzar una situación calificada como; adecuada desde la porción sureña del Golfo de California y hacia el sur de la costa mexicana del Pacífico, incluyendo al archipiélago Revillagigedo el cual empieza a entrar en una situación marginal; y, proyectándose a 2050 hacia una situación marginal desde el extremo meridional de la península de Baja California hacia el sur y en condiciones extremadamente bajas en el Golfo de California y el archipiélago Revillagigedo.

En este sentido será de gran importancia el reducir al un mínimo absoluto el nivel de presiones antrópicas y de los efectos indirectos derivados de la presencia de especies introducidas – como por ejemplo los daños por sedimentación a las colonias coralinas del sur de la Isla Socorro causada por borregos ferales (Ochoa-Lopez *et al*.,1998) sobre las comunidades coralinas del archipiélago Revillagigedo - ya que este grupo de islas funcionan como un eslabón para la migración de corales y otras especies de fauna marina desde Pacífico central hacia el oriental (Jordan *et al.*, 2001) y constituyen un puente esencial para la recolonización de corales en la costa mexicana del Pacífico. Por otro lado las costas del sur del país podrían convertirse en refugio para los corales del Pacífico oriental, ya que no obstante su futura condición marginal en cuanto a la saturación de carbonato de calcio, la costa al Pacífico en el resto del continente presentará condiciones extremadamente bajas (Field *et al.*, 2001; figura 1).

Las amenazas a las que se verán sujetos en un futuro cercano los arrecifes coralinos del Océano Pacífico y su relativa escasez, nos sugieren que como medida prioritaria para lograr su adaptación al cambio climático, se adopten medidas inmediatas para la protección del 100% de estas estructuras, bajo algún instrumento de política publica, complementados con estrategias de participación local. Utilizando el análisis sobre la biodiversidad de los corales presentes en estado de Oaxaca efectuado por López-Pérez y López-García (2008), se puede observar como ejemplo, que dentro del Parque Nacional Huatulco solo se encuentran representadas el 62.5% de las especies de corales escleractinios presentes en la costa del estado de Oaxaca y que con la simple adición de algunos arrecifes cercanos, como La Entrega e isla Montosa, esta cifra se elevaría al 93% de las especies. Sin embargo esta aparente efectividad en cuanto a presencia o ausencia de especies de corales hermatípicos, no considera la función que pueden jugar cada uno de los grupos arrecifales existentes, en condiciones de una distribución discontinua y su escasez relativa a lo largo de la costa, como escalones que favorecen la conectividad con otros grupos de arrecifes, como aquellos ubicados en Puerto Escondido y en Puerto Ángel en la costa oaxaqueña y que podrían ayudar a recolonizar arrecifes ubicados aun más al poniente y al norte de la costa mexicana. Esta situación adquiere una especial importancia ya que es posible que esta fauna coralina se encuentre aun en un proceso de constante flujo en cuanto a su colonización/extinción y que aun no haya alcanzado un nivel estable de riqueza específica (Cornell, 1993), amén de que dicho proceso seguramente será afectado por el cambio climático global.

Arrecifes del Golfo de México-Veracruz

La zona del Golfo de México-Veracruz presenta dos conjuntos principales de arrecifes: el Sistema Arrecifal del norte de Veracruz y el Sistema Arrecifal Veracruzano ubicado frente al puerto de Veracruz. El primero presenta seis arrecifes en forma de plataforma, algunos con partes emergentes como en Isla Lobos. El Sistema Arrecifal Veracruzano incluye 17 arrecifes principales y cuatro arrecifes bordeantes (Lara *et al*., 1992) y se subdivide en el grupo norte y en el grupo sur (Carricart y Horta, 1993). La mayoría de las estructuras en el grupo norte son del tipo plataforma, con arrecifes bordeantes en Punta Gorda, Punta Majagua, Hornos y Punta

Mocambo. En el grupo sur todas las estructuras arrecifales son de tipo plataforma con excepción de El Giote, un arrecife bordeante. (Lara *et al.,* 1992; Carricart y Horta, 1993). Un tercer grupo de comunidades coralinas poco estudiadas, se presenta en las aguas frente a la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (A. Laborde comentario personal).

A mediados de la década de 1960 los valores de cobertura de los corales duros en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) reportados por Kiihlnlann (1975) fueron del 50% en la parte somera y de 40% en la zona profunda del arrecife La Blanquilla, en el cual en 1975 se estableció la Zona de Refugio para la Protección de la Flora y Fauna Marinas. La cobertura de *Acropora palmata* abarcaba en aquel entonces el 65% del sustrato disponible de varios de los arrecifes someros del SAV y la de *A. cervicornis* el 100% del arrecife de Enmedio (Ranefeld, 1972; Kiihlmann, 1975). Para 1999, Horta Puga (2003) reportó una cobertura de *Acropora* spp. menor al 1.5% en el SAV como resultado de una extensa mortandad en los 1970s y 1980s (Tunnell, 1992; Jordán-Dahlgreen, 1992), y que la cobertura de corales pétreos a una profundidad comprendida entre los 3 y 6 metros no había variado sustancialmente en cuanto a lo reportado por Tunnell en 1992, quien encontró una cobertura de 17 % y 12 % en el arrecife frontal de los arrecife De Enmedio y El Cabezo. La reducción de la cobertura coralina en el SAV es una indicación clara del serio deterioro que ha sufrido este ecosistema arrecifal, además de que las posibilidades de una recuperación significativa del arrecife frontal son bajas mientras tanto persistan condiciones que mantienen baja la tasa de reclutamiento de nuevas colonias (Horta Puga, 2003).

Muy probablemente las colonias de corales remanentes en el SAV, las cuales han estado sujetas a fuertes presiones antrópicas, entre las que destacan: la sobrepesca, la contaminación por hidrocarburos, drenaje municipal, otras substancias químicas, turismo, exceso de colecta científica, encallamientos, anclaje y otras más, presentan genotipos con características excepcionales en cuanto a su resistencia y/o resiliencia, ante las presiones derivadas tanto de las actividades humanas antes enunciadas, como de aquellas presiones de tipo "natural" como lo son: la influencia de agua dulce y turbiedad derivadas de las descargas del río Jamapa, la reducción de la temperatura provocada por las masas invernales de aire frío o "Nortes" o el aumento de temperatura, ya que el comparativo entre los datos presentados por Horta Puga (2003) y Tunnell (1992), tienden a indicar que el SAV se vio poco afectado por el fenómeno de El Niño de 1997-1998. Este mismo comparativo podría ser utilizada erróneamente para indicar que el establecimiento del PN Sistema Arrecifal Veracruzano en 1992, tuvo como resultado la estabilización del deterioro en la cobertura del arrecife, sin embargo, no es sino hasta 2000 cuando se le asigna personal a esta ANP (Bezaury-Creel, 2004) y se inicia su manejo con fines de conservación.

Con el establecimiento del APFF Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan en 2009, el cual incluye a todos los arrecifes del Sistema Arrecifal del Norte de Veracruz ya se encuentran bajo un régimen de protección la totalidad de los arrecifes del Golfo de México-Veracruz, con excepción de las comunidades arrecifales ubicadas frente a la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. No obstante que muchas de las presiones derivadas al interior de ambas ANP puedan ser mitigadas

a través de su manejo efectivo, las presiones externas serán difíciles de controlar debido a su ubicación cercana a puertos de importancia para la economía mexicana y a amenazas globales. En este sentido, en la porción mexicana del Golfo de México, la reducción de la saturación de carbonato de calcio, disminuirá de una situación óptima como la que se presentaba desde 1880 hasta 2000, a una situación marginal proyectada a 2050 y que dicha saturación para el Sistema Arrecifal del norte de Veracruz muy probablemente ya ha disminuida de una condición optima a una calificada solo como adecuada (Field *et al*., 2001; figura 1).

Arrecifes del Golfo de México-sonda de Campeche

Los arrecifes de la zona Golfo de México-sonda de Campeche presentan características ecológicas y morfológicas que los distingue de los arrecifes coralinos de la zona del Mar Caribe, aunque su fauna es similar (Ferré D'Amaré, 1995). Presenta tanto arrecifes emergidos como sumergidos, siendo todos ellos plataformas con crecimiento cónico truncado, que emergen a partir de una base pre-Holocénica localizada a 50-60 m de profundidad (Jordán, 1993; Ferré D'Amaré, 1995). En la sonda de Campeche sobresale el arrecife Alacranes como el conjunto arrecifal más extenso y con mayor desarrollo, así como una buena cantidad de arrecifes coralinos y de comunidades de corales que no presentan desarrollo estructural arrecifal y que se encuentran dispersas sobre la plataforma continental, entre las cuales destacan: Cayo Arcas, Banco Obispo, Banco Nuevo, Banco Pera, Triángulos, Banco Ingles, Banco Nuevo, Cayo Arenas, Bajos del Norte, Bajo Granville, Bancos del Este, Bajos Serpiente, Madagascar y Sisal, Bajo Pawashik, Roca Ifigenia y Bajo Antonieta (Bezaury-Creel *et al.*, 1998).

Entre las presiones y amenazas que actualmente inciden sobre estos arrecifes y comunidades coralinas sobresale en primer término aquellas que se derivan de la sobrepesca y en un segundo lugar aquellas derivadas de la producción y transporte de hidrocarburos en la zona (Jordán Dahlgreen, 2004; Gold-Bouchot, 2004). El PN Arrecife Alacranes establecido en 1992, constituye la única área natural protegida en esta zona creada con el objetivo específico de conservar ecosistemas arrecifales, no obstante que el APFF Yum Balam decretada en 1994 y la RB Tiburón Ballena en 2009, protegen algunas comunidades coralinas, incluyendo aquellas que se desarrollan dentro de la laguna Yalahau, en donde se han detectado pequeños parches de coral (Snedaker *et al.*, 1991).

No obstante la inherente dificultad para manejar adecuadamente la gran cantidad de pequeños arrecifes y comunidades coralinas que se encentran dispersos en el banco de Campeche, mediante el uso de instrumentos de la política publica, es indudable que las presiones que se ejercen actualmente sobre estos sitios, principalmente aquellas derivadas de la sobrepesca deberán de ser disminuidas, para lograr aumentar su resiliencia ante el cambio climático. En este sentido la implantación de medidas de seguridad en la Sonda de Campeche (Semar, 2003) instauradas con el objeto de proteger las instalaciones petroleras, sin ser uno de sus objetivos, ha resultado en una reducción de la intensidad de la actividad pesquera en torno a muchos de los cayos y bancos ubicados al poniente de la península de Yucatán. Esto debido a que mediante

el acuerdo intersecretarial correspondiente, se establecieron "áreas de prevención", en las cuales no se permite ningún tipo de actividad, salvo aquélla requerida para la exploración y producción petrolera y solamente se autoriza el tránsito rápido e ininterrumpido de embarcaciones pesqueras en ruta hacia sus áreas de pesca situadas fuera de estas áreas y de las "áreas de exclusión", en las cuales no se permite el tráfico de embarcaciones salvo aquellas que son requeridas para la operación de las plataformas petroleras. Por otro lado y con el objeto de favorecer la resistencia y resiliencia de los ecosistemas coralinos ante el cambio climático, es importante prevenir y reducir al mínimo posible la magnitud de las amenazas e impactos derivados de las actividades petroleras que se realizan en la zona, ya que estas no podrán ser evitadas debido a su crucial importancia para la economía del país.

La saturación de carbonato de calcio en las aguas marinas de la Sonda de Campeche, disminuirá a partir de una situación óptima como la que se presentaba desde 1880 hasta 2000, a una situación marginal proyectada a 2050 (Field *et al.,* 2001; figura 1). Es muy probable que la resiliencia futura de estos pequeños arrecifes y comunidades coralinas dependa en buena medida, tanto de la salud del arrecife Alacranes que constituye la mayor concentración de estructuras coralinas en la zona, como de los arrecifes del Caribe mexicano, sitios que podrán representar una importante fuente de provisión de larvas hacia estas estructuras y comunidades coralinas, mismas que debido a su situación de aislamiento, sugiere una alta fragilidad en cuanto a su bajo potencial para el autoabastecimiento larval.

Arrecifes del Mar Caribe

En la porción mexicana del Mar Caribe el sistema arrecifal bordea la costa oriente de la península de Yucatán a lo largo del estado de Quintana Roo. Esta costa es notable por su carencia de ríos, con la presencia de numerosos cenotes en la roca caliza y afloramientos de agua dulce en varios sitios (UNEP/IUCN, 1988). Estudios recientes han demostrado la existencia de sistemas de macizos y canales extensos y muy bien desarrollados en la costa central y sur. La isla de Cozumel y el banco Chinchorro (una estructura en forma de atolón o falso atolón) presenta un arrecife desarrollado a sotavento y arrecifes muy bien desarrollados a barlovento (Bezaury-Creel *et al.,* 1998).

A partir de la década de 1960, estos arrecifes han estado soportando una intensa presión pesquera y a partir de mediados de la década de 1970 los impactos derivados de un considerable incremento de actividades relacionadas con el desarrollo turístico, como se puede observar en los parches arrecifales de Punta Nizuc y el Garrafón de Isla Mujeres, los cuales ya han sido fuertemente alterados por el turismo, los daños empiezan a extenderse hacia: Puerto Morelos, Akumal, Cozumel y Majahual (McField *et al.*, 2008).

En la evaluación de los efectos del blanqueamiento y de los últimos de los 58 huracanes de diversa intensidad que en el siglo XX, han afectado las costas de México en el Golfo de México y el Caribe, efectuada por McField *et al*. (2008), se enumeran los siguientes impactos. Los arrecifes de Puerto Morelos y zonas cercanas sufrieron una mortandad significativa derivada

del paso del huracán Gilberto en 1988 y del evento de blanqueamiento de 1995. Los parches arrecifales de Isla Mujeres y Cancún también resultaron afectados con daños mecánicos y fragmentación por el paso del huracán Iván en 1994. Efectos leves del evento de blanqueamiento de 1995 fueron observados a finales de julio en los arrecifes Mahahual y Sian Ka´an, sin embargo en octubre se observó un blanqueamiento significativo, exhibiendo el 40% de las colonias en Xcalak evaluadas, diversos niveles de blanqueamiento. Sin embargo y diferencia de los arrecifes de Belice el evento de blanqueamiento de 1998 y el paso del huracán Mitch, no ocasionaron una mortandad extensiva en los arrecifes mexicanos. Durante 2005 los arrecifes del Caribe mexicano fueron dañados por los huracanes; Emily en julio y Wilma en octubre, impactando de forma importante tanto a Cozumel en donde la cobertura coralina disminuyó del 24% al 17% y finalmente al 10% con el paso de estos fenómenos meteorológicos intensos, como a los arrecifes del norte de Quintana Roo, en donde se reflejó principalmente sobre los corales de la cresta arrecifal.

Resultan también importantes los daños indirectos o colaterales a los arrecifes derivados del paso de grandes huracanes a lo largo de la costa del Caribe mexicano. Las playas de Cancún, entre Punta Cancún y Punta Nizuc, fueron erosionadas como consecuencia del paso del huracán Wilma a finales de 2005. En febrero de 2006 el gobierno mexicano implementó un programa de restauración de playas, mismo que provocó la mortandad de 10 especies de corales duros en los arrecifes de Punta Nizuc (McField *et al.*, 2008), como impacto indirecto del dragado, depositación y posterior erosión total de las playas restauradas. No obstante esta experiencia negativa y a cuatro años de distancia del Wilma, en 2009 se realizaron nuevamente los dragados para restaurar estas playas, ahora importando la arena del banco norte de la isla de Cozumel.

En la porción mexicana del Mar Caribe, la saturación de carbonato de calcio que se presentaba en situación óptima y estable desde 1880 hasta 2000, disminuirá a 2050 de acuerdo a las proyecciones hasta una situación calificada como marginal (Field *et al.,* 2001; figura 1). No obstante y en cierta medida esta tendencia general hacia la disminución en la saturación de carbonato de calcio, podría atenuarse localmente debido a que los arrecifes se desarrollan sobre una plataforma calcárea y que estos se ubican muy cercanos a la porción emergida de esta plataforma, de donde se originan aportes de agua dulce saturada de carbonato de calcio por vía submarina.

En México el primer esfuerzo para conservar arrecifes coralinos a través de su inclusión dentro de un área natural protegida, culminó en 1973 cuando se estableció la Zona de Refugio de Flora y Fauna Marina Punta Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, la cual en 1996 fue redelimitada y ampliada transformándose en un parque nacional, al igual que Arrecifes de Cozumel creada en 1980 e igualmente transformada en la misma fecha. En 1986 se establece la RB Sian Ka´an y en 1996 la RB Banco Chinchorro. La Zona de Reserva Natural y Refugio de la Fauna Isla Contoy que cubría exclusivamente la superficie insular, es ampliada para incluir a la zona marina circundante y transformada en parque nacional en 1998. Ese mismo año se establecieron el PN Arrecife de Puerto Morelos, así como la RB Arrecifes de Sian Ka´an y dos años más tarde, en 2000 el PN Xcalak. Actualmente se encuentra en proceso de ser

decretada el APFF Cozumel que cuenta con el aviso respectivo publicado en febrero de 2008 en el Diario Oficial de la Federación, el cual incluye lagunas costeras, arrecifes y manglares ubicados en las costas oriente y norte de la isla, abarcando una superficie total de 46 357 ha de las cuales 3 938 ha son terrestres y 42 419 ha marinas. Finalmente Bezaury-Creel *et al.* (1998) plantearon el establecimiento de tres nuevas áreas naturales protegidas: Arrecifes de Xaman Ha con 18 014 ha ubicados frente a los municipios de Solidaridad y Tulum, arrecifes de Uaymil con 23 741 ha y arrecifes de Majahual con 5 981 ubicados frente las costas del municipio de Othon P. Blanco (tabla 6).

Los datos disponibles sobre la cobertura territorial de los arrecifes coralinos en México son escasos y poco confiables. Spalding *et al.* (2001) proponen una cobertura estimada en 178 000 ha de arrecifes para el país y los participantes en la Red Mexicana de Investigación Ecológica

Tabla 6. Superficie arrecifal en las Áreas Naturales Protegidas Federales del Caribe mexicano.

Áreas Naturales Protegidas Federales (todas frente a las costas del Estado de Quintana Roo)	Cobertura Total de Arrecifes en las ANP	% del Total de Arrecifes en las ANP	% del Total de Arrecifes en la Base de Datos (49,061 ha) MCRMP (2004)	Cobertura Total de Arrecifes en las ANP	% del Total de Arrecifes en las ANP	% del Total de Arrecifes en la Base de Datos (4,267 ha) WWF (2002)
Con decreto vigente						
RB Banco Chinchorro	15 972	43.09	32.56	1 394	40.03	32.65
RB Sian Ka'an	13 086	35.30	26.67	919	26.39	21.53
PN Arrecifes de Xcalak	3 345	9.02	6.82	355	10.21	8.33
PN Costa Occidente de Isla Mujeres, Punta Cancún, Punta Nizuc	579	1.56	1.18	321	9.23	7.53
PN Arrecife de Puerto Morelos	1 569	4.23	3.20	270	7.75	6.32
PN Arrecifes de Cozumel	527	1.42	1.08	130	3.73	3.04
PN Isla Contoy	739	1.99	1.51	54	1.54	1.26
RB Arrecifes de Sian Ka'an	1 223	3.30	2.49	39	1.13	0.92
RB Tiburón Ballena	28	0.08	0.06	-	-	0.00
TOTAL	37 068	100.00	75.56	3 481	100.00	81.57
Sitios en proceso de decreto						
APFF Isla Cozumel	1 304	-	2.66	-	-	0.00
Sitios Propuestos						
Arrecifes de Xaman Ha	3 904	-	7.96	233	-	5.45
Arrecifes de Uaymil	1 814	-	3.70	252	-	5.90
Arrecifes de Majahual	1 912	-	3.90	114	-	2.68
TOTAL	8 934	-	18.21	599	-	14.03
GRAN TOTAL	46 003		93.77	4 080		95.60

a Largo Plazo de Arrecifes del Pacífico (MEXLTR) estiman extraoficialmente una superficie aproximada de 20 mil ha para los arrecifes y comunidades coralinas para la zona del Océano Pacífico (Reyes-Bonilla com. pers.). Esta situación de relativa escasez y ante las presiones adicionales que provocará el cambio climático global sobre estos ecosistemas, justifica ampliamente el someter a la totalidad de los arrecifes y la mayor parte de las comunidades coralinas existentes en México a un régimen de protección que permita reducir el nivel de perturbación actualmente provocado por presiones no relacionadas con el cambio climático y por ende hacer mas factible su reducción y mitigación de los impactos a nivel local. Diferentes niveles de protección podrán otorgarse legalmente a las comunidades y arrecifes coralinos mediante una estrategia múltiple que incluya el uso de varias herramientas jurídicas como: áreas naturales protegidas (figura 2), áreas de refugio para la protección de la flora y fauna marinas, normas oficiales mexicanas y ordenamientos ecológicos territoriales costeros y marinos. La estrategia legal deberá complementarse con instrumentos de participación social locales que favorezcan que los diferentes actores colaboren activamente en la mitigación de los impactos adversos que amenazan la permanencia de estos ecosistemas e instrumentar estrategias de manejo que favorezcan su persistencia a futuro.

West y Salm (2003) proponen algunas estrategias para ayudar a identificar tanto a los sitios arrecífales que naturalmente no son afectadas por los fenómenos de blanqueamiento (áreas

Figura 2. Áreas Naturales Protegidas Federales con presencia de arrecifes o comunidades coralinas en México. Puntos = Arrecifes, Cruces = Comunidades coralinas (Bezaury y Castro, 2009a). Polígonos grises ANP (Bezaury *et al.,* 2007)

resistentes), como aquellos sitios en donde las condiciones ambientales son mas conducentes para su recuperación después de la mortandad causada por este tipo de eventos a gran escala (áreas resilientes). Estos autores recomiendan que estas áreas clave sean incorporadas dentro de sistemas de áreas naturales protegidas marinas. Estudios en este sentido están siendo efectuados en México por Amigos de Sian Ka´an A.C. y The Nature Conservancy para los arrecifes del Mar Caribe.

Carilli *et al.* (2009) encontraron que después de un evento de blanqueamiento coralino masivo, las tasas de crecimiento de *Montastraea faveolata* en sitios con niveles de impactos antropogénico más alto se mantuvieron suprimidas por cuando menos 8 años, mientras que el crecimiento de estos corales en sitios menos impactados se recuperaron en 2 o 3 años. Los resultados de este estudio sugieren también que la reducción de las presiones crónicas a través de esfuerzos de manejo local puede incrementar la resistencia de los corales al cambio climático global.

Humedales costeros

Los litorales de la República Mexicana presentan aproximadamente 118 grandes complejos[2] de diferentes tipos de humedales (figura 3) y cuando menos 538 sistemas de menor extensión (Contreras y Warner, 2004), con una superficie total de 1 567 300 ha cubiertas por superficies estuarinas, de las cuales 892 800 ha se ubican a lo largo del Océano Pacífico y 674 500 hectáreas en el Golfo de México y el Mar Caribe (INEGI, 1984).

Los humedales costeros están siendo actualmente afectados: por el crecimiento de la industria turística tanto en las costas del Pacífico como del Caribe; por incrementos en la sedimentación derivada de los cambios de los regimenes hidrológicos derivados de la construcción de presas especialmente el la costa sur del Pacífico; por la sobreexplotación pesquera la cual no obstante solo constituye el 30% del total de las pesquerías en el país, representa el 80% de la actividad económica para los pobladores locales; por la construcción de granjas camaronícolas en la costa norte del Pacífico; y por la contaminación industrial en la costa sur del Golfo de México entre otras presiones (Contreras y Warner, 2004). Por otro lado la alta complejidad ecológica de estos ambientes y su alta productividad generan una importante serie de bienes y servicios a la sociedad.

Debido a que se prevé que los cambios resultantes del cambio climático y especialmente aquellos derivados del aumento del nivel del mar tendrán efectos más intensos sobre los humedales costeros del Golfo de México, esta zona ha sido la más estudiada a la fecha. No obstante, los efectos sobre los humedales costeros del Océano Pacífico podrán ser similares aunque a menor escala y en buena parte de esta costa con oportunidades más limitadas para su migra-

[2]En Contreras-Espinoza (1993) se enumeran 130 lagunas costeras, con base en la propuesta de Lankford (1977, Coastal lagoons of Mexico. Their origins and classification.) quien basa su inventario en el origen geológico de estos ecosistemas y por lo cual incluye indistintamente ecosistemas marinos y estuarinos.

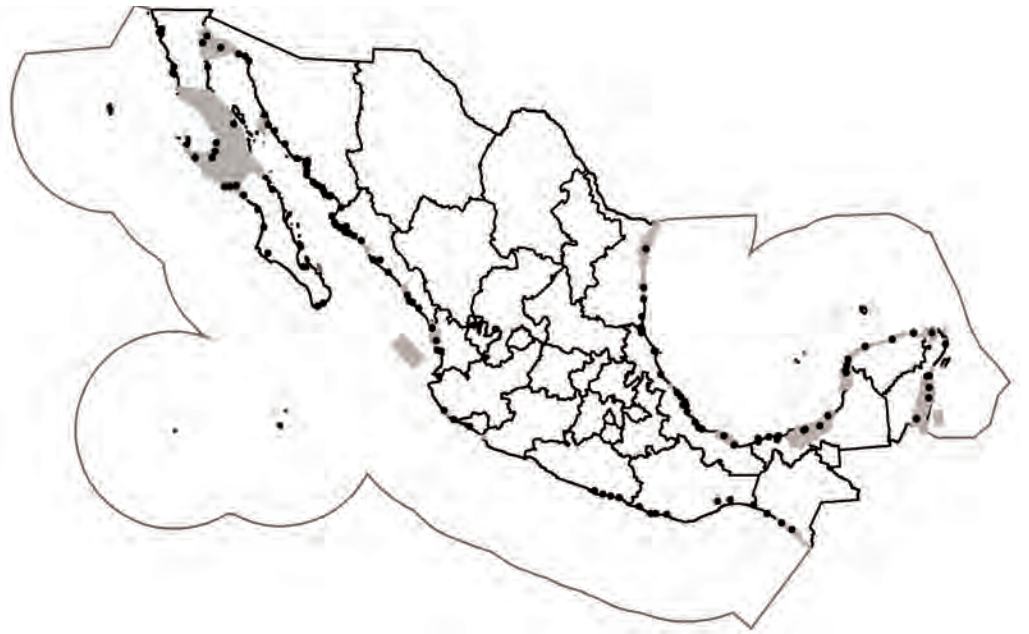


Figura 3. Áreas Naturales Protegidas con presencia de humedales costeros en México. Puntos (Bezaury y Castro, 2009b) = Humedales costeros incluidos en Contreras-Espinoza (1993) y Castañeda y Contreras (1995). Polígonos grises = ANP (Bezaury *et al.,* 2007 y 2009).

ción hacia tierra adentro, debido a la presencia de un mayor relieve orográfico provocado por su origen y comportamiento geológico de colisión de placas en donde dominan las líneas de costa en levantamiento (Semarnap, 1997).

De acuerdo a Mulholland *et al.* (1997) las zonas costeras del Golfo de México probablemente serán afectadas tanto por cambios en el régimen de precipitación, como por el aumento en el nivel del mar.

- En la porción norte la reducción de la descarga de los ríos y de la precipitación, apuntan hacia un aumento en la salinidad de las lagunas costeras alimentadas por estos ríos. Por otro lado, hacia el sur en las regiones costeras probablemente se observará una expansión de los humedales sobre las planicies de inundación, así como la elevación del nivel de los mantos freáticos regionales y sus flujos, siendo también posible este efecto sobre los cenotes de la península de Yucatán.
- Los efectos sobre los humedales de agua dulce en los deltas de los ríos, en las lagunas costeras salobres y en los humedales con manglares muy probablemente serán extensos y dependerán de la interacción particular entre los efectos de los cambios en la precipitación y el aumento en el nivel del mar. Esta situación será particularmente importante en los humedales del delta del Usumacinta, los más extensos del oriente de México y los menos afectados por actividades antrópicas, en donde los humedales de agua dulce se verán reducidos por el aumento del nivel del mar, con la consecuente eliminación

de la flora dulceacuícola –principalmente las macrofitas sumergidas y emergentes-, de su fauna –múltiples especies de cíclidos- y la reducción de la biomasa de aquellas especies que requieren de hábitats dulceacuícolas durante algún periodo de si ciclo de vida. Muchas especies dulceacuícolas importantes como por ejemplo el manatí (*Trichechus manatus*) se verán imposibilitadas de cambiar su rango de distribución migrando hacia tierra adentro debido a la presencia de actividades humanas mas intensas. Sin embargo, si los incrementos en la precipitación y los escurrimientos son capaces de compensar el incremento del nivel del mar, los humedales podrán aumentar su superficie y las especies dulceacuícolas beneficiarse

- La variación estacional de la salinidad podrá incrementarse dramáticamente en algunas áreas debido a la combinación de un incremento en la precipitación durante la temporada de lluvias y el aumento del nivel del mar. Áreas que actualmente presentan agua dulce o salobre se mantendrán como tales durante a lo largo de la época húmeda si los flujos de agua dulce se incrementan para compensar los aumentos en el nivel del mar, pero la salinidad se incrementará sustancialmente durante la época seca cuando el agua salina fluya tierra adentro. Estos cambios podrán tener profundas consecuencias sobre especies costeras que requieren de un rango limitado de salinidad durante una porción o en la totalidad de su ciclo de vida y que serán incapaces de encontrar hábitats adecuados como por ejemplo algunas especies de camarón (*Farfantepenaeus setiferus, F. duorarum* y *F. aztecus*). En contraste con el sureste de los Estados Unidos, la planicie costera mexicana hacia el Golfo de México es relativamente estrecha en muchas porciones lo que evitará que las zonas mareales dulceacuícolas y salobres simplemente migren tierra adentro con el aumento del nivel del mar.
- Asimismo el aumento de la profundidad de las aguas derivadas del aumento de flujos de agua durante la época de lluvias y del nivel del mar, podrá resultar en cambios en las zonas ahora cubiertas de vegetación acuática, incluyendo a los manglares, hacia zonas de agua sin vegetación, lo que repercutiría negativamente en aquellas especies que dependen del de estas áreas como hábitat físico o de fuentes de alimentación proveniente de la vegetación. Finalmente, los aumentos de los flujos dulceacuícolas hacia las lagunas podrán incrementar la estratificación en la columna de agua y provocar hipoxia y la reducción del hábitat para algunas especies.

Ortiz-Pérez y Méndez-Linares (2000) detectaron cinco regiones críticas o vulnerables al ascenso del nivel del mar en el Golfo de México y el Mar Caribe. Tres de ellas se relacionan con las cuencas geológicas marginales de los grandes sistemas deltaicos de los ríos Bravo en Tamaulipas, del Papaloapan en Veracruz y del complejo deltaico del Grijalva – Mexcalapa – Usumacinta, en Tabasco y Campeche; en todas de los cuales se presentan claras evidencias de hundimiento en la costa por subsidencia de las cuencas. Las otras dos áreas, Los Petenes en Campeche y Bahías de Sian Ka'an - Chetumal en Quintana Roo, se sitúan en la península de Yucatán y corresponden a plataformas calcáreas con problemas estructurales de tectónica de hundimiento asociadas con disolución cárstica y de comportamiento geohidrológico.

Con excepción de la región del delta del Papaloapan, en las demás regiones de alta vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar se han establecido áreas naturales protegidas de gran magnitud: el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna Madre y Delta del Río Bravo, la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla y el Área de Protección de Flor y Fauna Laguna de Términos, la Reserva de la Biósfera Los Petenes, la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an y la Zona Sujeta a Conservación Ecológica (estatal) Santuario del Manatí. Los costos sociales que a futuro que se evitarán por concepto de la reposición o protección de infraestructura y otras inversiones públicas y privadas, que no se efectuaron sobre estas zonas de alta vulnerabilidad, debido a que en ellas se establecieron áreas protegidas, seguramente serán considerables (Bezaury-Creel, 2009). En este caso, las áreas naturales protegidas son una medida efectiva para la adaptación social al cambio climático.

La naturaleza de las comunidades bióticas en los humedales costeros resulta en buena medida de la función no solamente de los procesos hidrogeomofológicos físicos, sino también del gradiente salino como factor secundario (Contreras y Warner, 2004). En este sentido buena parte de los procesos que han mantenido hasta la fecha las diversas condiciones particulares de cada uno de los tipos de humedal costero, se verán alteradas a lo largo de un periodo de tiempo relativamente corto y por ende los cambios en la estructura de las comunidades se darán de una forma mas violenta a lo previamente observado. La reducción de las presiones que ejercemos actualmente sobre los humedales costeros redundará en una mayor resistencia y resiliencia de las especies y brindará a estos ambientes mayores oportunidades de adaptarse al cambio climático y seguir proveyendo a los mexicanos de bienes y servicios ecosistémicos (tabla 7).

En la actualidad un poco más de la mitad de los ecosistemas con humedales costeros se encuentran ubicados dentro de áreas naturales protegidas gubernamentales. Si incluimos a la superficie inscrita como Humedal Designado a la Lista de Humedales de Importancia Internacional de Ramsar, la cobertura de los humedales costeros que se encuentran bajo algún régimen de protección alcanzan 1 585 000 hectáreas, lo que representan el 66% de su total en México.

Manglares

Los manglares constituyen humedales costeros de gran importancia económica que se verán afectados a corto plazo por el cambio climático global. La capacidad de resiliencia de los ecosistemas de manglar a los efectos del cambio climático estará determinada por varios factores, entre los que se pueden enumerar los cambios derivados: del incremento de la temperatura, del aumento del CO_2 en la atmosfera, de la ocurrencia de huracanes y tormentas más intensas y frecuentes, así como de las variaciones del régimen precipitación, sin embargo, el mayor impacto resultará del aumento del nivel del mar (McLeod y Salm, 2006). Al igual que para los ecosistemas arrecifales, la resistencia y resiliencia de los manglares se verá considerablemente disminuida por el efecto de los impactos negativos provenientes de fuentes antropogénicas. Estos impactos resultan ser más factibles de ser disminuidos a través de las medidas de manejo implementadas como resultado de su inclusión dentro de redes de áreas naturales protegidas.

Tabla 7. Áreas Naturales Protegidas con presencia de humedales costeros en México.

	Área Natural Protegida con presencia de humedales costeros (en orden de la superficie cubierta)	Manglar	Tular	Popal	Vegetación halófila hidrófila	Vegetación de Petén	Con vegetación de humedales costeros
Federal	APFF Laguna de Términos, Camp.	123 326	98 194	15 822	2 625		239 966
	APFF Pantanos de Centla, Tab.	19,712	168 957	42 924			231 593
	RB Sian Ka'an, Q. Roo	81 695	115 680			1,198	198 573
	APFF Laguna Madre y delta del río Bravo, Tamps.				136 919		136 919
	APFF Marismas Nacionales, Nay.	76 854	384		9 538		86 775
	RB Los Petenes, Camp.	38 428	14 501		429	17,064	70 423
	RB La Encrucijada, Chis.	33 026	31 771				64 797
	RB Ría Celestún, Yuc.	22 105	8 789			17,706	48 600
	RB Alto Golfo de California, delta del río Colorado, B.C., Son.		2 352		31 250		33 603
	RB El Vizcaíno, B.C.S.	5 691			8 806		14 496
	APFF Uaymil, Q. Roo	9 004	17 977			137	27 117
	APFF Yum Balam, Q. Roo	14 784	5 560				20 344
	RB B Ría Lagartos, Yuc.	15 120	1 970				17 090
	APFF Valle de Los cirios, B.C.				2 936		2 936
	APFF Islas del Golfo de California	11 578			151		11 729
	RB Banco Chinchorro, Q. Roo	4 619					4 619
	APFF Manglares de Nipchupte, Q. Roo	3 287					3 287
	PN Arrecifes de Xcalak, Q. Roo	3 227					3 227
	PN Lagunas de Chacahua, Oax.	1 890					1 890
	RB Los Tuxtlas. Ver.	917	89				1 006
	APFF Meseta de Cacaxtla, Sin.	234			224		458
	RB Chamela-Cuixmala, Jal.	201	139		93		433
	RB El Pinacate y Gran Desierto de Altar, Son.				338		338
	APFF Complejo Lagunar Ojo de Liebre, B.C.				260		260
	PN sla Contoy, Q. Roo	225					225
	RB Arrecifes de Sian Ka'an, Q. Roo	68					68
	PN Arrecife de Puerto Morelos, Q. Roo	59					59
	PN Tulum, Q. Roo	48					48
	Sant. Playa Ceuta, Sin.	10			27		37

Elaborado a partir de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (INEGI 2009b) y ANP (Bezaury et al. 2007 y 2009).

Tabla 7 (continuación). Áreas Naturales Protegidas con presencia de humedales costeros en México.

	Área Natural Protegida con presencia de humedales costeros (en orden de la superficie cubierta)	Manglar	Tular	Popal	Vegetación halófila hidrófila	Vegetación de Petén	Con vegetación de humedales costeros
	PN Arrecifes de Cozumel, Q. Roo	10					10
	Sant. Playa adyacente a la localidad denominada Ría Lagartos, Yuc.	8					8
	PN Costa Occidente de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, Q. Roo	8					8
	RB Tiburón Ballena, Q. Roo	6					6
	Sant. Playa Teopa, Jal.				3		3
	Sant. Playa de Mismaloya, Jal.				3		3
	Sant. Playa de Puerto Arista, Chis.	3					3
	Total Federales	466 143	466 363	58 746	193 602	36 104	1,220,957
Estatal	ZSCE Santuario del Manatí, Bahía de Chetumal, Q. Roo	25 815	29 301				55 116
	ZSCE Reserva de Dzilam, Yuc	24 146	3 008			659	27 813
	ZSCE Reserva El Palmar, Yuc	17 050	3 933			5,966	26 949
	RE Ciénagas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán	21 093	1 648		229	395	23 365
	ZSCE El Gancho Murillo, Chis.	3 065		223			3 288
	ZSCE Ciénega del Fuerte, Ver.	1 676	776				2 452
	ZSCE El Cabildo Amatal, Chis.	1 332	466				1 798
	ZSCE Refugio Estatal de Flora y Fauna Sistema Lagunar Chacmochuch, Q. Roo	1 356					1 356
	ZSCE Navachiste, Sin.	753					753
	RE Río Playa, Tab.	14	695				709
	ZSCE Refugio Estatal de Flora y Fauna Laguna Colombia, Q. Roo	443					443
	Reserva Patrimonial Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa de Michoacán		239				239
	RE Arroyo Moreno, Ver.	230					230
	ZSCE Laguna del Manatí, Q. Roo	175					175
	ZSCE Estero El Soldado, Son.	100					100
	ZREyZRAMMyFFS Playa Verde Camacho, Sin	19			4		23
	Total Estatales	97 267	40 066	223	233	7 021	144 809

Elaborado a partir de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (INEGI 2009b) y ANP (Bezaury et al. 2007 y 2009).

Tabla 7 (continuación). Áreas Naturales Protegidas con presencia de humedales costeros en México.

Área Natural Protegida con presencia de humedales costeros (en orden de la superficie cubierta)	Manglar	Tular	Popal	Vegetación halófila hidrófila	Vegetación de Petén	Con vegetación de humedales costeros
Z. Especial SCE La Vega Escondida	554	1 457				2 011
Total Municipales						
Total en ANP	563 964	507 886	58 969	193 834	43 124	1 367 778
Total en México	945 840	912 644	130 542	380 100	45 395	2 414 522
% del Total en ANP	60	56	45	51	95	57

Elaborado a partir de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (INEGI 2009b) y ANP (Bezaury et al. 2007 y 2009).

Los desmontes y la substitución por zonas transformadas han provocado una disminución de la cobertura natural de los manglares que se conoce con poca precisión, sin embargo el efecto indirecto de perturbación de manglares es quizás el más generalizado y se da de manera frecuente cuando se construyen caminos o carreteras, cuando se urbanizan zonas costeras o se construyen desarrollos turísticos, y cuando se llevan a cabo obras de infraestructura para la explotación y transporte de petróleo o líneas de distribución de energía eléctrica (López Portillo y Ezcurra, 2002).

La importancia de los manglares en cuanto a los bienes y servicios que aportan a la economía es indiscutible. Distintas especies marinas que son aprovechadas comercialmente para el consumo humano, utilizan al manglar como zona de crianza y crecimiento. Asimismo los manglares son sistemas ecológicos altamente productivos que exportan una gran cantidad de nutrientes a las aguas marinas de la franja litoral, en donde son aprovechados por pastos marinos y una gran variedad de especies de importancia económica, incluyendo a las diversas especies de camarón que son la base de una de las principales pesquerías en México. Los manglares juegan un importante papel como barrera natural de protección que aminora los impactos derivados tanto de fenómenos meteorológicos extremos sobre la zona costera, como de aquellos causados por el vaivén continuo de las olas y las mareas, contribuyendo al mantenimiento de la línea de costa. Asimismo su presencia permiten amortiguar algunos impactos negativos sobre los ecosistemas marinos y muy especialmente sobre los arrecifes coralinos, derivados del acarreo de sedimentos, nutrientes y contaminantes transportados por las corrientes de agua hacia las costas. Como recurso forestal las especies de mangle, son aprovechadas para producir leña, carbón, madera para viviendas rurales, postes para cercar y otros usos. Los manglares son utilizados por una gran variedad de aves acuáticas como zonas de reposo o reproducción, situación que brinda oportunidades para el desarrollo de actividades turísticas a las comunidades ribereñas. Finalmente son ecosistemas que mitigan el cambio climático, ya que no obstante el hecho que producen metano, también actúan como sumideros de carbono a largo plazo.

Las regiones en donde se distribuyen los manglares en México, han sido divididas en cinco franjas costeras (Conabio, 2008a): el Pacífico Norte con el 26% de la superficie de manglar

existente en el país (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit), el Pacífico centro con solo el 1% a nivel nacional (Jalisco, Colima y Michoacán), el Pacífico sur abarcando un 10% de su existencia territorial (Guerrero, Oaxaca y Chiapas), el Golfo de México con el 11% (Tamaulipas, Veracruz y Tabasco) y, la península de Yucatán con la mayor cobertura de este ecosistema que corresponde a el 52% de su cobertura en el país (Campeche, Yucatán y Quintana Roo). El tipo de manglar dominante, así como la estructura y función del ecosistema, difiere en cada una de esas regiones. Esto responde al tipo de cuenca hidrológica al que está asociado el manglar, a la extensión de la planicie costera, la temperatura, la precipitación, la topografía y al tipo de suelo, entre otros factores (Conabio, 2008a). En México, se presentan 5 especies de mangle: mangle rojo (*Rhizophora mangle* y *R. harrisonii* esta última exclusiva de la costa de Chiapas), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*).

Manglares del Pacífico Norte

La península de Baja California presenta pequeñas cuencas de drenaje con escasa escorrentía y condiciones de mayor aridez hacia la vertiente del Golfo de California, la cual carece de una planicie de inundación por lo que ofrece escasas posibilidades para la migración de los manglares hacia tierra adentro debido a lo abrupto de la topografía. La vertiente del Océano Pacífico presenta en general una topografía un poco menos abrupta y una mayor extensión de manglares, entre ellos, el extenso complejo lagunar Bahía Magdalena-Amejas.

Por otro lado, la costa este o continental del Golfo de California, presenta numerosas lagunas costeras; las lagunas más grandes tienen su boca de comunicación con el mar permanentemente abierta y muchas de ellas reciben escorrentías más continuas. Esta zona incluye a Marismas Nacionales con uno de las principales conjuntos de manglares de esta región. La migración hacia tierra adentro de muchos de estos humedales se verá limitada por la presencia de distritos de riego y granjas camaronícolas.

El aumento de la temperatura media del agua y del aire favorecerá la expansión del rango de distribución de las especies de mangle en esta región, hacia humedales costeros ubicados más al norte de su actual límite de distribución en donde se han detectado la presencia de propágalos (Pacheco-Ruiz *et al.*, 2006).

Manglares del Pacífico Centro

Las costas de los estados de Jalisco y Colima, presentan una estrecha plataforma continental, bajo condiciones semiáridas y pocas zonas intermareales, lo que reduce el número de hábitats disponibles para los manglares.

Los efectos del aumento del nivel del mar derivado del cambio climático sobre los manglares en esta región, que carece en general de una planicie de inundación amplia y las actividades humanas en esta planicie, ofrecerán escasas posibilidades para la migración de los manglares hacia tierra adentro.

Manglares del Pacífico Sur

Abarca los estados de Oaxaca y Chiapas. Al contrario que la unidad anterior, ésta posee una extensa plataforma continental y por tanto sistemas lagunares extensos. Es aquí donde las comunidades de manglar tienen su máxima altura y diversidad, siendo la única zona en donde se presenta *Rhizophora harrisonii* en el estado de Chiapas.

Los efectos del aumento del nivel del mar derivado del cambio climático sobre los manglares en esta región, ofrecerá también escasas posibilidades para la migración de los manglares hacia tierra adentro, debido a la intensidad de las actividades agrícolas y pecuarias.

Manglares del Golfo de México

A diferencia de lo que sucede en la costa del Océano Pacífico, en la cual debido a su origen y comportamiento geológico de colisión de placas, en el Golfo de México dominan las líneas de costa en levantamiento, prevaleciendo las costas bajas con extensos humedales adyacentes, pasivas o de descenso, con una menor pendiente y en su mayor parte el relieve costero está constituido por una amplia franja de llanura costera que llega a medir de 30 a 150 km de ancho (Semarnap, 1997). Resulta evidente que el aumento de la temperatura media provocará una expansión hacia el norte del rango de distribución de las especies de mangle y situación que sucederá al interior del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna Madre y Delta del Río Bravo.

Manglares de la península de Yucatán

Debido a que la mayor parte de las costas de la península de Yucatán son bajas y presentan extensos humedales adyacentes, esta región también será directa e intensamente impactada por el aumento del nivel del mar. La plasticidad de la vegetación de la península de Yucatán para transitar paulatinamente entre selvas tropicales y manglares, derivada del incremento del nivel de las aguas marinas y el consecuente incremento en la salinidad de suelos y aguas, ha sido documentada cuando menos para la zona del río Hondo en el sur del estado de Quintana Roo, por Torrescano e Islebe (2006) durante un periodo que comprende a los últimos 5,000 años, mediante el análisis de polen fósil. Sin embargo la velocidad a la que se prevé que el incremento del nivel del mar ocurrirá a lo largo del siglo xxi, seguramente planteará nuevas condiciones tanto para el recambio de las especies involucradas, como en términos de la concepción actual que tenemos sobre los derechos de la propiedad territorial el cuanto a su definición futura desde un punto de vista legal.

Estos impactos sobre los ecosistemas de manglar también afectarán otros ambientes costeros. Mumby *et al.* (2004) demostraron que los manglares en el Caribe tienen una importante influencia sobre la estructura de las comunidades de peces en los arrecifes coralinos cercanos y que la biomasa de varias especies de peces de importancia comercial es más que duplicada cuando el hábitat de su etapa adulta se encuentra conectado a ecosistemas de manglar.

Tabla 8. Superficie cubierta por manglares en las Áreas Naturales Protegidas de México.

Área Natural Protegida con presencia de manglar	Superficie manglar en ANP (ha)	% manglar en ANP	% manglar nacional
Federales	407 983	83.25	52.98
Estatales	81 586	16.65	10.59
Municipales	497	0.10	0.06
Total	490 066	100.00	63.64
Total Superficie de Manglar en México (Conabio, 2009)	770 057		100.00

En la actualidad casi el 65% de los ecosistemas de manglar se encuentran ubicados dentro de áreas naturales protegidas gubernamentales. Si incluimos a la superficie inscrita como humedal designado a la Lista de Humedales de Importancia Internacional de Ramsar, la cobertura de los manglares que se encuentran bajo algún régimen de protección alcanzan más de 590 000 ha, lo que representa el 77% del total en México.

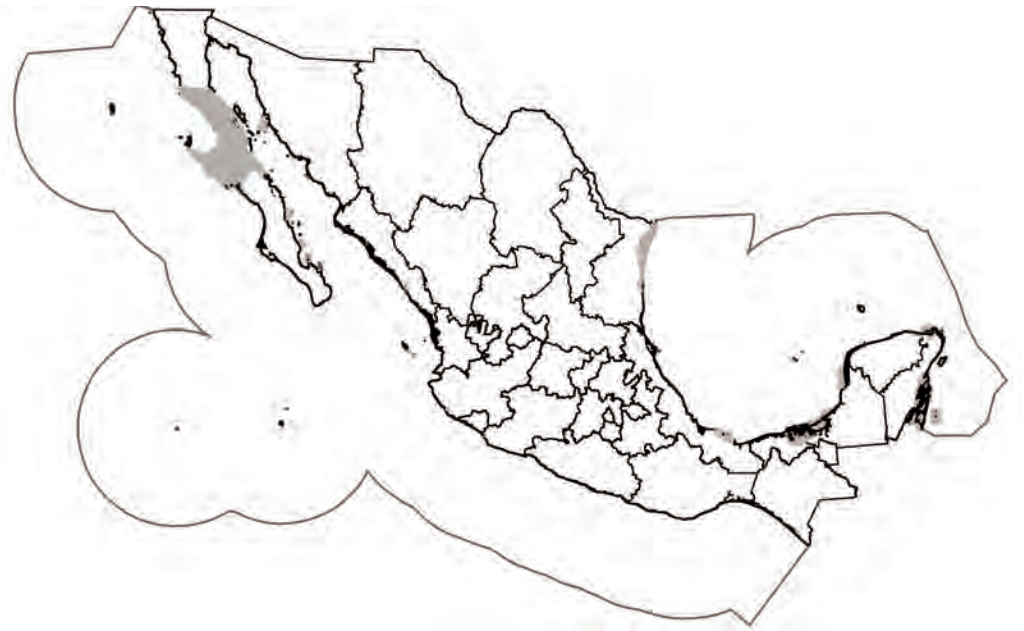


Figura 4. Áreas Naturales Protegidas con presencia de manglares en México.
Polígonos negros = superficie cubierta por manglares, a partir de Conabio (2008).
Polígonos gises = ANP (Bezaury *et al.*, 2007 y 2009).

Tabla 9. Áreas Naturales Protegidas con presencia de ecosistemas de manglar en México.

	Área Natural Protegida con presencia de manglar (en orden de la superficie cubierta)	Superficie manglar (ha)	% manglar en ANP	% manglar nacional
Federales	APFF Laguna de Términos, Camp	105 363	21.50	13.68
	APFF Marismas Nacionales Nay.	59 548	12.15	7.73
	RB Sian Ka'an, Q. Roo	58 470	11.93	7.59
	RB Los Petenes, Camp.	54 631	11.15	7.09
	RB Ría Celestún, Yuc.	39 960	8.15	5.19
	RB La Encrucijada, Chis.	27 769	5.67	3.61
	APFF Uaymil, Q. Roo	12 554	2.56	1.63
	RB Pantanos de Centla, Tab.	12,547	2.56	1.63
	APFF Islas del Golfo de California, Son., Sin., Nay.	9,390	1.92	1.22
	RB Ría Lagartos, Yuc.	8 273	1.69	1.07
	APFF Yum Balam, Q. Roo	8 050	1.64	1.05
	RB El Vizcaíno. B.C.S.	3 509	0.72	0.46
	APFF Manglares de Nipchupte, Q. Roo	2 512	0.51	0.33
	PN Lagunas de Chacahua, Oax.	1 666	0.34	0.22
	PN Arrecifes de Xcalak, Q. Roo	1 595	0.33	0.21
	RB Los Tuxtlas, Ver.	762	0.16	0.10
	RB Banco Chinchorro, Q. Roo	428	0.09	0.06
	APFF Laguna Madre, Delta del Río Bravo, Tamps	331	0.07	0.04
	PN Tulum, Q. Roo	176	0.04	0.02
	APFF Meseta de Cacaxtla, Sin	170	0.03	0.02
	RB Chamela-Cuixmala, Jal.	141	0.03	0.02
	PN Isla Contoy, Q. Roo	70	0.01	0.01
	APFF Valle de Los Cirios, B.C.	28	0.01	0.004
	RB Arrecifes de Sian Ka'an, Q. Roo	24	0.00	0.003
	Sant. Playa adyacente a la localidad denominada Ría Lagartos, Yuc.	8	0.002	0.001
	PN Costa Occidente de Isla Mujeres, Punta Cancún, Punta Nizuc, Q. Roo	5	0.001	0.0006
	Sant. (Islas de la Bahía de Chamela), Jal.	2	0.001	0.0003
	RB Tiburón Ballena, Q. Roo	1	0.0002	0.0001

Ecosistemas insulares

En términos generales se puede afirmar que las especies insulares inherentemente tienden a ser altamente vulnerables a los cambios ambientales. Esta situación responde a que las poblaciones de animales y plantas netamente insulares tienden a ser pequeñas, presentan una distribución restringida, generalmente son altamente especializadas y muchas veces carecen de estrategias que les permiten evadir a posibles depredadores o competir eficientemente con nuevas especies provenientes de ecosistemas más competitivos.

Tabla 9 (continuación). Áreas Naturales Protegidas con presencia de ecosistemas de manglar en México.

	Área Natural Protegida con presencia de manglar (en orden de la superficie cubierta)	Superficie manglar (ha)	% manglar en ANP	% manglar nacional
Estatales	ZSCE Reserva El Palmar, Yuc.	22 926	4.68	2.98
	ZSCE Reserva de Dzilam, Yuc.	20 322	4.15	2.64
	ZSCE Santuario del Manatí, Bahía de Chetumal, Q. Roo	17 166	3.50	2.23
	RE Ciénagas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán	15 811	3.23	2.05
	ZSCE Sistema Lagunar Chacmochuch, Q. Roo	1 224	0.25	0.16
	ZSCE El Gancho Murillo, Chis.	1 198	0.24	0.16
	ZSCE Ciénega del Fuerte, Ver.	765	0.16	0.10
	ZSCE El Cabildo Amatal, Chis.	651	0.13	0.08
	RP Lagunas Costeras y Serranías aledañas de la Costa de Michoacán	393	0.08	0.05
	ZSCE Navachiste, Sin.	351	0.07	0.05
	ZSCE Ref. Est. de F. y F. Laguna Colombia, Q. Roo	291	0.06	0.04
	ZSCE Arroyo Moreno, Ver.	215	0.04	0.03
	ZSCE Laguna de Manatí, Q. Roo	156	0.03	0.02
	ZSCE Estero El Salado, Son.	90	0.02	0.01
	ZSCE Estero El Soldado, Son.	25	0.01	0.003
	ZSCE Santuario Tortuga Marina Xcacel - Xcacelito, Q. Roo	2	0.0004	0.0003
	PN Laguna de Chancanaab, Q. Roo	1	0.0001	0.0001
Municipal	ZSCE La Vega Escondida, Tamps.	494	0.1	0.06
	ZCEIC Balandra, BCS	3	0.001	0.0004
	TOTAL	490 066	100.00	63.64

Elaborado y modificado a partir de Conabio (2008 b, c y d).

Comparadas con ecosistemas continentales las islas oceánicas presentan en general niveles moderados de riqueza de especies y un mayor grado de endemismos, el cual se estima que es 9.5 y 8.1 veces más alto en las islas en cuanto a plantas y vertebrados respectivamente (Kier *et al.,* 2009). A nivel global estos mismos autores sugieren la expansión de las áreas naturales protegidas insulares como una estrategia para mitigar las amenazas a su biodiversidad, la cual debe ser complementada por medidas adicionales que permitan afrontar otras presiones que no pueden ser adecuadamente abordadas a través este instrumento, incluyendo aquellas derivados de las especies invasoras y otras más de carácter exógeno al territorio insular.

Actualmente la mayor amenaza a la biodiversidad insular en México es producto de la introducción de especies exóticas invasoras. Los cambios que se generarán a partir del cambio climático global no solamente podrán favorecer el éxito de las especies invasoras sobre las nativas endémicas, sino que en muchos casos el aumento del nivel del mar representara una amenaza directa a la existencia de muchas islas, islotes, cayos y rocas en México, principalmente aquellas

ubicadas en el Golfo de México y el Mar Caribe. Por otro lado al estar rodeadas por grandes masas de agua, algunos impactos climáticos severos sobre las islas oceánicas podrían ser amortiguados (Kier *et al.,* 2009).

Los efectos derivados del cambio climático no solamente favorecerá la extinción de algunas especies insulares endémicas, sino que también afectará los patrones de distribución de otras especies de especial importancia para la conservación. Como ejemplo, el incremento acelerado del nivel del mar tendría consecuencias desastrosas sobre las pequeñas colonias de golondrinas marinas oscuras (*Sterna fuscata*), que anidan en unas pocas rocas e islotes del Caribe mexicano. Una de ellas, un pequeñísimo islote en Punta Cancún (Howel *et al.*, 1990), localizado a la sombra del Hotel Camino Real dentro Parque Nacional Costa Occidental de Isla de Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, ha soportado en décadas las presiones derivadas del desarrollo turístico y hasta la fecha (McKinnon com. pers.) sigue siendo utilizada por esta especie para reproducirse. Los únicos otros sitios de anidación confirmados para esta especie en el Caribe mexicano se encuentran también ubicados en áreas naturales protegidas: en las rocas ubicadas enfrente del muelle de la estación Isla Contoy en el parque nacional del mismo nombre y en las rocas cercanas al faro de Punta Celarain en el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel al sur de esta isla, en donde unos pocos ejemplares han anidado (McKinnon, comentario personal). Es evidente que las golondrinas marinas oscuras, no se extinguirán como resultado de la inundación de estos islotes como resultado del aumento del nivel del mar, ya que constituyen sitios de anidación marginales dentro de su rango de distribución. Sin embargo esta especie tendrá que buscar nuevos islotes o rocas para anidar en una costa cada día con mayor presencia de presiones antrópicas o simplemente dejar de reproducirse en el Caribe mexicano. Otro ejemplo en este sentido, es el hecho de que la población genéticamente más pura de *Crocodylus acutus* del Caribe mexicano se localiza dentro de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, en donde al no ser simpátrica con la otra especie de cocodrilo presente en esta costa, el *C. moreletii* no se presenta introgresión genética en estos individuos (Machkour-M'Rabet *et al.*, 2009). Esta población podrá dejar de reproducirse en un futuro cercano como resultado de la falta de playas arenosas en los cayos del banco Chinchorro como resultado del aumento del nivel de las aguas marinas. Nuevamente la especie no se extinguirá, sino que simplemente esta población local con un gran valor a nivel genético, muy probablemente dejará de ser viable.

Las islas ubicadas dentro del continente o islas interiores no presentan las características de aislamiento que favorece la presencia de especies endémicas en las islas oceánicas y en menor medida aquellas ubicadas cerca del continente o islas continentales. Sin embargo las islas interiores al ubicarse dentro de cuerpos de agua costeros generalmente son sitios importantes de anidación para una gran cantidad de aves acuáticas ya que el estar rodeadas por agua limita la presencia de muchos depredadores.

Tabla 10. Áreas Naturales Protegidas con presencia de ecosistemas insulares continentales, oceánicos e interiores en México.

Áreas Naturales Protegidas (en el orden de magnitud de la superficie cubierta)		Sup. Insular marina en ANP (ha)	Sup. Insular interior en ANP (ha)	Sup. Insular total en ANP (ha)	% Sup. Insular del total en ANP	% Sup. Insular en ANP del total nacional (720 015 ha)	Número de elementos insulares marinos en ANP	Número de elementos insulares interiores en ANP	Número total de elementos insulares en ANP	% de elementos insulares en ANP del total nacional (2,774)
Federales con decreto vigente	APFF Islas del Golfo de California, BC, BCS, Son, Sin, Nay.	293 171	35 233	328 404	63.14	45.61	399	1,234	1 633	58.87
	RB Isla Guadalupe	24 448		24 448	4.70	3.40	8		8	0.29
	RB Islas Marías	24 268		24 268	4.67	3.37	33		33	1.19
	PN Bahía de Loreto	21 301		21 301	4.10	2.96	26		26	0.94
	RB Archipiélago de Revillagigedo	15 707		15 707	3.02	2.18	10		10	0.36
	RB Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, B.C., Son.	15 070	153	15 070	2.90	2.09	152	77	229	8.26
	RB El Vizcaíno, B.C.S.	6 637	2 879	9 516	1.83	1.32	19	55	74	2.67
	APFF Yum Balam, Q. Roo	5 312	70	5 381	1.03	0.75	1	2	3	0.11
	RB Sian Ka'an, Q. Roo	1 413	200	1 613	0.31	0.22	28	11	39	1.41
	RB Banco Chinchorro	657		657	0.13	0.09	4		4	0.14
	PN Isla Contoy	225		225	8.44	0.03	2		2	0.07
	APFF Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Ver.	198		198	0.04	0.03	1		1	0.04
	PN Arrecife Alacranes	104		104	0.02	0.01	5		5	0.18
	APFF Islas Marietas	76		76	0.01	0.01	5		5	0.18
	Santuario Islas de la Bahía de Chamela, Jal.	89		89	0.02	0.01	31		31	1.12
	PN Isla Isabel	66		66	0.01	0.01	2		2	0.07
	RB Los Petenes, Camp.	55		55	0.01	0.01	2		2	0.07
	RB Ría Celestum, Yuc.	41		41	0.01	0.01	1		1	0.04

Elaborado a partir de Conabio (2007).

Nota: Elementos insulares incluyen: isla, islote, cayo, morro, roca y barra. Excluyen: arrecife, banco y bajo. Superficie insular marina incluye: islas continentales y oceánicas.

Tabla 10 (continuación). Áreas Naturales Protegidas con presencia de ecosistemas insulares continentales, oceánicos e interiores en México.

Áreas Naturales Protegidas (en el orden de magnitud de la superficie cubierta)		Sup. Insular marina en ANP (ha)	Sup. Insular interior en ANP (ha)	Sup. Insular total en ANP (ha)	% Sup. Insular del total en ANP	% Sup. Insular en ANP del total nacional (720 015 ha)	Número de elementos insulares marinos en ANP	Número de elementos insulares interiores en ANP	Número total de elementos insulares en ANP	% de elementos insulares en ANP del total nacional (2,774)
Federales con decreto vigente	PN Sistema Arrecifal Veracruzano	38		38	0.01	0.01	1		1	0.04
	PN Huatulco, Oax.	17		17	0.00	0.002	2		2	0.07
	APFF Laguna Madre, Delta del Río Bravo, Tamps.		23 964	23,964	4.61	3.33		260	260	9.37
	APFF Marismas Nacionales, Nay.		19 972	19,972	3.84	2.77		72	72	2.60
	APFF Laguna de Términos, Camp.		15 676	15,676	3.01	2.18		15	15	0.54
	RB Pantanos de Centla, Tab.		8 887	8,887	1.71	1.23		2	2	0.07
	RB La Encrucijada, Chis.		1 112	1,112	0.21	0.15		10	10	0.36
	RB Ría Lagartos, Yuc.		564	564	0.11	0.08		10	10	0.36
	APFF Manglares de Nipchupte, Q. Roo		53	53	0.01	0.01		6	6	0.22
	RB Arrecifes de Sian Ka'an, Q. Roo		30	30	0.01	0.004		2	2	0.07
	Subtotal Federal	408 893	108 792	517 532	99.49	71.88	732	1 756	2 488	89.69
Estatales con decreto vigente	ZSCE Refugio Estatal de Flora y Fauna Laguna Colombia	1,114		1,114	0.21	0.15	Parcial		0	0.00
	ZSCE Santuario del Manatí, Bahia de Chetumal , Q. Roo		1,500	1,500	0.29	0.21		17	17	0.61
	P. Nat. Laguna de Chankanaab, Q. Roo	14		14	0.003	0.002	Parcial		0	0.00
	ZSCE Reserva de Dzilam, Yuc.	2		2	0.0004	0.000	1		1	0.04
	Subtotal Estatal	1,129	1,500	2,629	0.51	0.37	1	17	18	0.65
Total con decreto vigente		410 022	110 292	520 161	100.00	72.24	733	1 773	2 506	90.34

Elaborado a partir de Conabio (2007).

Nota: Elementos insulares incluyen: isla, islote, cayo, morro, roca y barra. Excluyen: arrecife, banco y bajo. Superficie insular marina incluye: islas continentales y oceánicas.

Tabla 10 (continuación). Áreas Naturales Protegidas con presencia de ecosistemas insulares continentales, oceánicos e interiores en México.

Áreas Naturales Protegidas (en el orden de magnitud de la superficie cubierta)		Sup. Insular marina en ANP (ha)	Sup. Insular interior en ANP (ha)	Sup. Insular total en ANP (ha)	% Sup. Insular del total en ANP	% Sup. Insular en ANP del total nacional (720 015 ha)	Número de elementos insulares marinos en ANP	Número de elementos insulares interiores en ANP	Número total de elementos insulares en ANP	% de elementos insulares en ANP del total nacional (2,774)
Federales	RB Islas del Pacífico	35 656	53 051	88 707	-	12.32	16	4	20	0.72
En proceso	APFF Isla Cozumel, Q. Roo	3 938		3 938	-	0.55	Parcial		0	0.00
	Total Federal	39 594	53 051	92 645	-	12.87	16	4	20	0.72
Estatal en proceso	ZSCE Isla Cozumel, Q. Roo Tital Estatal	23 382		23 382	-	3.25	Parcial		0	0.00
Total sitios en proceso de decreto		62 976	53 051	116 027	-	16.11	16	4	20	0.72
Gran total		472 998	163 343	636 188	-	88.36	749	1 777	2 526	91.06

Elaborado a partir de Conabio (2007).
Nota: Elementos insulares incluyen: isla, islote, cayo, morro, roca y barra. Excluyen: arrecife, banco y bajo. Superficie insular marina incluye: islas continentales y oceánicas.

Figura 5. Áreas Naturales Protegidas con presencia de ecosistemas insulares continentales, oceánicos e interiores en México.
Puntos = Islas incluidas en INEGI (2009a) (Bezaury y Castro, 2009c).
Polígonos grises = ANP (Bezaury *et al.*, 2007 y 2009)

Pastos marinos

Las zonas cubiertas por pastos marinos o "seibadales", se encuentran íntimamente ligadas a otros hábitats costeros como los arrecifes coralinos, los manglares, marismas salobres y arrecifes de bivalvos o de serpulidos. Los pastos marinos proporcionan al hombre una serie de importantes servicios ecosistémicos, entre los que destacan: el valor económico de varias especies de camarones y peces de importancia comercial que dependen de estos ecosistemas para su protección y alimentación; la capacidad de sus raíces y rizomas para estabilizar los sedimentos evitando así la erosión costera; y del hecho de que sus hojas filtran sedimentos y nutrientes suspendidos en la columna de agua manteniendo así su claridad (Björk *et al.*, 2008).

En la zona del Pacífico mexicano se encuentran cuatro especies de pastos, entre ellas *Zostera marina, Halodule wrightii* y *Ruppia maritima*. En las costas del Golfo de México están distribuidas siete especies, siendo probablemente la más abundante el zacate o hierba de tortuga (*Thalassia testidinum*), la hierba de manatí (*Syringodium filiforme*) y *Halodule wrightii*.

De acuerdo a Björk *et al.* (2008) las dos principales amenazas provocadas por actividades humanas para la persistencia de las zonas cubiertas por pastos marinos son: la carga excesiva de nutrientes que provoca condiciones de eutroficación y la carga excesivas de sedimentos que aumentan la turbiedad del agua limitando su crecimiento y/o establecimiento, además de otras presiones que afectan a su integridad entre las que se encuentran aquellas derivadas de la acua-

cultura, la contaminación, la navegación deportiva, los dragados, los rellenos y las prácticas destructivas de pesca. Estos mismos autores indican que entre las nuevas amenazas derivadas de los efectos del cambio climático se puede incluir: el aumento del nivel del mar, cambios en los regímenes de las mareas, daños por radiación ultravioleta, hipoxia o anoxia causada por sedimentos, el incremento de temperatura y las inundaciones. Debido a que estos ecosistemas aun no han sido mapeados, es difícil definir con precisión el papel que juegan actualmente las áreas naturales protegidas en su conservación.

En las áreas naturales protegidas del Golfo de California solo podemos encontrar pastos marinos en la RB Bahía de los Ángeles, canales de Ballenas y Salsipuedes en una laguna ubicada en la costa sureste de la isla Ángel de la Guarda, en el PN Bahía de Loreto y en la bahía de San Gabriel dentro del PN Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo, no obstante que en las zonas marina aledaña de las islas Tiburón, Dátil, Alcatraz y San Esteban, que forman parte del APFF Islas del Golfo de California también se desarrollan comunidades de pastos marinos que aún no han sido incorporados al régimen de área protegida (Ramírez y Lot, 1994). En esta región el cambio climático podrá provocar tanto cambios el la fenología de los pastos marinos, como el remplazo de especies debido a que de acuerdo a los mismos autores, la época de mayor desarrollo, floración y fructificación es diferente entre las especies; *Z. marina* florece y fructifica durante el invierno, cuando la temperatura del agua es inferior a los 15°C, mientras que *H. wrightii,* se desarrolla mejor durante el verano, cuando la temperatura superficial del agua es superior a los 20°C.

En el Golfo de México y el Mar Caribe la extensión de los seibadales es mucho más amplia, ya que todas las áreas naturales protegidas que presentan arrecifes y comunidades coralinas y la mayor parte de aquellas con humedales costeros incluyen también comunidades de pastos marinos.

Al igual que para los demás ecosistemas la inclusión de pastizales marinos dentro de esquemas de redes de áreas naturales protegidas puede ser una herramienta importante para reducir las presiones locales y regionales que amenazan a estos ecosistemas y así aumentar su resistencia y resiliencia ante el cambio climático global.

Pesquerías

Se prevé que los cambios en las condiciones oceánicas, entre los que destacan aquellos relacionados con la temperatura del agua y en las corrientes marinas, derivadas del cambio climático, podrán provocar modificaciones importantes en la distribución a gran escala del potencial de captura de las principales pesquerías a nivel global. Un análisis realizado por Cheung *et al.* (2009), plantea para que no obstante la variación del volumen total disponible entre 2005 y 2055 no será significativa, su distribución si será modificada previéndose un aumento que varía entre el 30–70% en las altas latitudes y una disminución de hasta un 40% el las regiones tropicales, en donde además se presentan condiciones socioeconómicas altamente vulnerables a estos cambios. Este mismo estudio prevé que el potencial de captura para un conjunto de 60

especies de importancia en las pesquerías mexicanas, se verá disminuido en alrededor del 4% para el país en conjunto, presentando afectaciones mucho más altas en la boca del Golfo de California y la porción sureste del Golfo de México.

El establecimiento de zonas de refugio, en las cuales no se permita la actividad pesquera tanto dentro de las áreas naturales protegidas, como afuera de estas, podrá mitigar en cierta medida dicha disminución, al favorecer condiciones óptimas para la reproducción y reclutamiento de las especies comerciales, al reducir la mortandad del stock reproductivo y la protección de los sitios con condiciones propicias para su reproducción, en las agregaciones reproductiva y en las zonas de reclutamiento y crianza.

Zona costera, derechos de propiedad y cambio climático

La validez de los conceptos tradicionales sobre la propiedad pública de la franja costera codificada a partir del siglo VI de nuestra era en el "Digesto Justiniano", el cual constituye la base de nuestra legislación actual sobre el régimen de propiedad sobre la franja costera, serán dramáticamente puestos a prueba como resultado del cambio climático global y la elevación del nivel de las aguas marinas.

La patética lucha para tratar de recuperar las playas de Cancún, cuya pérdida aun no es directamente atribuible a los efectos cambio climático, sino a la tremendamente errónea decisión de ubicar las construcciones de este destino turístico sobre las dunas costeras que antaño permitían el ir y venir del mar sobre la costa y la formación de depósitos de arena que ayudaban a que las playas de la isla se restablecieran en forma natural, es solamente un presagio de los enormes problemas económicos, jurídicos y ambientales que enfrentaremos en un futuro como resultado del avance de las aguas del mar hacia tierra firme. Si nos apegamos estrictamente a la letra de la Ley, sencillamente la propiedad de porciones de los hoteles de Cancún o de sus instalaciones han pasado efectivamente a ser ahora propiedad de la Nación. Sin embargo es a la colectividad nacional a quien a partir de la administración del Presidente Fox se le ha cargado la responsabilidad de pagar el costo de la restauración de las playas, bajo el incontrovertible argumento del beneficio social que efectivamente representa el recuperar la base de la economía local como destino turístico internacional de "sol y playa" y que por ende estas dejen de ser propiedad de la nación[3].

En estos términos, no resulta demasiado aventurado afirmar que las medidas más eficaces para la adaptación costera a los efectos del cambio climático que podríamos tomar en estos momentos en México, tanto para lograr la protección de los ecosistemas costeros y de los bienes y servicios que estos aun brindan a la sociedad, como para evitar futuros costos económicos y sociales derivados de la necesidad de reubicar infraestructura de alto costo y lamentar perdidas de vidas humanas y sus bienes, se derivarán de: 1) imponer restricciones efectivas para evitar la construcción a lo largo de una franja costera a lo largo de una anchura variable en función de las condiciones topográficas locales, y 2) la adopción de una definición legal clara y precisa,

que en términos jurídicos especifique un límite legal claramente perceptible entre las aguas de propiedad nacional, línea a partir del cual se delimita la Zona Federal Marítimo Terrestre en los humedales cubiertos con vegetación, con respecto a aquellas superficies que puede ser consideradas efectivamente como "tierra firme" y por lo tanto ser sujetas a considerarse efectivamente sujetas a constituir propiedad privada o social y que sin embargo a partir del incremento del nivel del mar derivado del cambio climático muy probablemente se convertirán en "terrenos ganados al mar" y por ende en bienes propiedad de la nación.

En cuanto a la instrumentación de la primera medida las opciones disponibles incluyen: desde aquellas que representan una mayor fortaleza jurídica, como lo sería una ampliación substancial de la anchura de la franja costera considerada legalmente como Zona Federal Marítimo Terrestre, frente aquellos predios que aún no han sido desarrollados o cuando estos pretendan en el futuro obtener nuevos permisos de construcción, hasta opciones mas endebles basadas en planes de ordenamiento territorial de los centros de población o de programas de ordenamiento ecológico del territorio.

En cuanto a la segunda medida, el utilizar como indicadores ecológicos de la presencia de cuerpos de agua, tanto a cuando menos tres de las especies de mangle: el rojo, el negro y el blanco, como a otras especies hidrófilas que necesariamente crecen bajo un régimen de inundación temporal o permanente, facilitaría la precisión de este límite.

Aunque aparentemente todo está perfectamente definido en la legislación mexicana, precisamente en el caso de los manglares y de otros tipos de vegetación hidrófila costera y ribereña, es donde actualmente se presentan la mayor cantidad de conflictos en cuanto a su régimen de propiedad, ya que existen bordes de lagunas costeras permanentes o lagunas costeras estacionales con presencia de manglar en donde se han otorgado indebidamente títulos de propiedad privada y social por autoridades de los poderes ejecutivo y judicial del país. Asimismo cuando los manglares se desarrollan en las lagunas costeras, en muchas situaciones se incrementa la su-

[3] Analizando a detalle esta situación, en el Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Congreso de la Unión 1917) se establece en términos genéricos que "Son propiedad de la Nación...las aguas marinas interiores; la de las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar;..", situación que solo es aclarada ligeramente en el contenido de la Ley de Bienes Nacionales, la cual indica en sus Artículos 6 y 7 que "*Están sujetos al régimen de dominio público de la Federación..." "...la zona federal marítimo terrestre;... ... y los vasos de los lagos, lagunas y esteros de propiedad nacional;..." y que "la faja de veinte metros de zona federal marítimo terrestre se contará a partir del punto a donde llegue el mayor embalse anual o límite de la pleamar*" (Congreso de la Unión 2004). Finalmente el Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar (SEDUE, 1991) establece de forma un poco más precisa en sus Artículos 5 y 3 que "*Las playas, la zona federal marítimo terrestre y los terrenos ganados al mar, o a cualquier otro depósito que se forme con aguas marítimas, son bienes de dominio público de la Federación, inalienables e imprescriptibles*." y que "*La zona federal marítimo terrestre se deslindará y delimitará considerando la cota de pleamar máxima observada durante treinta días consecutivos en una época del año en que no se presenten huracanes, ciclones o vientos de gran intensidad y sea técnicamente propicia para realizar los trabajos de delimitación*".

perficie de los terrenos secos sobre la de las lagunas (Chapman, 1967) mediante la realización de rellenos. En esta situación y de acuerdo a la legislación mexicana, estos terrenos constituyen terrenos ganados al mar y no demasías de los predios aledaños, como en muchos casos han sido considerados.

En cuanto a la implantación de ambas medidas, las cuales inevitablemente tendrán que ser aplicadas a mediano plazo como resultado del avance de las aguas del mar hacia tierra firme en mayor o menor medida a lo largo de todas las costas del país, las modalidades sobre la propiedad que por causa de utilidad publica actualmente pueden ser impuestas a la propiedad en el contexto del modelo actual de las áreas naturales protegidas mexicanas, presenta una oportunidad que facilitará la experimentación e implantación de este cambio paradigmático en México, en tanto el tema sea resuelto definitivamente por el Poder Legislativo mexicano.

Sugerencias y recomendaciones

De acuerdo a lo planteado por Keller *et al.* (2008), algunas de las opciones de adaptación de los ecosistemas sensibles al cambio climático en las áreas marinas protegidas (AMP) también congruentes con las áreas naturales protegidas costeras apuntan hacia:

- La implementación de redes de AMP que incluyan réplicas de representaciones de todos los hábitats y comunidades presentes en los ecosistemas marinos, puede ser una herramienta eficaz para lograr la distribución de los riesgos derivados del cambio climático. Considerando que la ciencia relativa a la resiliencia de los ecosistemas está aún en proceso de desarrollo y que el cambio climático no afectará a los hábitats y especies en igual medida, la repartición espacial de los riesgos entre múltiples AMP hace sentido, sobre todo si se protegen múltiples representaciones de todos los hábitats. Asimismo, el utilizar información e incluir aquellos sitios que presentan características de "refugios"[4] ante los impactos del cambio climático o a su función en cuanto a conectividad (patrones de corrientes que favorecen los flujos de larvas) deberá considerarse en el diseño de dichas redes. El uso de AMP de gran tamaño, puede ser apropiado para lograr la protección de múltiples sitios de refugio y de una amplia variabilidad en cuanto a los patrones de conectividad.
- La configuración más efectiva para las AMP podrá resultar de una red de áreas estrictamente protegidas, anidadas dentro de una matriz bajo estrategias de manejo más amplias. Áreas críticas a considerar para su protección estricta son las áreas de reproducción y crianza, las agregaciones reproductivas, las áreas con gran diversidad de especies o los sitios que presentan una gran cantidad de tipos de hábitats contiguos, así como las

[4]La identificación de sitios que son más estables durante periodos de cambio climático global o "refugios", puede ser de gran utilidad para la conservación. Estos sitios pueden presentarse en condiciones de corrientes fuertes, de surgencias u otras características oceanográficas que los hace menos sujetos a los efectos de las variaciones termales (Hansen, 2003).

zonas que constituyan refugios climáticos potenciales. El manejo de las zonas aledañas a estos sitios, deberá de favorecer la conectividad que es esencial para lograr el reabastecimiento de las poblaciones dañadas, tanto como resultado de las actividades humanas, como por fenómenos naturales.

- La resiliencia ante el cambio climático puede incrementarse a través de estrategias de manejo que disminuyan las presiones antropogénicas y de aquellas que favorezcan la protección de los grupos funcionales clave. La mitigación de presiones locales, entre las que destacan: la sobreexplotación pesquera, el daño y destrucción de hábitats y el exceso de nutrientes, sedimentos y contaminantes, puede aumentar la capacidad de los ecosistemas y las comunidades para tolerar las presiones inducidas por el cambio climático, así como para recuperarse después de que los daños han ocurrido. La capacidad de resiliencia es también afectada por las relaciones tróficas, mismas que son características clave para el mantenimiento de la integridad de los ecosistemas. Un mecanismo ya identificado para el mantenimiento de la resiliencia, es el manejo de los grupos funcionales y específicamente al de los herbívoros. No obstante, se requiere incrementar el conocimiento sobre la función de las especies clave y sobre los procesos ecológicos que favorecen la resiliencia.
- Afrontar y superar los retos que plantea el cambio climático, requerirá de una colaboración creativa entre los diferentes y variados grupos de actores involucrados. Las AMP que refuercen la resiliencia social, podrán brindar a las comunidades la oportunidad de reforzar interrelaciones sociales constructivas, brindar estabilidad política y diversificar las opciones económicas. Entre las opciones que favorecen la resiliencia social se incluyen: la integración de sistemas de AMP dentro de una gama más amplia de iniciativas de manejo costero; la diversificación de las actividades económicas; la participación pública; la incorporación de los conocimientos empíricos; y, el acceso abierto a mecanismos de resolución de conflictos apropiados.

Dada la incertidumbre de la naturaleza y la magnitud exacta de los impactos y de las respuestas de los ecosistemas ante el cambio climático, Hansen *et al.* (2003) plantean que:

- Se requiere de una visión flexible que responda a estos cambios, así como de prácticas de manejo efectivo de los ecosistemas naturales que incluyan el uso de intervenciones activas de manejo adaptativo y la experimentación continua de estrategias.
- Las diversas prácticas de conservación experimentadas sean permanentemente evaluadas y por ende ajustadas conforme a la disponibilidad de nueva información.
- Cuando los impactos sean relativamente evidentes, será necesario el uso de intervenciones activas para incrementar la capacidad de adaptación y el monitoreo de dichas intervenciones, entre las que se incluyen: la migración asistida, la reintroducción de especies, el manejo no químico de plagas y enfermedades, quemas prescritas, control de especies invasoras, reducción de flujos artificiales de nutrientes a los ecosistemas marinos y dulceacuícolas.

- Ante le inevitabilidad de la extinción en el medio silvestre, recurrir a la conservación ex situ como un último recurso.
- Independientemente de la estrategia de manejo seleccionada, el monitoreo permanente es esencial para asegurarse de que las acciones efectivamente resultaran benéficas y no perniciosas.

El polémico tema en cuanto el utilizar o no como una herramienta válida para la conservación de la biodiversidad, a la "migración asistida" de ecosistemas y especies (McLachlan *et al.*, 2007, Hunter 2007), plantea la necesidad inmediata de un dialogo serio que permita analizar fríamente si las amenazas "no naturales" derivadas de la emisión de gases de efecto de invernadero que están provocando el cambio climático, justifican el uso extensivo de esta estrategia no evolutiva en términos estrictamente "naturales". En este sentido, en México el tema deberá de ser abordado cuanto antes, tanto para todo el territorio nacional, como más específicamente en cuanto a la idoneidad de su utilización en las áreas naturales protegidas del país. La falta de una política pública científicamente bien fundamentada al respecto y de los lineamientos que de esta se deriven, repercutirá en un futuro cercano en la toma de decisiones apresuradas y casuísticas, que careciendo de bases científicas sólidas, no necesariamente beneficiarán la conservación del patrimonio biológico nacional. Toda una gama de nuevas propuestas emergentes para mitigar y adaptarse al cambio climático y cuyos impactos reales aun desconocemos, también tendrán que ser seriamente discutidas en México, incluyendo entre otros el controvertido tema de la fertilización oceánica para la captura de CO_2.

A manera de colofón se puede afirmar que sin menoscabar el papel que las áreas naturales protegidas costeras y marinas jugarán en la mitigación al cambio climático, su papel en la adaptación a este fenómeno para aminorar sus impactos sobre las actividades socioeconómicas que se efectúan en las costas mexicana, adquirirá una especial relevancia. En este sentido y para lograr continuar accediendo a los beneficios que nos proveen, no nos podremos mantenernos con los brazos cruzados, sino que tendremos que protegerlas aplicando medidas de manejo adaptativo científicamente fundamentadas y operando esquemas permanentes que permitan el monitoreo de la efectividad de estas medidas.

Agradecimientos: Mercedes Bezaury Díaz, Marco Castro Campos, María Isabel Cruz López, Ana Luisa Guzmán, Marco Antonio Jiménez Hernández, Bárbara MacKinnon, Ignacio March Mifsut, Federico Páez Osuna, Héctor Reyes Bonilla, Evelia Rivera Arriaga, Juan Francisco Torres Origel.

Literatura citada

Bezaury-Creel J., R. Macias Ordóñez, G. García Beltrán, G. Castillo Arenas, N. Pardo Caicedo, R. Ibarra Navarro, A. Loreto Viruel. 1998. Implementación de la Iniciativa Internacional de los Arrecifes Coralinos (ICRI) en México, Documento Interno, CCA.

Bezaury-Creel J. 2004. Las Áreas Naturales Protegidas Costeras y Marinas de México. p. 191 – 222. En: E. Rivera-Arriaga, G. J. Villalobos-Zapata, I. Azuz-Adeath y F. Rosado-May (eds.) 2004. El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, Semarnat, CETYS-Universidad de Quintana Roo.

Bezaury-Creel, J. E., J. F. Torres, y L. M. Ochoa Ochoa, 2007. Base de datos geográfica de Áreas Naturales Protegidas Federales de México. Modificado y adaptado de Conanp 2006. 1 Capa ArcGIS 9.2 + 1 Capa Google Earth (KMZ). (Actualizada a 10/10/2010)

Bezaury-Creel, J. E., 2009. El valor de los bienes y servicios que las Áreas Naturales Protegidas proveen a los mexicanos. The Nature Conservancy Programa México - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México D.F. 32p.

Bezaury-Creel, J.E., J. Fco. Torres, L. M. Ochoa-Ochoa, Marco Castro-Campos, y N. Moreno, 2009. Base de datos geográfica de Áreas Naturales Protegidas estatales, del Distrito Federal y municipales de México - Versión 2.0, Julio 31, 2009. The Nature Conservancy / Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad / Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2 Capas ArcGIS 9.2 + 2 Capas Goggle Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos Word. (Actualizada a 10/10/2010)

Bezaury-Creel, J. E., y M. Castro Campos, 2009a. Base de datos geográfica de arrecifes y comunidades coralinas en México en Baja Resolución. Versión 1.0. 1 Capa ArcGIS 9.2 + 1 Capa Google Earth KMZ

Bezaury-Creel, J. E., y M. Castro Campos, 2009b. Base de datos geográfica de humedales costeros Mexicanos. Elaborada con base en: Contreras-Espinoza (1993) y Castañeda y Contreras (1995). Versión 1.0. 1 Capa ArcGIS 9.2 + 1 Capa Google Earth KMZ.

Bezaury-Creel, J. E., y M. Castro Campos, 2009c. Base de Datos Geográfica de Rasgos Costeros, Islas y Arrecifes de México. Elaborado con base en INEGI (2009a). Versión 1.0. 1 Capa ArcGIS 9.2. + 1 Capa Google Earth KMZ. En: J.E. Bezaury-Creel y J. Fco. Torres. 2010. Bases de datos geográficas de las aguas marinas y costeras mexicanas, Versión 1.0. The Nature Conservancy. 42 Capas ArcGIS9.2 + 21 Capas Google Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos en texto.

Bezaury-Creel J. E., J. Fco. Torres, y M. Castro Campos, 2010a. Base de datos geográfica de la Zona Económica Exclusiva Mexicana, Versión 1.0.

Bezaury-Creel J. E., J. Fco. Torres, y M. Castro Campos, 2010b. Base de datos geográfica de las aguas interiores mexicanas en la bahía de Chetumal, Versión 1.0.

Bezaury-Creel J. E., J. Fco. Torres. 2010c. Base de Datos Geográfica de la Línea de Base Provisional para México, Versión 1.0. En: J.E. Bezaury-Creel, J. Fco. Torres. 2010. Bases de Datos Geográficas de las Aguas Marinas y Costeras Mexicanas, Versión 1.0. The Nature Conservancy. 42 Capas ArcGIS 9.2 + 21 Capas Google Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos en texto.

Bezaury-Creel J. E., y J. Fco. Torres, 2010a. Base de datos geográfica del mar territorial mexicano, Versión 1.0.

Bezaury-Creel J. E., y J. Fco. Torres, 2010b. Base de datos geográfica de la plataforma continental y plataformas insulares mexicanas. En: J.E. Bezaury-Creel y J. Fco. Torres. 2010. Bases de datos geográficas de las aguas marinas y costeras mexicanas, Versión 1.0. The Nature Conservancy. 42 Capas ArcGIS 9.2 + 21 Capas Google Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos en texto.

Björk, M., Short F., E. Mcleod, y S. Beer. 2008. Managing Seagrasses for Resilience to climate Change. IUCN, Gland, Switzerland. 56 p.

Burke L., y J. Maidens, 2004. Reefs at Risk in the Caribbean. World Resources Institute. Washington D.C. 80 pp.

Calderon-Aguilera,L.E., H. Reyes-Bonilla, y J.D. Carriquiry, 2007. El papel de los arrecifes coralinos en el flujo de carbono en el océano: estudios en el Pacífico mexicano. p. 215 – 226. En: B. Hernández de la Torre, G. Gaxiola Castro (eds.). Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México. Instituto Nacional de Ecología. México D.F. 508 p.

Carilli J.E., R.D. Norris, B.A. Black, S.M. Walsh, y M. McField, 2009. Local stressors reduce coral resilience to bleaching. *PLOS ONE*, 4(7): e6324. doi:10.1371/journal.pone.0006324

Carricart-Ganivet, J.P. y G. Horta-Puga, 1993. Arrecifes de coral en México. p 81-92 En: S.I. Salazar-Vallejo y N.E González (eds). Biodiversidad Marina y Costera de México. Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México, 865 p.

Castañeda, O. y F. Contreras, 1995. Ecosistemas Costeros Mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de La Biodiversidad y Universidad Autónoma Metropolitana. Formato CD-ROM.

Chapman V. J., 1967. Laggons and mangrove vegetation. p. 505 – 514. En*:* UNAM – UNESCO. Lagunas Costeras, Un Simposio. Mem. Simp.Interm. Lagunas Costeras. Nov.28 . 30, 1967. México D. F. 688 p.

Cheung, W.W.L, V.W.Y. Lam, J. L. Sarmiento, K. Kearney, R. Watson, D. Zeller, y D. Pauly, 2009. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology,* doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01995.x

Conabio, 2007. Base de datos georreferenciada de elementos insulares utilizada para el análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura A.C. Incluye entre otros elementos de las siguientes coberturas geográficas:

Conabio, 2005. Islas de México. Compilación cartográfica. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Escala 1:250 000. México.

Conabio, 2008. Distribución de los manglares de México. Escala 1:50 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Extraído del proyecto DQ056: Programa de monitoreo de los manglares de México a largo plazo, primera etapa. México D.F., México.

Conabio, 2008a. Manglares de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 36 p.

Conabio, 2008b. Distribución de los manglares de México dentro de las Áreas Naturales Protegidas Federales en México. Escala 1:50 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Extraído del proyecto DQ056: Programa de monitoreo de los manglares de México a largo plazo, primera etapa. México D.F., México.

Conabio, 2008c. Distribución de los manglares de México dentro de las Áreas Naturales Protegidas Estatales en México. Escala 1:50 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Extraído del proyecto DQ056: Programa de monitoreo de los manglares de México a largo plazo, primera etapa. México D.F., México.

Conabio, 2008d. Distribución de los manglares de México dentro de las Áreas Naturales Protegidas Municipales en México. Escala 1:50 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Extraído del proyecto DQ056: Programa de monitoreo de los manglares de México a largo plazo, primera etapa. México D.F., México.

Conabio, 2009. Manglares de México: Extensión y distribución. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento u Uso de la Biodiversidad. México. 99 p.

Congreso de la Unión, 1917. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Centro de Documentación, Información y Análisis. Última Reforma Diario Oficial de la Federación 04/05/2009. http://www.cofepris.gob.mx/work/sites/cfp/resources/LocalContent/465/3/constitucion.pdf.

Congreso de la Unión, 2004. Ley General de Bienes Nacionales. Secretaria de la Función Publica Diario Oficial de la Federación 20/05/2004.

Contreras-Espinoza, F., 1993. Ecosistemas Costeros Mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Autónoma Metropolitana. 416 p.

Contreras-Espinosa F., y B. G. Warner, 2004. Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiologia,* 511: 233–245.

Cornell, H. V., 1993. Unsaturated patterns in species assemblages: the role of regional processes in setting local species richness. p. 243-252. *In:* R.R. Ricklefs and D. Schluter (eds.), Species Diversity in Ecological Communities. Univ. Chicago Press. Chicago.

Coastal Resources Center–University of Rhode Island and International Resources Group (CRC–URI, IRG), 2009. Adapting To Coastal Climate Change, a Guidebook for Development Planners. United States Agency for International Development (USAID). 147 pp. http://www.usaid.gov/our_work/cross- cutting_programs/water/news_announcements/coastal_climate_change_report.html

Dudley, N., 2003. No Place to Hide: Effects of Climate Change on Protected Areas. WWF Climate Change Programme. www.panda.org/climate/pa_manual.

Ferré-D´Amaré, A.R., 1985. Coral Reef of the Mexican Atlantic: Review. Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress, Tahiti, 1985, Vol. 2

Field, J.C., D. F. Boesch, D. Scavia, R. Buddemeier,V. R. Burkett, D. Cayan, M. Fogarty, M. Harwell, R. Howarth, C. Mason, L. J. Pietrafesa, D. Reed, T. Royer, A. Sallenger, M. Spranger, y J. G.Titus, 2001.Potential Consequences of Climate Variability and Change on Coastal Areas and Marine Resources. Chapter 16. p. 461 -487. Derived from: Kleypas, J.A., J.W. McManus,and L.A.B.Menez, Environmental limits to coral reef development: Where do we draw the line? *American Zoologist*, 39:146- 159. *In:* National Assessment Synthesis Team (NAST) Climate Change Impacts on the United States: The Potential Consequences of Climate Variability and Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, 612 p. http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/ http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/16Coastal.pdf

Gold-Bouchot, G., 2004. Hidrocarburos en el sur del Golfo de México. p. 657 – 682. En: M. Caso, I. Pisanty, y E. Ezcurra. Diagnóstico ambiental del Golfo de México, Volumen 2. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecologían, Instituto de Ecología A.C., Harte Research Institute for Gulf of México Studies. 1108 p.

Hansen, L. J., J. L. Biringer, J. R. Hoffman, (eds), 2003. Buying time: Building Resistance and Resilience to Climate Change in Natural Systems. World Wildlife Fund. 246 p.

Hansen, L. J., 2003. Increasing the resistance and resilience of tropical marine ecosystems to climate change. Chapter 6. p. 157 – 176. *In:* L. J. Hansen, J. L. Biringer, and J. R. Hoffman, (eds). Buying time: Building Resistance and Resilience to Climate Change in Natural Systems. World Wildlife Fund. 246 p.

Hoegh-Guldberg, O, P. J. Mumby, A. J. Hooten, R. S. Steneck,4 P. Greenfield, E. Gomez, C. D. Harvell, P. F. Sale, A. J. Edwards, K. Caldeira, N. Knowlton, C. M. Eakin, R. Iglesias-Prieto, N. Muthiga, R. H. Bradbury, A. Dubi, y M. E. Hatziolos. 2007. Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science*, 318: 1737 – 1742.

Horta-Puga, G., 2003. Condition of selected reef sites in the Veracruz reef system (stony corals and algae). *In*: J.C. Lang (ed.) Status of coral reefs in the Western Atlantic: results of initial surveys, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) program.

Howel, S. N. G., S. Webb, y B. M. de Montes, 1990. Notes on Tropical Terns in Mexico. American Birds, Vol. 44, No. 3. National Audubon Society.

Hunter, M., 2007. Climate Change and Moving Species: Furthering the Debate on Assisted Colonization. *Conservation Biology,* 21(5):1356–1358.

Iglesias-Prieto, R., H. Reyes-Bonilla, R. Riosmena-Rodríguez, 2003. Effects of 1997-1998 ENSO on Coral Reef Communities of the Gulf of California, Mexico. *Geofísica Internacional*, Vol. 42(3): 467-471.

INEGI, 1984. Geografía en informática, Dirección General de Geografía, México Marzo 26 de 1984. Citado por: Contreras-Espinoza, 1993.

INEGI, 1991. Datos Básicos de la Geografía de México, Pág. 27. México.

INEGI, 2003. Información Geográfica / Datos básicos / Extensión, fronteras, litorales y Zona Económica Exclusiva. http://www.inegi.gob.mx/difusion/espanol/figdatb.html. Consultada: Julio 2003.

INEGI,2005. Marco Geoestadístico Municipal 2005 Versión 1.0. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.

INEGI,2005. Territorio Insular de México. Continuo Nacional, Primera Edición, Escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags., México. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/Marco_Geoestadístico.aspx. Consultada: Octubre 2010.

INEGI, 2009a. Marco Geoestadístico Municipal 2009 Versión 4.1. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/Marco_Geoestadístico.aspx. Consultada: Octubre 2010.

INEGI, 2009b. Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:250,000, Serie IV (Conjunto Nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 p.

Jordán, E., 1993. El ecosistema Arrecifal Coralino del Atlántico Mexicano. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* ,Vol. Esp. (XLIV): 157-175.

Jordán, E. J.T. Ketchum, y H. Reyes-Bonilla, 2001. Taxonomía y distribución de los corales hermatípicos (Scleractinia) del Archipiélago de Revillagigedo, México. *Rev. Biol. Trop.,* 49(3-4): 803-848.

Jordán-Dahlgren, E., 1992. Recolonization patterns of Acropora palmata in marginal environments. *Bulletin of Marine Science,* 51(1):104-117. Citado por: Horta-Puga, G.2003.

Jordán-Dahlgreen, E., 2004. Los Arrecifes Coralinos del Golfo de México: caracterización y diagnóstico. p. 555 – 571. En: M. Caso, I. Pisanty, y E. Ezcurra. Diagnóstico ambiental del Golfo de México, Volumen 1. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología A.C., Harte Research Institute for Gulf of México Studies. 1108 p.

Keller, B. D., S. Airamé, B. Causey, A. Friedlander, D. F. Gleason, R. Grober-Dunsmore, J. Johnson, E. McLeod, S. L. Miller, R. S. Steneck, y C. Woodley, 2008. Marine Protected Areas, Chapter 8 p. 1-43. *In: S.H.* Julius, J.M. West J.S. Baron, L.A. Joyce, P. Kareiva, (eds.), Preliminary review of adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, 873 p.

Kier G., H. Kreft, T. Ming-Lee, W. Jetz, P. L. Ibisch, C. Nowicki, J. Mutke, y W. Barthlott, 2009. A global assessment of endemism and species richness across island and mainland regions. *PNAS,* 106: 9322-9327.

Kiihlnlann, D. H. H., 1975. Charakterisierung der korallenriffe vor Veracruz/Mexiko. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie,* 60:495-521. Citado por: Horta-Puga, G. 2003.

Lara, M., C. Padilla, C. García y J.J. Espejel, 1992. Coral Reef of Veracruz Mexico I. Zonation and Community. Proceedings of the Seventh International Coral Reef Symposium, Guam, 1992, Vol. 1.

Lirman D., P. W. Glynn, A. C. Baker, y G. E. Leyte-Morales, 2001. Combined effects of three sequential storms on the Huatulco coral reef tract, Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 69(1): 267–278.

López-Pérez, R. A., y A. López-García, 2008. Identificación de sitios prioritarios para la conservación de corales formadores de arrecifes en el estado de Oaxaca, México. *Hidrobiológica,* 18(3): 239-249.

López Portillo J., y E. Ezcurra. 2002. Los manglares de México: una revisión. *Madera y Bosques,* No. especial: 27-51.

Lowry, W. R., 1998. Preserving public lands for the future: the politics of intergenerational goods. Georgetown University Press. Washington D.C. 298 p.

Machkour-M'Rabet, S., Y. Hénaut, P. Charruau, M. Gevrey, P. Winterton, y L. Legal, 2009 . Between introgression events and fragmentation, islands are the last refuge for the American crocodile in Caribbean Mexico. *Mar. Biol.,* 56:1321–1333.

McField M. , N. Bood, A. Fonseca, A. Arrivillaga, A. Franquesa-Rinos, y R. M. Loreto-Viruel, 2008. Status of the Mesoamerica Reef after the 2005 Coral Bleaching Event. Chapter 5. p 45-60. *In*: C. Wilkinson, and D. Souter . Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005. Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, 152 p.

McLachlan, J. S., J. J. Hellmann, y M. W. Schwartz, 2007. A Framework for Debate of Assisted Migration in an Era of Climate Change. *Conservation Biology,* 21(2): 297–302.

McLeod, E., y R. V. Salm, 2006. Managing Mangroves for Resilience to Climate Change. IUCN, Gland, Switzerland. 64 p.

Medina-Rosas P., J. D. Carriquiry, y A. L Cupul Magaña, 2005. Reclutamiento de Porites (Sccleractinia) sobre sustrato artificial en arrecifes afectados por El Niño 1997-1998 en bahía de Banderas, Pacífico mexicano. *Ciencias Marinas*, 31(1A): 103-109.

Metz B., O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, y L.A. Meyer (eds). 2007. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Millennium Coral Reef Mapping Project (MCRMP), 2004. Geomorphologic mapping of coral reef and other benthic structures database for the Mesoamerican Reef System. University of South Florida, Institute for Marine Remote Sensing (IMARS)

Mohr, J., 2008. Biodiversity, Protected Areas, and Climate Change: A Review and Synthesis of Biodiversity Conservation in Our Changing Climate. Internal report:: Native Geographic, LLC /The Nature Conservancy, Global Protected Areas Unit. Arlington, Va. 48 p.

Mulholland P. J., G. R. Best, C. C. Coutant, G. M. Hornberger, J. L. Meyer, Peter J. Robinson, J. R. Stenberg, R. E. Turner, F. Vera-Herrera, y R. G. Wetzel, 1997. Effects of Climate Change on Freshwater Ecosystems of the South-Eastern United States and the Gulf Coast of Mexico. *Hydrological Processes*, 11: 949 - 970.

Mumby, P. J., Al. J. Edwards, J. E. Arias-González, K. C. Lindeman, P. G. Blackwell, A. Gall, M. I. Gorczynska, A. R. Harborne, C. L. Pescod, H. Renken, C. C. C. Wabnitz, y G. Llewellyn, 2004. Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature*, 427(5): 533-536.

Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdes, L., DeYoung, C., Fonseca, L., Grimsditch, y G. (eds), 2009. Blue Carbon. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal.

Ochoa-Lopez, E., H. Reyes-Bonilla, y J. Ketchum-Mejia. 1998. Daños por sedimentación a las colonias coralinas del sur de la Isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo, México. *Ciencias Marinas*, 24(2): 233-240.

Ortiz-Pérez, M.A., y A. P. Méndez-Linares. 2000. Repercusiones por ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México. p- 73 -85. En: C. Gay García (Compilador). México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program. México, 220 p.

Palacio-Prieto J.L., G. Bocco, A. Velázquez, J. F.Mas, F. Takaki-Takaki, A. Victoria, L. Luna-González, G. Gómez-Rodríguez, J. López-García, M. Palma Muñoz, l. Trejo-Vázquez, A. Peralta Higuera, J. Prado-Molina, A. Rodriguez-Aguilar, R. Mayorga-Saucedo, y F. González Medrano, 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Boletín del lnstituto de Geografia*, 43: 183-203.

Pacheco-Ruiz, I., J. A. Zertuche González, A. E. Meling-López, R. Riosmena-Rodríguez, y J. Orduña-Rojas, 2006. El límite norte de *Rhizophora mangle* L. en el golfo de California, México. *Ciencia y Mar,* X(28): 19-22.

Ramírez, G. P., y A. Lot, 1994. La distribución del manglar y de los "pastos marinos" en el Golfo de California, *México. An. Inst. Biol. Ser. Bot*., 65 (1): 63-72.

Ranefeld, J. W., 1972. The Stony corals of Enmedio Reef off Veracruz, México. M. S. Thesis, Oceanography. Texas A&M University, College Station. Texas. 104 p. Citado por: Horta-Puga, G., 2003.

Reyes-Bonilla, H., y A. López-Pérez, 1998. Biogeografía de los corales pétreos (Scleractinia) del Pacífico de México. *Ciencias Marinas*, 24(2): 211-224.

Reyes-Bonilla, H., J.D. Carriquiry, G.E. Leyte-Morales, y A.L. Cupul-Magaña. 2002. Effects of the El Niño-Southern Oscillation and the anti-El Niño event (1997–1999) on coral reefs of the western coast of México. *Coral Reefs,* 21: 368–372.

Reyes-Bonilla, H., 2003. Coral reefs of the Pacific coast of Mexico. p. 331-350. En: J. Cortés (ed), Latin America Coral Reefs. Elsevier, Amsterdam.

Royal Society, 2009. The Coral reef Crisis: scientific justification for critical CO_2 threshold levels of < 350 ppm. Output of the technical working group meeting at the Royal Society. London. Citado en: TEEB - The Economics of Ecosystems and Biodiversity. 2009. TEEB Climate Issues Update. September 2009.

SEMAR, 2003. Acuerdo mediante el cual las secretarías de Marina, de Comunicaciones y Transportes, y de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, establecen medidas de seguridad en la Sonda de Campeche. Diario Oficial de la Federación, 11/09/2003

SEDUE, 1991. Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar. Diario Oficial de la Federación 21/08/1991

Semarnap, 1997. México. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México D. F. 150 pp.

Semarnap, 2000. Base de Datos Geográfica del Inventario Forestal Nacional 2000. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca - Instituto de Geografía de la UNAM. 1 Capa ArcGIS.

Snedaker, S., J.C. Clark, y I. Olmsted. 1991. The Status of Biodiversity in Quintana Roo, Yucatán. Division of Marine Biology and Fisheries, The Rosentiel School of Marine and Atmospheric. University of Miami, Florida, USA. 37 p.

Spalding M. D., C. Ravilious, y E .P. Green. 2001. World Atlas of Coral Reefs. UNEP World Conservation Monitoring Centre. University of California Press, Berkeley, USA. 424 p.

Torrescano N., y G. A. Islebe, 2006. Tropical forest and mangrove history from southeastern Mexico: a 5000 yr pollen record and implications for sea level rise. *Veget. Hist. Archaeobot.,* (2006)15: 191–195.

Tunnell, J. W., 1992. Natural versus human impacts in the Southern Gulf of Mexico coral reef resources. Proceedings of the Seventh International Coral Reef Symposium. Guam, 1:300-306. Citado por: Horta-Puga, G. 2003.

UNEP/IUCN, 1988. Coral reefs of the World. Volume l: Atlantic and Eastern Pacific. UNEP Regional Seas Directories and Bibliographies. IUCN, Gland, Switzerland y Cambridge, UK/UNEP, Nairobi, Kenya, x1vii + 373 pp., 38 maps.

Veron J.E.N, O. Hoegh-Guldberg, T.M. Lenton, J.M. Lough, D.O. Obura, P. Pearce-Kelly, C.R.C. Sheppard, M. Spalding, M.G. Stafford-Smith, y A.D. Rogers, 2009. The coral reef crisis: The critical importance of <350 ppm CO_2. *Marine Pollution Bulletin* 58: 1428–1436.

West, J.M., y R.V. Salm, 2003. Resistance and resilience to coral bleaching: Implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology,* 17: 956-967.

WWF, 2002. Base de datos de arrecifes coralinos generada para: P. A. Kramer, P. R. Kramer and M. McField (eds.). Ecoregional Conservation Planning for the Mesoamerican Caribbean Reef. World Wildlife Fund. Washington D. C. 140 p.

Cambio Climático en México
un Enfoque Costero y Marino

Gobernanza para el cambio climático

Rivera-Arriaga, E., e I. Azuz Adeath, 2010. La gobernanza de las costas y océanos de México en un clima cambiante, p. 739-772. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

La gobernanza de las costas y océanos de México en un clima cambiante

Evelia Rivera Arriaga e Isaac A. Azuz Adeath

Resumen

A partir de un análisis de las teorías políticas y económicas globales, el presente capítulo circunscribe el desarrollo de los esfuerzos encaminados a abordar la gobernanza ante el cambio climático a la luz de estos marcos de referencia alternativos. Propone como eje central y orienta al lector en la construcción o fortalecimiento de los procesos de gobernanza del cambio climático desde la escala internacional hasta la local. Presenta diferentes instrumentos de gobernanza del ámbito internacional, subnacional, local y de sectores o grupos de actores específicos. De manera precisa, se analizan los esfuerzos llevados a cabo sobre el particular a nivel gubernamental en México, tanto por el gobierno federal como por los gobiernos estatales, enfatizando la importancia de la implementación de políticas y programas de carácter local. Establece que toda gobernanza, sobre todo en la zona costera, requiere de una dinámica que le permita adaptarse constantemente a procesos ambientales, a presiones socioeconómicas, a decisiones políticas y a la incertidumbre de los efectos del cambio climático. El capítulo concluye con una propuesta, basada en seis principios rectores, para la creación del proceso de gobernanza en la región costera mexicana ante el cambio climático, a partir del enfoque de su gestión integral, fundamentada en la información disponible de la experiencia exitosa de la península de Yucatán.

Introducción

La gobernanza puede entenderse como el conjunto de procesos políticos e institucionales -tanto intencionales como implícitos- que modulan a su vez: a) la forma en que los pasos científicos y tecnológicos son direccionados; b) determinan cómo los problemas ambientales son definidos y abordados; y c) consideran cómo las consecuencias sociales se distribuyen en un espacio geográfico y en un marco de tiempo dados. Estos procesos se comprenden a través de un espectro de organizaciones y comunidades que tienden a ser dirigidas por diferentes intereses y valores. El comprender esas diferencias ayudan a entender la variedad de expectativas que los actores tomadores de decisiones y los usuarios tienen, y a su vez permiten construir el marco de referencia que puede responder a las necesidades de las organizaciones sociales y productivas, a las comunidades y a las necesidades conjuntas de la propia gobernanza.

Para comprender las implicaciones del cambio climático en la zona costero-marina de México, es indispensable comprender la gobernanza de esta zona, ya que la dinámica socio-político-económica se desarrolla de diferentes maneras y presenta múltiples retos con implicaciones para la sustentabilidad en las costas y mares mexicanos. Inclusive, no se debe perder de vista que cuando se construye la gobernanza, ésta debe incluir todos los factores de riesgo y vulnerabilidad, además de los elementos institucionales necesarios que construyen los marcos regulatorios, diseñan e implementan los procesos de manejo y ejecutan los programas y acciones específicas de cambio climático.

La construcción e implantación de esa gobernanza es entonces clave para diseñar las políticas públicas que permitan la adaptación al cambio climático. Sin embargo, en este punto es necesario plantearse las siguientes preguntas: ¿Qué tipo de gobernanza es el adecuado para la zona costera?; ¿Cómo se puede conceptualizar a la gobernanza para que aporte substancialmente en los retos del cambio climático para la zona costero-marina (ZCM)?; ¿Cómo deben los procesos de gobernanza ser replanteados para comprender y abordar la complejidad de los efectos del cambio climático en la ZCM?; ¿Cuáles son las instituciones y actores clave y cuáles deben ser los procesos, contribuciones y relaciones que deben modificarse ante el cambio climático en la ZCM?; y ¿Cuáles son los costos para implementar las políticas del cambio climático en la ZCM?

Para ir respondiendo a esas preguntas en orden es importante antes señalar que la mayoría de los esfuerzos que se han construido para la gobernanza se han enfocado al desarrollo de un régimen internacional de cambio climático, y es a partir de éste que las iniciativas a nivel nacional y subnacional tienen lugar. La traducción de las premisas internacionales a nivel local conllevan retos en muchas ocasiones demasiado grandes para que los gobiernos municipales –ya no se diga las comunidades ejidales- puedan implementarlos. En este punto, la construcción de las gobernanzas deberá hacerse en paralelo en todos los niveles, considerando capacidades, intereses y vulnerabilidades.

Teorías de relaciones internacionales para el análisis de la gobernanza del cambio climático

El grado y variabilidad en que se verán afectados los distintos países del mundo respecto de los cambios en el clima, dependerán de las diferentes condiciones geográficas, socio-económicas y políticas en las que se encuentran los mismos. Es por esto que al observar el impacto que el cambio climático tendrá sobre todo en los países en vías de desarrollo es muy importante en la gobernanza, sobre todo al considerar que los mismos se presentan dentro de este escenario como los más débiles pero, al mismo tiempo, los menos contaminantes.

Aceptando de manera general lo que implica el cambio climático global, de los vacíos y requerimientos de adecuación y fortalecimiento de su marco de regulación y también de sus posibles consecuencias adversas, surge la necesidad de comentar algunas de las distintas gestiones y acciones políticas y jurídicas por parte de los Estados, organizaciones internacionales y organizaciones no gubernamentales, que intentan dar respuesta o aproximarse al menos a una solución viable para hacer frente a los nuevos desafíos a los que se enfrenta el mundo entero; pero reconociendo que es a nivel local que se sufrirán los efectos más fuertes. Al final, de lo que se trata es de reconocer que el régimen que se gesta a nivel internacional no necesariamente es el mismo que se origina a una escala menor.

Según Keohane y Nye (1998 y 2000), la globalización es un fenómeno que viene de la mano del globalismo y de la interdependencia. El globalismo es la condición en la que se hallan los Estados, mientras la globalización hace referencia a que ese globalismo, al igual que esa interdependencia, se está incrementando. De esta manera, se considera al actual sistema mundial como resultado de una multiplicidad de vínculos e interconexiones entre Estados y sociedades, que refleja un proceso a través del cual los acontecimientos, decisiones y actividades en cualquier lugar tienen repercusiones significativas en diferentes partes del planeta, que no necesariamente comparten fronteras o cercanía geográfica. Sin embargo, cabe aclarar que un mundo globalizado no implica que éste venga a estar políticamente más unido, ni que económicamente se haga más interdependiente o culturalmente más homogéneo

El globalismo es el estado del mundo que incluye redes de interdependencia entre múltiples Estados a distancias multicontinentales. De esta manera, vemos que el globalismo es un estado, una característica, en la que los Estados sufren costos recíprocos de sus relaciones y donde ésta interdependencia no puede estar sólo remitida a un área regional, y asumiendo la reconfiguración de las prácticas políticas, su organización y canales de participación social en función de las nuevas demandas que se gestan a partir de los procesos de innovación social y que incluyen transformaciones en la transnacionalización de la economía, la reconfiguración de prácticas políticas, su organización y canales de participación social y cambios en la tecnología.

En el caso del cambio climático desde el punto de vista ambiental, es necesario replantear el marco de interdependencia en el que los Estados pierden importancia como unidades políticas con fronteras definidas, ya que los fenómenos trascienden los límites nacionales y se vuelven complejas y numerosas las relaciones entre todos los elementos que intervienen. Lo anterior se puede explicar a través de la Teoría de la Interdependencia Compleja donde el mundo presenta

la forma de red o telaraña; y en el que los flujos económicos o tecnológicos rompen con la lógica del sistema de Estados para crear una lógica de red en la que existen múltiples conexiones.

De acuerdo con Carnero Conttenti (2005), en condiciones de interdependencia las estrategias de planificación política y toma de decisiones dependen directamente de la habilidad y rapidez de cada Estado para su implementación. De esta manera, los efectos recíprocos entre países o entre actores en diferentes países involucra costos recíprocos en todos los intercambios que se lleven a cabo (aunque no necesariamente sean simétricos); y asumiendo que donde éstos existan habrá interdependencia o dependencia mutua. Cabe aclarar que el término no debe limitarse a situaciones de mutuo beneficio, sino que esta perspectiva implica que las relaciones interdependientes siempre implicarán costos, dado que la misma siempre reduce la autonomía, por lo cual resulta imposible determinar *a priori* si los beneficios de una relación serán mayores que los costos. Esto dependerá de los valores que animen a los actores como de la naturaleza de la relación. Nada asegura que las relaciones denominadas interdependientes puedan caracterizarse como de beneficio mutuo.

De esta manera, las negociaciones que se lleven a cabo entre Estados conllevarán asimetrías entre los países desarrollados y los menos desarrollados. Esto resulta en una competencia, incluso en los casos de cooperación donde haya convenios de beneficios netos (Okereke y Bulkeley, 2007). Así se llega a un punto en el que las negociaciones y acuerdos se den tomando en cuenta las dependencias y las interdependencias entre los Estados. De allí, que resulte necesario que los actores de la comunidad internacional cooperen o adapten mutuamente sus conductas, por medio de la coordinación de políticas, como medio para facilitar la consecución de los objetivos planteados. Si bien puede resultar ingenuo asumir que una mayor cooperación entre cualquier grupo de Estados para cualquier propósito estimulará necesariamente cambios en la política mundial, resulta claro que una más efectiva coordinación política entre los gobiernos significará una gran ayuda. Al estar transitando hacia la reducción de su vulnerabilidad (entendiendo ésta como el grado de autonomía de un Estado a partir de las acciones de otros), y hacia la adaptación; dependiendo de la rapidez para reaccionar lo antes posible, asumirá los costos y desventaja por continuar experimentando con costos e impuestos por acontecimientos externos aun después de haber modificado las políticas.

Considerando las perspectivas conceptuales y teóricas de las relaciones internacionales, los enfoques cognitivos y el reconocimiento del papel de actores no-gubernamentales en las relaciones internacionales necesarias para establecer una gobernanza, se pueden enlistar las siguientes teorías:

Realismo: Con tres premisas: a) Estatismo que considera a los Estados como los únicos actores del escenario internacional; b) El sistema internacional se gobierna por la anarquía en una lucha constante de poderes entre los intereses de cada Estado y de la habilidad que cada uno despliegue para conservar su seguridad y permanencia; y c) La supervivencia de un Estado recae en sus propias habilidades de sobrevivir porque ningún Estado ayudará a otro desinteresadamente por lo que cualquier alianza se establece en un balance de ganancias relativas para cada uno.

Neo-Realismo: Considera que para explicar el comportamiento de un Estado se debe tomar en cuenta su estructura; la cual abarca dos componentes: la anarquía como principio del orden internacional, y la distribución de capacidades a través de los Estados.

Estas dos teorías son aplicables cuando se considera que durante las reuniones de las partes (COP en sus siglas en inglés) únicamente son válidas las negociaciones y acuerdos a los que lleguen los Estados. Los resultados de la COP15 (Copenague 2009) con la imposición de los intereses de los países desarrollados sobre las necesidades de los países menos desarrollados ejemplifican la esencia de ambas teorías; y serán las habilidades y ejercicio del balance del poder de esos Estados los que durante la COP16 (Cancún 2010) arrojarán resultados con beneficios para unos o para los otros dentro de un sistema ganar-perder.

Institucionalismo Neoliberal: Se refiere a la escuela del pensamiento que cree que los Estados están, o deberían estar, preocupados principalmente en obtener ganancias absolutas[1] más que ganancias relativas sobre los otros Estados. El Neoliberalismo emplea la teoría de juegos para explicar por qué los Estados cooperan o no ya que sus enfoques tienden a enfatizar la posibilidad de ganancias mutuas, por lo que están interesados en instituciones que puedan lograr arreglos y compromisos conjuntos que les hagan ganar. Esta Teoría considera la suma-no-cero la cual propone que a través del uso de la ventaja comparativa[2] todos los Estados que se comprometan en mantener –por ejemplo- la paz pueden incrementar su bienestar y riqueza.

La cooperación en la arena internacional es algo que siempre se ha dado, aunque las razones para hacerlo son múltiples. Los efectos del cambio climático son de tal envergadura que todos los Estados del planeta se ven afectados de una forma u otra ya que sus fronteras no los protegen. El reconocimiento de esto, contribuye para buscar cooperación en dos sentidos: 1) en problemas compartidos para actuar de manera conjunta y que por ende reciban beneficios mutuos; y 2) en problemas similares que facilite el intercambio de experiencias, tecnología, e inclusive permita la intervención específica. En ambos casos se establecen ventajas comparativas y se tiene el sistema ganar-ganar.

Comunidades Epistémicas: En relaciones internacionales se refiere a una red de trabajo de profesionales con conocimiento y habilidades reconocidas en un área-problema en particular, por lo que permite validar procesos. Éstas comparten una serie de creencias, proveen fundamentos para las acciones de sus miembros y actúan por consenso sobre áreas-problema. Ade-

[1]Ganancia absoluta es cuando los intereses de los Estados incluyen rangos de poder, así como los efectos económicos y culturales de cada acción.

[2]En economía, la ley de la ventaja comparativa se refiere a la habilidad de una entidad (individuo, firma, o Estado) para producir un bien o servicio en particular, a un costo de oportunidad más bajo que otra entidad. Esto es, la habilidad de producir un producto con la mayor eficiencia relativa dados todos los otros productos que puedan ser producidos. El costo de oportunidad es el costo relacionado con la siguiente mejor opción disponible para alguien que ha elegido de entre varias opciones mutuamente excluyentes (ya que no pueden ocurrir al mismo tiempo por lo que no tienen resultados comunes entre si). Este costo de oportunidad no se circunscribe solamente a costos financieros o monetarios; sino que aplica a cualquier elección que provea utilidad. La ventaja absoluta se refiere a la habilidad de una entidad para producir más de un bien o servicio que sus competidores, usando la misma cantidad de recursos.

más, las interacciones inherentes en su actividad, contribuyen a establecer vínculos entre el conocimiento, la política y los resultados. Estas comunidades evolucionan independientes y sin la influencia de ninguna autoridad ni gobierno.

La comunidad científica en la década de los 80 dio la alerta sobre cambios que se estaban observando en la capa de ozono y en el hielo de los polos. Esa comunidad fue creciendo y sus resultados fueron tan contundentes que contribuyeron a sustentar una reunión internacional específica para este tema en Montreal (1989). Esta misma comunidad fue la que siguió aportando evidencias de tal magnitud que durante la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro (1992) –que por posiciones controvertidas entre los mismos científicos no se incluyó en las negociaciones de Agenda 21- se llevó a cabo una reunión paralela que arrojó la Convención Marco de Cambio Climático, signada por 155 Estados.

Constructivismo: Establece que los Estados son capaces de aprender y que la realidad internacional está construida socialmente por estructuras cognitivas que le dan significado al mundo material.

Las evidencias contundentes sobre los cambios en el clima así como sus efectos devastadores presentes y pronosticados, son la base de la acción global que se ha emprendido para enfrentar al reto más grande de la humanidad. Los Estados han sido capaces de transitar la ruta del aprendizaje significativo y esta teoría explica cómo la gobernanza construida a partir del conocimiento científico ha permitido al Panel Internacional del Cambio Climático (IPCC) establecer patrones y tendencias y construir escenarios que ayudan a los Estados a plantear planes y programas de acción para la mitigación y adaptación al cambio climático.

Teoría de Regímenes: Sostiene que el sistema internacional no es anárquico en la práctica, pero que contiene una estructura implícita o explícita que determina cómo los Estados actuarán dentro del sistema establecido. Los Regímenes son instituciones (o reglas, principios, normas y procedimientos para la toma de decisiones) alrededor de las cuales convergen las expectativas de los actores en el ámbito de un problema dado. De esta forma los Regímenes proveen incentivos, distribuyen poder y definen identidades y papeles.

El área-problema del cambio climático a nivel internacional es compleja y abordarla con la propiedad, contundencia y premura adecuadas requiere de un régimen internacional que establezca rutas críticas para que los Estados actúen en consecuencia. Dentro de este régimen, cada Estado ha aceptado implícitamente los beneficios que puede obtener al aceptar seguir los lineamientos que se han establecido con respecto a la mitigación y la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero de acuerdo con los protocolos de Montreal (1989) y Kioto (1997). La firma de la Convención Marco de Cambio Climático, así como la adhesión voluntaria a estos protocolos establecen las bases del régimen para el cambio climático.

Neo Funcionalismo: Describe y explica el proceso de integración regional considerando la interacción de tres factores causales: a) creciente interdependencia económica entre los Estados; b) capacidad organizacional para resolver disputas y construir regímenes internacionales legales; y c) reglas supranacionales de mercado que reemplacen los regímenes regulatorios nacionales.

La presión que los Estados tienen para obtener resultados positivos en cada una de las negociaciones sobre cambio climático excede las capacidades individuales, por lo que es necesario conformar alianzas regionales que ayuden a abordar de la mejor forma los retos que se tienen. Esta teoría permite explicar la conformación de acuerdos económicos regionales para afrontar los costos de la mitigación y adaptación al cambio climático. Incluso, países isleños pequeños, tan vulnerables a la elevación del nivel medio del mar, consideran importante establecer un sistema económico internacional legal que les beneficie por el costo que ellos tienen que pagar. Una Teoría que se puede añadir al Neo-Funcionalismo es el Inter-gubernamentalismo, que por si misma es una mezcla de teorías utilizada para explicar la integración europea y que arroja una luz para comprender cómo los Estados de una región en particular están enfrentando los retos del cambio climático. Considerando la problemática que se deriva de éste, es posible identificar que los Estados de una región deberán asumir la demanda y los costos de una política doméstica específica sobre el tema; pero al mismo tiempo reconocer la interdependencia asimétrica que existe en esa región ya que no todos los Estados son iguales, por lo que deberá permitirse la negociación entre ellos. Y de igual forma, es importante identificar las instituciones supranacionales que intervienen en la región de manera que se puedan reducir los costos de transacción de las negociaciones y lograr mayor autonomía de los gobiernos nacionales para con sus ciudadanos, adicionando legitimidad y credibilidad a políticas comunes de cambio climático.

Materialismo Histórico: Es una teoría que privilegia la economía para explicar los fenómenos no económicos, de manera que interpreta la historia desde ese punto de vista. El Materialismo es la explicación que establece que la realidad se compone únicamente de materia y energía, sin seres ni fenómenos sobrenaturales, de manera que las ideas, sueños, etc., son todas parte de la realidad material.

Esta teoría contribuye a explicar las bases para la adaptación al cambio climático. Como ya se ha dicho, el área-problema es sumamente compleja, y la forma de abordarlo desde la economía permite establecer parámetros y criterios ante la incertidumbre y los riesgos a los que se enfrentan los Estados para establecer políticas y acciones de prevención, y de adaptación. Desde la aparición del Informe Stern (2006) para el Reino Unido y el Informe Galindo (2009) para México, la economía ha estado arrojando algunas cifras sobre los costos del cambio climático, y a nivel global han sido calculados por el Banco Mundial (2010) y la OCDE (Agrawala y Fankhauser, 2008).

Neo-Gramascianismo: Explora la interfase de ideas, instituciones y capacidades materiales conforme moldean los contornos específicos de la formación de los Estados. Además analiza cómo las diferentes fuerzas sociales, junto con el Estado y la configuración de ideas dominantes, definen y sustentan el orden mundial. De esta manera, la teoría política de Gramsci reconoce la centralidad de las organizaciones y su estrategia, dirige su atención a la economía y a los pilares de poder, mientras reconoce los procesos de construcción de coaliciones, conflictos y los elementos estructurales que resultan en cambios sociales. Este enfoque aborda las relaciones estructura-institución gubernamental y su dinámica endógena en una forma que pueda enriquecer la teoría institucional (David y Egan, 2003).

El cambio climático impone la construcción y fortalecimiento de capacidades institucionales específicas para afrontarlo. En este momento, todos los Estados del planeta están desarrollando esas capacidades pero a nivel sub y supra nacional coexisten organizaciones de individuos con diversos intereses y capacidades que influencian esas instituciones por lo que al fin alteran los resultados para cada Estado y para todos los demás Estados de la arena internacional. Esta teoría permite explicar cómo, a pesar de que las negociaciones se siguen llevando a cabo entre Estados, existen otros actores clave que también intervienen en los resultados finales.

Las teorías aquí enlistadas proveen un marco que permite entender cómo se construyen las relaciones internacionales en un área-problema como el cambio climático; y ayuda a comprender el por qué y el cómo se construyen esas relaciones para que se obtengan beneficios y ganancias en ese balance de poder e intereses.

De esta manera, el marco teórico se puede aplicar para el análisis de las negociaciones internacionales para el control de las emisiones de gases de efecto invernadero, enfocando las respuestas de las empresas trans-nacionales y sus posturas hegemónicas que se identifiquen; así como las luchas políticas de los Estados y dentro de la sociedad civil y el papel de las estrategias de mercado y su relación cercana con las estructuras sociales y políticas que defienden y fortalecen esos mercado que dan preferencia a ciertas tecnologías, y otorgan autonomía corporativa y legitimidad a algunos procesos. En resumen, con este marco se puede explicar la construcción de la gobernanza del cambio climático en la arena internacional.

Antecedentes: el escenario internacional para el cambio climático

El régimen internacional para el cambio climático se construye alrededor de acuerdos tomados del Protocolo de Montreal (1989) que limita, controla y regula la producción, el consumo y el comercio de sustancias dañinas a la capa de ozono. La aceptación mundial de este fenómeno puso en una perspectiva totalmente diferente a los impactos ambientales causados por el hombre.

Las investigaciones sobre la atmósfera y la relación con los gases de efecto invernadero sobre el clima en la década de los 80 eran incipientes. La falta de datos y comprensión del clima global, aunado a la incertidumbre que cuestionaba en ese momento las evidencias de cambios en el clima hicieron necesario contar con mejor investigación y datos científicamente irrefutables. La respuesta fue la creación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, establecido en 1988 por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial para conjuntar la visión científica mundial sobre el estado del conocimiento sobre el cambio climático y sus impactos ambientales y socioeconómicos potenciales. El Panel es el órgano científico que revisa y evalúa la información científica, técnica y socioeconómica más reciente producida a nivel mundial para comprender el cambio climático.

La sinergia causada por este protocolo y el conocimiento científico sólido permitió la celebración de la Convención Marco de Cambio Climático de Naciones Unidas (1992) y desde

entonces su implementación evoluciona a partir de la adopción del protocolo de Kioto (1997), de los mecanismos del Protocolo de Kioto (Desarrollo limpio[3], Comité supervisor de la implementación conjunta, y el Comercio de Emisiones[4]), y del acuerdo de Marrakech[5](2001).

La construcción de la gobernanza internacional para el cambio climático ha avanzado a partir del Protocolo de Kioto con una sofisticación difícil de encontrar en otras áreas del contexto internacional, ya que inclusive considera sistemas de control como el monitoreo, así como el reporte de cada país miembro y lleva la cuenta precisa de las transacciones que se llevan a cabo, a partir de sistemas de registro que supervisan y verifican las acciones de cada uno de los mecanismos del protocolo, determinando su cumplimiento.

Este Protocolo actualmente considera mecanismos de ayuda a partir del Fondo de Adaptación para financiar los proyectos y programas de adaptación y mejoramiento de las capacidades locales instaladas de países en desarrollo signatarios del Protocolo. De la misma manera, facilita el avance e implantación de técnicas que ayudan a incrementar la resilencia de los ecosistemas a los impactos del cambio climático.

Dentro del ámbito internacional, pero con un enfoque político diferente, hay iniciativas subnacionales que pretenden enfrentar los efectos del cambio climático desde otra perspectiva y que actualmente tienen una gobernanza propia: los grupos subnacionales.

Sustentado en la idea de que las decisiones y acciones para el combate al cambio climático se deben hacer a nivel subnacional, el gobernador Arnold Schwarzenegger del Estado de California en los Estados Unidos de América, crea en el 2010 una propuesta conjunta con líderes de Canadá, Nigeria, Francia y Algeria para conformar la coalición de líderes subnacionales de diversos países alrededor del mundo. En octubre del 2010, se firma la Declaratoria "Soluciones Climáticas Globales" antes de la Conferencia de Partes COP15 en Copenague para presionar la toma de acciones más rápidas y con compromisos más fuertes de combate al cambio climático. A partir de esa Declaratoria, se conforma la iniciativa R20 cuyo fin es el de ayudar a gestionar una transición hacia una economía "verde" que permita mejorar el ambiente con la generación

[3] El Mecanismo de Desarrollo Limpio se define a partir del Protocolo de Kioto y se implementa a partir de los proyectos que tengan un componente que induzca la reducción o secuestro de gases de efecto invernadero.

[4] El Comercio de Emisiones permite a los países que generan emisiones que perdonen a partir de emisiones permitidas pero no "utilizadas", a vender ese exceso de capacidad a los países que generan por arriba de sus metas. Con esto se produce un bien en la forma de un bono de reducción o de remoción de emisiones. Ya que el bióxido de carbono es el principal gas de invernadero, se generaliza en comercio de carbono en un mercado.

[5] El Protocolo de Kyoto avanzó lentamente hasta lograr su ratificación el 16 de febrero del 2005. Las complicaciones que enfrenta su implementación estriban en que no sólo debe ser eficaz frente a un problema mundial complicado como lo es el cambio climático; sino que debe ser también políticamente aceptable. En consecuencia, se ha multiplicado el número de grupos y comités creados para supervisar y arbitrar sus diferentes programas, e incluso antes de la ratificación se consideró necesario entablar nuevas negociaciones para especificar las instrucciones sobre la manera de instrumentalizarlo. Estas normas, adoptadas en el 2001 se conocen con el nombre de "Acuerdos de Marrakech".

de empleos y el impulso de políticas y acciones de coordinación y colaboración conjunta para enfrentar los retos del cambio climático.

A un nivel gubernamental menor, pero con una convocatoria mundial, se creó en el 2005 el Grupo de Líderes en el Combate al Cambio Climático en Mega-Ciudades (C40) por iniciativa del alcalde de Londres. Considerando que estas megaciudades contienen alrededor del 50% de la población mundial, consumen el 75% de la energía global y producen el 80% de los gases de efecto invernadero, el grupo se compromete a trabajar en conjunto para reducir las emisiones de carbono urbano y mejorar la adaptación al cambio climático. El C40 está financiada en parte por la Clinton Climate Initiative, se ha reunido dos veces más, en Nueva York (2007), en Seúl (2009) y se reunirá en San Paulo en el 2011.

En una iniciativa de igual nivel gubernamental pero con alcances globales está la Cumbre de Alcaldes, que tuvo su primer encuentro en el 2008 en Singapore. En ese evento se conjuntaron 800 delegados que provenían de diferentes sectores y que trataron temas como la gobernanza efectiva, la planeación urbana, el desarrollo de infraestructura, sustentabilidad ambiental, cambio climático, calidad de vida y competitividad económica.

En el 2009 se llevó a cabo la Cumbre Climática para Alcaldes en Copenague con la cooperación del C40 y del ICLEI[6], y cuyo objetivo fue el buscar soluciones urbanas a problemas climáticos. Esta iniciativa pretendió colocar a las ciudades en la cima de la agenda global climática y envió un mensaje simultáneo a los gobiernos de los Estados, los medios de comunicación y al público en general sobre la importancia de considerar a las ciudades como los sitios óptimos para reducir emisiones.

Como puede apreciarse, existe ya con un proceso de gobernanza instalado y conformado por las diferentes entidades subnacionales y entre los grupos que aglutinan a esos gobiernos. La expresión más importante hasta ahora de esta gobernanza subnacional internacional se dio durante la Cumbre de Alcaldes sobre el Clima del 2010, la cual pretendió establecer claramente a la comunidad internacional el papel relevante que las ciudades tienen en la problemática; así como con el compromiso serio y responsable que las ciudades deben tener ante la mitigación y adaptación al cambio climático. El marco de colaboración a partir del cual actúan todos estos grupos y gobiernos considera los siguientes acuerdos: 1) Acuerdo de los Alcaldes del Mundo y gobiernos locales para la Protección del Clima (2007); 2) La Guía del Clima para Gobiernos Locales (2007); 3) Catálogo Mundial de Copenhague sobre los Compromisos Urbanos para el Combate al Cambio Climático (2009); 4) Llamado de Dunkerque sobre la Acción Climática (2010); 5) Declaratoria de Bonn del Foro de Adaptación de Alcaldes; y 6) Acuerdos de las Cumbres del Clima de los Alcaldes de Ciudades del C40.

[6] ICLEI fue creado como el Consejo Internacional para las Iniciativas Ambientales Locales (International Council for Local Environmental Initiatives) en 1990 contando con el patrocinio del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y de la Unión Internacional de las Autoridades Locales (IULA)

Iniciativas nacionales de gobierno para el cambio climático

De acuerdo con la Semarnat, México desarrolla acciones específicas para hacer frente al cambio climático desde 1992 al adoptar la Convención Marco sobre Cambio Climático ese mismo año y la ratificó en 1993 una vez que fue aprobada por el Senado de la República. De igual forma signa el Protocolo de Kioto en 1997 y lo ratifica en 2000. Al entrar en vigor ambos instrumentos el 21 de marzo 1994 el primero y el 16 de febrero 2005 el segundo, y con base en el artículo 133 Constitucional, se adoptan a la legislación mexicana. Un par de años después, el 25 de mayo 2007, el Presidente de la República presentó públicamente la Estrategia Nacional de Cambio Climático, se conformó la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático y se elaboró el Programa Especial de Cambio Climático 2009 – 2012 en el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2007 – 2012, lo cual demuestra un interés desde el gobierno central para enfrentar esta problemática.

Avanzando con la implementación de la Convención Marco y el Protocolo de Kioto, México ha publicado su Inventario Nacional de Emisión de Gases de Efecto Invernadero (2006) con propuestas metodológicas del Instituto Nacional de Ecología para las entidades federativas del país. La importancia de esto radica en la reducción de la incertidumbre en el cálculo es estas emisiones. Actualmente los datos disponibles en la Semarnat, determinan que México aporta el 1.5% del total mundial (WRI, 2009).

Asímismo cumpliendo con lo acordado, y aunque México no se encuentra dentro del Anexo I, ha presentado ya cuatro informes nacionales de evaluación al Panel Inergubernamental de Cambio Climático; y se le suma a éste el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (actualizado al 2006). Esto cobra importancia ante el Acuerdo de Copenhague[7](2009) en el cual se establece la meta global de no llegar a un calentamiento de más de 2 grados centígrados. De acuerdo con el INE/Semarnat (2009)[8], la línea base de México parte de 709 MtCO2e en 2006, y se incrementa a 772 Mt CO2e en el 2012 y 872 MtCO2e en el 2020.

México ha participado en todas las reuniones de la Convención Marco de Cambio Climático y el año pasado se alcanzó el consenso necesario entre los 192 países signatarios, donde acordaron una "hoja de ruta" para las negociaciones, en la que se establecen los principales problemas que hay que abordar y se fija un plazo ambicioso para concluir el acuerdo: hasta

[7] Para lograr esta meta se requiere una concentración de un máximo de 450 ppm de CO2, de acuerdo al cuarto informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, los países desarrollados (Anexo I), deben reducir sus emisiones entre 25-40% por debajo de los niveles de 1990 en el 2020, y de 80-95% en el 2050. De igual forma, se ha indicado que los países en desarrollo deben lograr una reducción substancial de sus emisiones. Y también se fijó un acuerdo para el financiamiento a corto plazo de 30 mil millones de dólares entre 2010 y 2012; y a mediano plazo de 100 mil millones de dólares anuales en el 2020. (FCCC/CP/2009/L.7 18 December 2009, Draft Decision-/CP.15, http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/l07.pdf)

[8] http://www2.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/Potencial_mitigacion_GEI_Mexico_2020_COP.pdf

finales de 2009. Durante las negociaciones previas a la COP15, se planteó que los países en desarrollo, así como las economías emergentes como México, plantearan sus Acciones Nacionales Adecuadas de Mitigación (Nationally Appropriate Mitigation Actions –NAMAS); las cuales pueden ser de dos tipos: a) financiadas con el apoyo internacional (supported); y b) financiadas con recursos propios de cada país (unsupported). De esta manera México elaboró su propuesta de metas para el 2020 que presentó en Copenhague reduciendo por lo menos el 10% de las emisiones en el 2020 con respecto al "business as usual" (BAU) con recursos propios, transferencia de tecnologías adecuadas y mejoramiento de capacidades (escalable a un 20-30% si se cuenta con ayuda exterior). Esto conlleva el cambio en el corto plazo del marco regulatorio e institucional.

Durante la COP16 de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que se realizará en Cancún, México, se tratará de revertir las tendencias que degradan el medio ambiente con políticas y propuestas innovadoras, además de darle continuidad al Protocolo de Kyoto.

Uno de los objetivos de estas reuniones es evaluar anualmente las acciones resolutivas en materia de cambio climático. Sin embargo, la pasada reunión realizada en Copenhague, careció de acuerdos y los temas se quedaron en declaración de intenciones. Algunos de los asuntos pendientes de Copenhague son homologar a nivel global la reducción del dióxido de carbono (CO_2), determinar qué países y cuánto recibirán de financiamiento para mitigar el calentamiento global, además de buscar un nuevo periodo al Protocolo de Kyoto a partir del 2013. De manera que el desafío para México como organizador, será lograr un conjunto de resoluciones con carácter jurídico vinculante de cada uno de esos puntos pendientes, además establecer un paquete de acciones enfocados a los cuatro puntos medulares de la reunión: 1) mitigación, 2) adaptación, 3) tecnología y 4) financiamiento. De igual forma, se discutirá la propuesta de México sobre la creación de un Fondo de Cambio Climático que incluye el tema de la elevación máxima de la temperatura. En Copenhague hubo muchas promesas hechas, por lo que en Cancún habrá que darles forma e incorporarlas a un esquema multilateral

El punto medular ha sido la definición del segundo periodo de compromiso del Protocolo de Kyoto, que en diciembre de 1997 países industrializados se comprometieron a la reducción de gases efecto invernadero, e implementar los mecanismos de reducción de emisiones por degradación y deforestación (REDD). Aquí es importante aclarar que el Protocolo no expira en el año 2012, sólo concluye el primer periodo de compromisos de éste ya que es un instrumento de validez permanente.

De acuerdo con un comunicado del coordinador de cambio climático del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Kaveh Zahedi, los temas con mayor avance para la Convención en México son los que tienen que ver con la reducción de emisiones, deforestación y degradación del medio ambiente, que incluye el manejo sostenible de los bosques, además de la mitigación. Un tema más se ha agregado recientemente a la agenda y es la adaptación y sus costos. Lo que México busca en la COP16 es un paquete de resoluciones jurídicas con distinto formato y alcance que permita una aprobación conjunta.

Para completar el proceso de construcción de la gobernanza en México, el INE/Semarnat mediante un acuerdo de cooperación con la Agencia Japonesa de Ayuda Exterior (JICA) ha mejorado las capacidades locales instaladas en cuanto a la comprensión y enfoque de la problemática emanada del cambio climático; y ha contribuido con el diseño de los términos de referencia para el desarrollo de planes estatales de acción de mitigación y adaptación al cambio climático. A la fecha se han concluido el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México[9] (PACCM) 2008-2012. y el Programa Veracruzano de Cambio Climático[10] (PVCC) se presentó en agosto de 2009 y se espera que queden concluidos para el 2010 el Programa de Acción ante el Cambio Climático del estado de Nuevo León y la Estrategia de Mitigación y Adaptación del Estado de Puebla ante el Cambio Climático[11]. En proceso se encuentran 25 estados, 13 de los cuales son costeros.

En resumen, y de acuerdo con lo que postulan Smith *et al.* (2010), si bien la gobernanza requiere del reconocimiento de los procesos y actores que intervienen en ellos, en México es innegable el reconocimiento al liderazgo federal para abordar con propiedad el tema del cambio climático, de manera que se reconocen tres elementos: a) la iniciativa de diseñar una planificación estratégica que provea de metas generales, objetivos y prioridades para el programa; b) una entidad gubernamental encargada de proporcionar el sustento informativo requerido para enfrentar los problemas del cambio climático y a la vez vislumbrar opciones de adaptación; y c) un programa de investigación para la adaptación para asegurar que se le da el énfasis adecuado dentro de los esfuerzos de investigación del cambio climático.

Consideraciones para la gobernanza subnacional para el cambio climático

Las acciones subnacionales son clave para el éxito en la mitigación y adaptación al cambio climático. La implementación de políticas y programas a nivel local permiten abordar problemáticas, efectos y necesidades específicas en términos de vulnerabilidad, riesgo, incertidumbre, y costos, todo ello crucial para lograr la eficiencia, eficacia y efectividad requeridas.

Desde hace una década, han surgido iniciativas paralelas y en diferentes escalas impulsadas por entidades no gubernamentales al interior de los estados de México. Su objetivo en general ha sido la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a través de acciones puntuales en localidades, o bien con acciones de responsabilidad corporativa y con esquemas de participación voluntaria, las cuales han tenido implicaciones significativas, pero todavía insuficientes como se ha visto al no poder alcanzar la meta de 350 partes de dióxido de carbono por millón, ya que actualmente el mundo tiene 387.41 ppm[12].

[9] http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=531
[10] http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/e2008a_pvccv2.pdf
[11] http://cambio_climatico.ine.gob.mx/descargas/peacc_ine_junio2010.pdf

La importancia de que esas iniciativas tengan éxito permite comprender el alcance de esa gobernanza internacional a nivel interno y subnacional; sin embargo dichas iniciativas pueden reducir emisiones independientemente del éxito o fracaso de ese régimen y de todas maneras contribuir en el diseño de la gobernanza local, ya que modulan al mismo tiempo la comprensión y enfoque que la población y los actores políticos tienen sobre el cambio climático.

Conforme se han visto los rumbos que llevan las negociaciones hacia el 2012 y las expectativas que surgen de los resultados de las COP15 (Copenague) y próximamente de la COP16 (Cancún), la gobernanza construida a nivel subnacional tendrá un papel crítico en todo el proceso y sobre todo en los esfuerzos encaminados a promover y financiar más acciones de mitigación y/o comenzar fuertemente los de adaptación a los efectos del cambio climático.

Una mejor comprensión de la problemática es la base para la participación conjunta de todas las partes involucradas y el establecimiento de vínculos que relacionen de manera transversal a los Estados, las regiones, las localidades y los diferentes sectores. Esta comprensión del cómo se llevan a cabo las acciones, la designación de responsabilidades, la coordinación de esfuerzos, la promoción de la igualdad, la rendición de cuentas y la participación cualitativa en el manejo integral del cambio climático es en conjunto lo que conforma una gobernanza costera.

De igual forma, estos puntos son también cruciales para establecer protocolos de investigación y avanzar o evaluar las diferentes propuestas para el avance, evolución y hasta la construcción de la gobernanza presente y futura para la mitigación y adaptación local.

La gobernanza –sobre todo la costera- para el cambio climático es crucial para sensibilizar al público sobre el constante incremento de posibilidades de escenarios y actores involucrados en el proceso de diseño de las políticas públicas que aborden de la mejor manera los efectos, riesgos y vulnerabilidades costeras. Por lo que la gobernanza demanda que sean considerados todos los actores, usuarios y localidades más allá del interés específico del gobierno central, y se les incluya en ese proceso de toma de decisiones.

En el caso particular de la gobernanza costera, ésta debe también considerar la relación entre el estado y el mercado, reconociendo la complejidad de los objetivos de las políticas públicas, e incluyendo los objetivos gubernamentales de cada uno de los órdenes de gobierno, para transformar los sistemas ambiente-sociedad-tecnología. Todo esto, requiere de esfuerzos coordinados, así como la creación o el cambio de las instituciones.

Por otra parte, es importante subrayar que las jerarquías estatales establecen una lucha de poder que dirige absolutamente todos los resultados de la política. El asunto aquí es que en este caso no aplica el principio de la resilencia de manera que soporten los embates del mercado;

[12] El Panel Intergubernamental de Cambio Climático en el 2007 establece que los países desarrollados deben reducir sus emisiones en un rango de 25-40% debajo de los niveles de 1990 para el 2020; y entre el 80-95% por debajo de los niveles de 1990 para el 2050, de manera que se puedan estabilizar los gases de invernadero en la atmósfera en un rango de 450 ppm de CO_2 equivalente. Esta concentración provee sólo una oportunidad burda para tratar de que la temperatura global no se eleve en más de 2 grados centígrados promedio. Estudios de paleoclima han establecido un máximo de 350 ppm como un punto máximo seguro es mucho mejor para evitar llegar a los escenarios más catastróficos.

por lo que en la zona costera, donde la complejidad es muy grande, la gobernanza debe darse fuera de las jerarquías gubernamentales y ver más allá de los incentivos de mercado.

Toda gobernanza, sobre todo en la zona costera, requiere de una dinámica que le permita adaptarse constantemente a procesos ambientales, a presiones socioeconómicas, a decisiones políticas y a la incertidumbre de los efectos del cambio climático. Es por esto que esta gobernanza debe trabajar en redes dinámicas que optimicen y potencien su capacidad en todos sentidos y que abarque desde instrumentos de política dura y marcos de regulación inflexibles, hasta procesos de coordinación, alianzas, y medidas de ley suave. También se debe reconocer que las redes de trabajo se construyen alrededor de las secretarías y direcciones gubernamentales, y son responsables de un sector el cual se encarga de formular e implementar las políticas públicas. En esta gobernanza costera, los diferentes órdenes de gobierno pueden participar considerando la distribución transversal e intergubernamental de todas las partes involucradas en esa costa, teniendo en cuenta que esas partes también tendrán sus propias redes de trabajo, cada una con sus propias historias, lógicas, intereses y métodos preferidos de intervención.

Es muy importante recalcar que existe una gran diferencia entre la política y la burocracia, enfatizando que la buena gobernanza evitar tener procesos engorrosos dentro de ningún aparato gubernamental. Los intereses gubernamentales costeros, deben estar definidos, asegurados y mantenidos en formas totalmente divergentes y heterogéneas propias de los procesos de gobernanza. De esta manera, unidades funcionales administrativamente distintas pueden construir a partir de su propia experiencia y redes tanto dentro como fuera del sistema gubernamental. Cada una con diferentes líneas para los diferentes sectores (público, privado y social), y considerando multidisciplinariedad para contar con fuentes propias de información y procesos de toma de decisiones adecuados.

Entre más pequeña es la escala de la gobernanza construida, mayor importancia cobra el papel de los políticos y burócratas a nivel local –entiéndase municipios, ejidos y comunidades- debido a la discrecionalidad con la que frecuentemente toman decisiones. Este es el obstáculo más importante a vencer cuando se trata de implantar medidas de acción provenientes de acuerdos internacionales para el cambio climático y que en muchas ocasiones dan los resultados esperados, ya que están modulados por la interacción de las realidades de la política burocrática local con beneficiarios políticos preasignados.

Esto es, las interdependencias que se generan en la zona costera plantean un escenario no linear, dinámico y complejo a partir del cual es muy difícil predecir los resultados políticos y es posible que los objetivos iniciales se pierdan a pesar de tener una gobernanza subnacional fuerte. Es por esto que se debe trabajar a nivel local a través de esas redes y es necesario negociar para establecer compromisos, con ganancias diferidas entre las partes, formar alianzas y renovar compromisos.

Lo anterior abre la pregunta sobre el tipo de flexibilidad o de proceso adaptativo que la gobernanza necesita para abordar y considerar el rango de complejidades e incertidumbres que participan con los problemas y políticas ambientales, científicas y tecnológicas. Por ejemplo, el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático cuenta con una metodología base, que

constantemente debe tener la capacidad de adaptarse para analizar información y datos, nuevas tecnologías, evaluar escenarios para que al final pueda determinar los derroteros, emitir decisiones, y proporcional las guías para que todos los países y en general la comunidad internacional avance en el combate al cambio climático.

La problemática climática plantea retos antes no imaginables. Si bien los procesos a nivel subnacional deben tener fundamentos locales para la toma de decisiones y la implantación de acciones; es también importante que la gobernanza establezca acciones de arriba hacia abajo, sobre todo en un sistema centralista como el que se vive en México donde los Estados y Municipios son autónomos pero no soberanos, por lo que dependen de las decisiones federales en diferentes contextos. Es por esto que la gobernanza múltiple está surgiendo como respuesta a la complejidad implícita en el tema, pero también como posibilidad de abordar y producir resultados efectivos a nivel local sin que necesariamente sean decisiones de una sola entidad gubernamental.

El concepto de gobernanza múltiple (Bache y Flinders, 2004; Bache, y Chapman, 2008) emergió del estudio de instituciones supra-nacionales tales como la Unión Europea, así como de acciones de política a escalas subnacionales, y de las relaciones intergubernamentales, explorando como los arreglos que hace la gobernanza en diferentes niveles territoriales se interrelacionan e interactúan entre sí.

Esos arreglos han sido reconocidos por tener una importancia particular para los problemas ambientales, cuyas causas y manifestaciones frecuentemente atraviezan escalas locales y globales (Jordan y Lenschow, 2010). Aunque argumentos similares han sido hechos en otros campos, ahora puede ser aplicado a los efectos del cambio climático por ejemplo en materia de salud por la dispersión de vectores y patógenos, plagas y epidemias que provocan las migraciones climáticas. Es por esto que la gobernanza múltiple, independiente, flexible y adaptativa se propone como la propuesta más adecuada para los estudiosos del fenómeno climático.

Esta gobernanza múltiple enfrenta retos de coordinación, operación y rendimiento de cuentas cuando existen redes de redes de actores gubernamentales, sociales y privados, operando transversalmente en diferentes niveles gubernamentales, pero sobre todo territoriales. La posibilidad de intervención en un territorio dado, inicia automáticamente con los retos de la gobernanza general, pero opera en un contexto limitado y a la vez facilitado por otros niveles de gobernanzas, donde el control gubernamental se dispersa, existen interacciones complejas y hay sobrelapamiento de jurisdicciones y competencias. Este es el caso de la zona costera.

De alguna forma, la gobernanza múltiple y su operación multiescalar podría sugerir una disminución del poder y capacidad del gobierno. Esto en México no puede considerarse así ya que el fortalecimiento de las capacidades para el cambio climático está iniciando en paralelo –aunque de manera diferenciada- en todos los sectores y niveles. Y porque la expresión de la democracia y la responsabilidad ciudadana que conlleva no es suficiente todavía como para desplazar o responsabilizar a alguien de llevar a cabo acciones sin el apoyo gubernamental, mucho menos para enfrentar todos los impactos climáticos.

Un par de elementos de suma importancia en la gobernanza múltiple ante el cambio climático son el riesgo y la incertidumbre. El riesgo ha sido definido como un producto de las consecuencias y la probabilidad de que algo salga mal, y se ha convertido en el marco clave para tratar los retos de la ciencia, la tecnología y el ambiente. Los intentos para evaluar, predecir y prevenir riesgos, y ser determinados y sopesados por expertos, son parte de los procedimientos modernos de la gobernanza.

Estos procedimientos reducen la complejidad inherente, la dinámica de la incertidumbre del mundo real, la co-evolución social, así como los procesos tecnológicos y ecológicos, hasta llegar a un reducido número de probabilidades calculadas (Wynne 2002; Jasanoff 1993, 1999). Sin embargo, en este proceso se ignoran otras dimensiones clave de la incertidumbre, rayando en ocasiones de la incertidumbre a la ambigüedad, en donde hay muchos marcos posibles para analizar los problemas involucrados. Y esa ignorancia hace poco visibles las fronteras entre los múltiples actores que coexisten en diversos sitios locales, regionales y globales, con dinámicas entrelazadas con tecnologías y dinámicas ambientales en contextos de incertidumbre y diferentes niveles de conocimiento. Sin claridad para esas fronteras, la comprensión de los procesos y su expresión territorial es muy difícil.

Además de los procesos adaptativos de la gobernanza vistos arriba, es importante considerar también los enfoques deliberativos y reflexivos, donde se puede plantear la pregunta sobre las metas y los resultados. Partiendo desde el neoliberalismo del primer enfoque y orientándose por el constructivismo hacia el conocimiento y las políticas del conocimiento, la gobernanza es observada como la construcción de un problema compartido pero con soluciones colectivas, de manera que es importante entender el objetivo principal y las prescripciones en las que se orienta cada gobernanza para abordar la problemática de manera adecuada. La tabla 1 presenta una comparación de los enfoques de la gobernanza.

Pero como ya se discutió anteriormente, cada enfoque para cada caso puede ser tratado y entendidos a través de diversos énfasis a través de los cuales las interacciones entre los actores en los procesos de gobernanza pueden ser comprendidos. Por ejemplo en términos de de interacciones entre el Estado, las corporaciones y las organizaciones sociales; en términos de redes

Tabla 1. Comparación de la gobernanza adaptativa, deliberativa y reflexiva (Fuente: Leach *et al*., 2007).

Enfoque de la gobernanza	Objetivo principal	Prescripciones clave
Adaptativa	Sistemas dinámicos (no estáticos). Efectos accidentales. Incertidumbre y complejidad.	Apreciaciones amplias. Precaución. Adaptación de los compromisos.
Deliberativa	Exclusión del poder. Procesos discursivos. Narrativa.	Participación más incluyente. Participación pública transparente. Prioriza el aprendizaje social.
Reflexiva	Contingente. Construcción social. Enmarcada en el poder.	Humilde sobre las bases de la acción. Reflexiva ante el reclamo del conocimiento. Abierta a la apreciación.

de gobernanza que involucran actores e interacciones múltiples con fronteras difusas, y en términos de adaptación, con esos procesos deliberativos y reflexivos en los cuales el conocimiento de las políticas es central. Para resumir lo anterior se puede hacer una comparación entre estas propuestas (tabla 2).

Muchas de las formas de organización y de poder resaltadas en la primera columna de la tabla 2 y se aplica a Estados, organizaciones internacionales y corporaciones, así como al poder material, la política económica, y a las redes sigue siendo en extremo relevante e influyente cuando se trata del cambio climático y se tienen problemas de numerosos sectores como ambiente, salud, y agricultura. Para diferentes problemas y casos, los elementos analizados en cada columna de esa tabla pueden ser aplicados.

Tabla 2. Enfoque diferenciales de los enfoques y énfasis de la gobernanza (Fuente: Leach *et al.,* 2007).

Énfasis/Enfoque	Gobernanza incluyente de las políticas Estado-Sociedad-Corporaciones	Gobernanza de redes	Gobernanza adaptativa, deliberativa y reflexiva
Entidades y espacios y territorios	Organizaciones selectas y grupos de interés (estados, ONGs, movimientos sociales, corporaciones).	Espacios y escenarios formales. Actores multiples. Fronteras difusas. Interacciones de redes a través de múltiples escalas, espacios.	Cambio de solidaridades e inter-dependencias. Renegociaciones institucionales a través de la adaptación y la deliberación marginal. Espacios breves e interinstitucionales.
Énfasis a partir de la teoría social	Estructuras, reglas formales y códigos. Relaciones basadas en lo otorgado (e.g. soberanía, y credibilidad asumida).	Auto-orientación. Interacción con burocracias. Reglas y normas informales. Estructuración de instituciones a través de la práctica.	Instituciones, agencias y relaciones negociadas a través de la adaptación y la deliberación.
Poder y conocimiento	Poder como material de economía política. Soberanía. Centralismo. Contienda de intereses politicos. Conocimiento para sustentar la toma de decisiones. Objetiva. Evidencias y ciencia robusta. Experiencia constituida a través de canales oficiales y jerarquías.	Poder como se vaya dispersando y operando a través de redes de poder 'para' y de poder 'sobre'.	Poder/conocimiento tal y como se ha co-constituido a través del discurso, de marcos, de conocimiento múltiple y de formas de experiencias. Incluye a los ciudadanos, empresarios y políticos. Co-construcción de conocimientos don procesos institucionales y de gobernanza.
Tratando la incertidumbre	Planos y mapas. Se asume la certidumbre y estabilidad en los sistemas sociotécnicos y ambientales. Enfoque técnico al riesgo.	Interacciones y contingencias múltiples en los procesos políticos reconociendo la incertidumbre en el proceso de gobernanza y de sus resultados. Poca atención a la dinámica de la relación tecnología- ecología-incertidumbre	Incertidumbre radical debido a las dinámicas socio-técnico-ambientales (gobernanza adaptativa) y la interacción de los marcos de la gobernanza reflexiva. Aprendizaje, argumentación, disertación

El enfoque multidimensional y plural propuesto por los autores requiere que se entienda y se implemente la gobernanza considerando explícitamente la contribución de cada elemento, cada parte y cada proceso dentro de la estructura que tenga esa gobernanza, y que se comprenda cómo funciona y quién participa en ésta y por quién es articulada.

Por ejemplo, la política económica que otorga el poder a algunas instancias gubernamentales puede limitar el ámbito de ciertas ONG o inclusive de enfoques divergentes a sus propios intereses. En otros casos, lo que puede comenzar como una red fluida de creación de sinergias y vínculos con expertos, ciudadanos y actores internacionales –como se ve que está sucediendo en el caso del cambio climático- puede ser que con el paso del tiempo se consolide en bloques organizados y unidos a un poder material por ejemplo de subastadores de carbono.

En el caso del cambio climático y en específico para la zona costera, la incertidumbre y el riesgo obliga a considerar la interacción entre los elementos de las tres columnas para construir la gobernanza requerida. De manera específica, los arreglos de gobernanza emergen de historias y del contexto particular que las ve nacer, influenciadas por un legado de historias políticas locales, nacionales o globales. Ese contingente de interacciones es la clave para dar forma las clases de interacciones que se generan entre actores en los procesos políticos o regulatorios multi-escala y dinámicos (Wilks y Wright, 1987).

La Gobernanza en la zona costera

A nivel doméstico, cada Estado o país costero tiene toda la posibilidad de generar una gobernanza que le permita enfrentar los efectos por los cambios del clima. La complejidad de la zona costera requiere de principio el establecimiento de un manejo integrado que a su vez sea el sustento de la propia gobernanza.

El manejo integrado de la zona costera requiere de la participación de todos los actores y usuarios que tengan interés en la franja denominada como costa. Uno de sus objetivos centrales es el alcanzar el desarrollo sostenible considerando los procesos naturales que tienen lugar en los ecosistemas costero-marinos, reconociendo la complejidad e interacciones entre ecosistemas, los vínculos entre las actividades humanas y la salud de los ecosistemas, así como la necesidad de reducir el impacto humano en la costa. Si se consideran estos elementos, se resuelven los conflictos de uso y se sensibiliza ambientalmente a los propios usuarios y actores costeros y marinos, permitiendo la planeación estratégica de la zona a partir de un marco político y regulatorio adecuados.

De acuerdo con los Principios de Lisboa para la gobernanza sostenible de los océanos (Costanza *et al.*, 1998), la clave para alcanzar esa gobernanza es un enfoque de manejo integral que incluya diferentes disciplinas, grupos de usuarios, actores, sectores y generaciones; y que considere el paradigma del manejo adaptativo, donde el diseño de políticas sea un ejercicio interactivo que sea capaz de acomodar la incertidumbre, así como la vulnerabilidad y el riesgo. En este esquema, estos autores establecen seis principios básicos para los ambientes costero-marinos:

Principio 1: Responsabilidad en la gobernanza para el acceso, explotación y uso de los recursos y ecosistemas, desarrollando responsabilidades e incentivos individuales y corporativos, económicamente eficientes, socialmente justos y ambientalmente sostenibles que permitan actuar a tiempo en acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

Principio 2: Escalas adecuadas en la gobernanza se construyen cuando se reconocen la multiplicidad de escalas, el contar con información relevante, completa, expedita, actualizada, y a tiempo, que permita una respuesta rápida y eficiente y pueda funcionar de manera integrada internalizando costos y beneficios de aplicar en la escala adecuada acciones para el cambio climático.

Principio 3: Gobernanza con precaución ante incertidumbres, riesgos y vulnerabilidades de la zona costera ante los efectos del cambio climático. La falta de evidencias *in situ*, debe ser suplida por la urgencia de reconocer casos similares y diseñar políticas e implementar acciones para la adaptación al cambio climático.

Principio 4: Manejo adaptativo es clave para establecer una buena gobernanza en una zona donde la incertidumbre siempre ha existido y se exacerba ante los modelos de pronóstico del cambio climático. Los cambios ambientales que se están llevando a cabo en todas las costas del planeta, deben servir de casos de estudio y considerar sus experiencias para aplicarlas a nivel local en una constante adaptación de medidas de manejo.

Principio 5: Los costos y beneficios tanto internos como externos, incluyendo sociales, políticos y económicos de las decisiones alternativas sobre las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático deben ser identificados y distribuidos dentro de la gobernanza de la zona costero-marina entre todos sus usuarios y actores.

Principio 6: Una buena gobernanza requiere de la participación de los usuarios y actores de la zona costera, los cuales deberán ser involucrados en la formulación e implementación de las decisiones que conciernan a enfrentar los efectos del cambio climático. Este principio es vital ya que permite tener un proceso creíble, representativo y validado democráticamente; y a su vez contribuye en el diseño e implementación de políticas de responsabilidades compartidas y diferenciadas.

Además de estos principios, es importante reconocer que la gobernanza depende mucho de lo centralizado que esté el gobierno de un Estado, ya que en eso estriba el diseño y el grado de implementación de políticas así como el control que se ejerza. Entre mayor centralismo exista, mayor control se ejerce y menor gobernanza existe, ya que el gobierno está presente.

Uno de los principios del manejo costero integrado es que debe construirse de abajo hacia arriba, considerando a todos los usuarios y actores de la zona costera, líneas base, capacidades institucionales locales instaladas, marcos regulatorios existentes, factores de riesgo y vulnerabilidad, y ecosistemas, recursos y condiciones ambientales preponderantes. La gobernanza es por ende –en capacidades y posibilidades- diferente en cada caso y su construcción y progreso dependerá de las características y circunstancias que se enfrenten.

Sin embargo, en México la construcción de iniciativas de manejo costero se hace desde diferentes ámbitos y tomando en cuenta las particularidades que enfrente cada costa; así como las ventanas de oportunidad que en las agendas políticas permitan el permear iniciativas que conlleven a una mejor gobernanza. El tema de gobernanza costera en el país ha evolucionado durante la primera década del siglo XXI y arrojó dos productos importantes: 1) la Política Nacional para el Desarrollo Sustentable de los Océanos y Costas de México[13], que presenta los lineamientos a seguir para enfrentar el reto costero en tres mares diferentes (Atlántico, Pacífico y Caribe); y 2) la Red Mexicana de Manejo Costero Integrado, que conjunta investigadores de primer nivel en diferentes disciplinas del conocimiento y que intercambian sus experiencias con servidores públicos y organizaciones no gubernamentales.

El resultado actual deriva en la construcción de una comunidad epistemológica mexicana que promueve los temas costeros, actúa como monitor de los aconteceres en todas las costas del país y permite la interacción y colaboración entre sus miembros, siempre con el objetivo de velar por la zona costera, construyendo la gobernanza de la zona costera de México.

Por otra parte, los ejercicios de ordenamientos ecológico-marinos del Mar de Cortés y Golfo de México pretenden contribuir a la gobernanza de las costas de las entidades federativas costeras que se consideren dentro del polígono del ordenamiento en cuestión.

Los modelos de ordenamiento marinos proponen zonas de influencia costera considerando la primera y segunda filas de municipios. Estas zonas no están sustentadas por ninguna ley, ya que en México la única definición de zona costera está expresada en la Ley General de Bienes Nacionales y que con precisión llama la zona federal marítimo-terrestre y las áreas anexas a ésta. Aún así, el modelo decretado para cada caso tiene un carácter obligatorio y vinculante para todas las autoridades dentro del polígono que considere ese decreto. En el caso de que los municipios involucrados tengan decretado y publicado oficialmente su propio ordenamiento ecológico municipal, entonces ese ordenamiento regional tendrá un carácter inductivo, ya que por el principio de subsidariedad y el artículo 115 constitucional, es el municipio el que tiene jurisdicción y atribuciones para con su territorio.

A nivel regional también, se tiene un ejemplo de gobernanza costera en México en el que se comparten ecosistemas y recursos, así como la problemática y retos que enfrenta. La Península de Yucatán es una región con problemas similares y/o compartidos geológica, hidrológica, ambiental, étnica y sectorialmente, por lo que los tres estados requieren enfoques y propuestas de manejo costero integrales.

Por otra parte, la gobernanza surge a nivel local cuando existen principios y acciones que refuercen los procesos democráticos de participación pública. Inclusive, es importante reconocer que actualmente esta gobernanza debe tomar en cuenta poderes supra-locales (como por ejemplo acuerdos regionales como los tomados entre los tres estados de la península de Yucatán en materia de cambio climático); así como los poderes sub-locales (como los ordenamientos costeros que incluyen vulnerabilidad ante el cambio climático); y que en la suma debe incluirse

[13] http://www.semarnat.gob.mx/dgpairs/pdf/oceanos_costas.pdf.

también a otro poder que es externo y transversal, constituido por una comunidad epistemológica que trabaja a través de una Red especializada (como la Red Mexicana de Manejo Integrado de la Zona Costero y Marina) y que atiende la problemática del Cambio Climático.

La península de Yucatán tiene el primer modelo de ordenamiento costero del país en el estado de Quintana Roo con el corredor Cancún-Tulúm publicado en 1994 y cuyo Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial fue publicado en el Diario Oficial del Estado el 16 de noviembre del 2001. Este ordenamiento resultó de un ejercicio de gobierno que conjuntó a diferentes sectores incluyendo a los diferentes niveles de gobierno, académicos, sociedad civil organizada y empresarios, para orientar las inversiones en la costa quintanarroense que permitieran a su vez el cuidado al ambiente. Si bien el programa de este ordenamiento se publicó 7 años después, el ejercicio resultó con los años en una gobernanza que ya no espera que el gobierno –de cualquier nivel- atienda los problemas costeros que en escalada enfrenta ese estado, sino que la comunidad interesada en la zona costera genera espacios de participación y consulta pública, organiza acciones y genera sinergias entre sus miembros.

Por su parte, el estado de Yucatán cuenta con una comunidad académica de primer nivel, con comunicación y colaboración entre sus miembros, lo que ha resultado en una costa muy bien estudiada que permite la toma de decisiones informadas.

Otro elemento que se suma a la gobernanza yucateca es la interacción entre los distintos niveles de gobierno con los diferentes sectores que conforman el universo de actores y jurisdicciones que se conjuntan en la zona costera. Aunado a lo anterior, el estado cuenta ya con un Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio Costero del Estado de Yucatán decretado y publicado el 31 de julio del 2007, que fue diseñado a través de numerosas consultas públicas y que coadyuvó con la construcción de la gobernanza costera de ese estado.

La construcción del modelo de ordenamiento costero permitió a Yucatán contar con un marco de referencia a partir del cual surgió el interés de los gobiernos municipales y estatal, impulsó la participación de organizaciones no gubernamentales e interesó al sector privado con inversiones en la costa.

Esta gobernanza se encuentra actualmente muy activa en el proceso de revisión e implementación del ordenamiento costero, y recientemente el 18 de junio del 2010 publicó en el Diario Oficial de la Federación el aviso de consulta pública del Proyecto de Norma Mexicana PROY-NMX-AA-157-SCFI-2010, "Requisitos y especificaciones de sustentabilidad para la selección del sitio, diseño, construcción, operación y abandono del sitio de desarrollos inmobiliarios turísticos en la zona costera de la península de Yucatán.

Por su parte Campeche ha hecho también esfuerzos por construir una gobernanza costera. Esta surge a partir de la comunidad académica que además de generar datos e información especializada, ha logrado diseñar propuestas de manejo costero integrado, ha coordinado esfuerzos inter-institucionales y promovido estudios para el ordenamiento costero generando un modelo que actualmente será revisado y actualizado.

En Campeche se cuenta con una larga tradición de colaboración interinstitucional, lo que permite permear ideas y discutirlas en espacios creados de manera específica para esto. Ac-

tualmente, la gobernanza costera en Campeche se centra en tres problemáticas específicas: a) la contaminación de las aguas costeras por fuentes terrestres; b) la erosión costera y pérdida de línea de costa; y c) los efectos del cambio climático y la elevación el nivel medio del mar en las costas del estado. Trabajando en red de redes, para cada uno de estos problemas se han creado grupos específicos de trabajo donde se diseñan acciones y se acuerdan agendas conjuntas entre los actores y usuarios involucrados en cada caso.

A partir de las gobernanzas estatales surge la gobernanza regional para la península de Yucatán. Esta gobernanza costera regional se inició a partir de la interacción de las comunidades académicas de cada estado de la península. Las colaboraciones en proyectos de investigación, la publicación coordinada, y el intercambio de experiencias entre los investigadores de diferentes disciplinas e instituciones ha permitido conformar una fuente de opinión respetada, escuchada y solicitada para los temas costeros en la región. De manera que su participación cada vez más activa y frecuente en diversos foros y reuniones de toma de decisión, generó la sinergia necesaria para que esta interacción académica escalase hacia los sectores gubernamental y privado, estimulara la participación activa de más interesados y comenzara a construir agendas de trabajo comunes y de interés para los tres estados.

La gobernanza regional para la península de Yucatán requiere el comprender el contexto costero-marino que se tiene, conocer la información básica ambiental, social, económica y tecnológica de la región para poder construir los procesos requeridos para generar acciones conjuntas de combate a los efectos del cambio climático.

En términos de riesgo e incertidumbre, la Península se encuentra en el camino de numerosos eventos hidrometeorológicos de diferentes intensidades que pueden poner en riesgo a más de dos millones de habitantes en las costas.

La península de Yucatán tiene en total 3 708 987 habitantes (INEGI, 2010) (754 730 Campeche, 1 818 948 Yucatán, 1 135 309 Quintana Roo), de los cuales el 70% vive en una franja costera de menos de 50 km. Las poblaciones más grandes de Campeche están ubicadas en la costa; y con los otros dos estados comparten el hecho de tener poblaciones emplazadas en islas (INEGI, 2010): Isla del Carmen, Cam. (199 988 habitantes), Cozumel, Quintana Roo (60 091 habitantes), Isla Mujeres, Quintana Roo (11 313 habitantes), y Holbox, Yuc. (810 habitantes). Las dos ciudades costeras más grandes de la Península son la ciudad de Mérida en Yucatán ubicada a 32 km de la costa y presenta la mayor densidad de población con 910 habitantes por km^2 (781 146 habitantes). Mientras que en Quintana Roo se distinguen tres localidades por tener el mayor números de habitantes, Cancún, Chetumal y Playa del Carmen, que concentran 763 909 residentes, equivalente a 67.3% de la población estatal (INEGI, 2006).

La economía de la Península está dividida entre el turismo, el manejo portuario y la explotación petrolera. El arribo de turistas en cruceros a Quintana Roo, la oportunidad de Pto. Morelos y Progreso de convertirse en puertos pivotales, y el PIB que deja la actividad petrolera en Campeche, son elementos cruciales para la construcción de la gobernanza regional.

La Península cuenta con 20 puertos; 8 en Campeche (Seybaplaya, Cayo Arcas, Laguna Azul, Lerma, Champotón, San Francisco, Isla Arena y Sabancuy); 4 en Yucatán (Progreso, Celestún,

Holbox, Ría Lagartos); 8 en Quintana Roo (Cozumel, Isla Mujeres, Puerto Morelos, Calica, Playa del Carmen, Puerto Juárez, Punta Sam, Chetumal). De acuerdo con la Dirección General de Puertos y Marina Mercante (citado por Martner Peyrelongue, 2002), los puertos de la Península con mayor movimiento de volumen de carga en contenedores son Puerto Progreso en Yucatán (59,199 TEU[14]) y Puerto Morelos en Q. Roo (7,207 TEUs). Mientras que en Campeche los Puertos de Lerma, Cayo Arcas y Laguna Azul de Isla del Carmen reciben cargamentos de hidrocarburos y sus derivados. El Muelle Castillo Bretón en Lerma, es operado por PEMEX, y ahí se ubica una terminal especializada en el manejo de fluidos (gasolinas y derivados del petróleo), en el cual la descarga se realiza a través de bombeo directo. El puerto de Laguna Azul es empleado casi en su totalidad por PEMEX para cabotaje, en sus actividades de abastecimiento y de movimiento de personal. También importa insumos catalogados como carga general suelta, tubería, estructuras metálicas, botes, cuerdas, etc., aunque se mantiene el movimiento de productos pesqueros, especialmente, el camarón. Y Cayo Arcas funciona como terminal de bombeo de PEMEX, con dos remolcadores 2 monoboyas y una torre fija.

Para enfrentar el cambio climático, es necesario que la gobernanza de la Península considere las interacciones entre los recursos naturales base como el agua, contrastado con el número de habitantes y el PIB. De igual forma, el conocimiento que se tenga del estado del recurso agua, permitirá detectar anomalías que conlleven políticas preventivas, con acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

La Península de Yucatán se encuentra en la región Hidrológico-Administrativa XII (Conagua, 2008 y 2010). Estas regiones están definidas conforme a la delimitación de las cuencas del país, y están constituidas por municipios completos. Los municipios que conforman cada una de esas Regiones Hidrológico-Administrativas se indican en el Acuerdo de Circunscripción Territorial de los Organismos de Cuenca publicados el 12 de diciembre de 2007 en el DOF. De acuerdo con Conagua (2008) la península tiene 28 habitantes por kilómetro cuadrado y genera el 4.22 por ciento del PIB nacional (Campeche 1.22, Yucatán 1.41 y Q. Roo 1.58).

Las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas, correspondiéndole tres a la Península: Grijalva-Usumacinta (30), Yucatán Oeste (31), Yucatán Norte (32), Yucatán Este (33). De acuerdo con los valores históricos, la disponibilidad natural media total es de 29 645 mill.m^3/año; la disponibilidad natural media per cápita 2007 es de 7,603 m^3/hab/año; el escurrimiento natural medio superficial total es de 4 329 mill.m3/año; y la recarga media total de acuíferos es de 25 316 mill.m^3/año (Conagua, 2008).

De acuerdo con datos del Meteorológico Nacional (citado por Conagua, 2008), la precipitación histórica anual en Campeche es de 1 336.8mm; en Quintana Roo de 1 234.4mm; y en Yucatán de 1 066.6mm. Sin embargo, Quintana Roo se encontró dentro de los estados que

[14] TEU (twenty equivalent unit) es la unidad de equivalencia que corresponde a un contenedor de 20 pies de largo. Es aceptada universalmente tanto para conocer la capacidad de carga de los buques y demás medios de transporte como para medir los volúmenes de carga en contenedores que se manejan en puertos y terminales intermodales.

recibieron precipitaciones por encima de la normal climatológica; mientras que Campeche registró lluvias por debajo de lo normal. Es más, en el sureste del país se desarrolló una nueva región con clasificación (D0-D1) en el sur y el este de Chiapas, así como otra nueva área (D0) sobre el territorio de Campeche. Al este de la península de Yucatán, las condiciones de sequía moderada se agravaron a la clasificación de severa (D1-D2).

En cuanto al agua superficial, dos terceras partes del escurrimiento superficial nacional pertenece a siete ríos entre los que se encuentra el Grijalva-Usumacinta que presenta una longitud de 1 521 km, una escorrentía de 115 136 millones de metros cúbicos/año, y una superficie de cuenca de 85 553 km^2). México comparte ocho cuencas en total con los países vecinos, tres de ellas pertenecientes a la península de Yucatán: con Guatemala (Grijalva-Usumacinta, y Candelaria) y una con Belice y Guatemala (Río Hondo). La calidad del agua en los cuatro acuíferos de la Península es buena, no se encuentran sobre-explotados y uno solo presenta algunos indicios de salinización leve (Conagua, 2008).

De acuerdo con datos proporcionados por la Conagua (2008), la calidad bacteriológica del agua en las playas de los destinos turísticos cumple en un 80-100 por ciento en los tres estados de la Península. Sin embargo, estudios puntuales efectuados en las costas peninsulares revelan contaminación por hidrocarburos, plaguicidas, metales pesados y otros productos químicos (Gold-Bouchet, 2004; Ponce-Velez, 2006; Robledo-Marenco *et al*., 2006; García, Ríos *et al.*, 2007; Gold-Bouchot *et al*., 2007, González-Mendoza *et al.*, 2007; Zapata-Pérez *et al.*, 2007; Guzmán-García *et al.*, 2009; González-Lozano *et al*., 2009).

Atendiendo de nuevo al contexto en el que la gobernanza regional debe construirse, es necesario reconocer las interacciones ecosistémicas entre bosques, humedales, sistemas hidrológicos, geología, clima y productividad costera que gracias a la comunidad académica peninsular se comprenden cada vez mejor. De manera que esta gobernanza está escalando a otros niveles, temas y espacios geográficos con otros temas compartidos: a) la conservación de manglares y humedales costeros; b) el combate a los efectos del cambio climático y elevación del nivel medio del mar; y c) la captura y secuestro de carbono por estrategias reducción de emisiones por degradación y reforestación (REDD+).

Figura 1. Condiciones de sequía al final de la temporada de lluvias, 2007 (Fuente: Conagua, 2008).

La Península de Yucatán cuenta con 341 835 ha de manglares del total nacional (655 667 ha) distribuidas entre los tres estados de la siguiente manera: Campeche con 196 552 ha; Yucatán con 80 528 ha; y Quintana Roo con 64 755 ha (Conabio, 2008).

En el tema de manglares la comunidad académica es la que lleva la delantera en la construcción de la red para la gobernanza. A través del Comité Nacional de Manglares de México y el Grupo Interdisciplinario de Manglares de la Península de Yucatán se están generando sinergias importantes para abordar temáticas como la ecofisiología y estructura forestal, a la restauración ecológica, la educación, la gestión y el uso sostenible, a los retos que enfrentan con la elevación del nivel medio del mar.

El Comité Nacional de Manglares se formó al Concluir la Tercera Reunión Científica Nacional (II Taller Problemática del Manglar) en Puerto Vallarta, Jalisco (Octubre 2005). Su objetivo es la protección, aprovechamiento sustentable, conservación y recuperación de los manglares de México, mediante la generación de conocimiento y aplicación de tecnologías obtenidas y/o validadas con el empleo de métodos científicos, para el mantenimiento y mejora de los ambientes natural y humano en estos ecosistemas; y los tres estados de la Península están considerados. En tanto que el Grupo Interdisciplinario de Manglares de la Península de Yucatán surgió de las reuniones de trabajo de la zona costera ante los impactos que sufre el

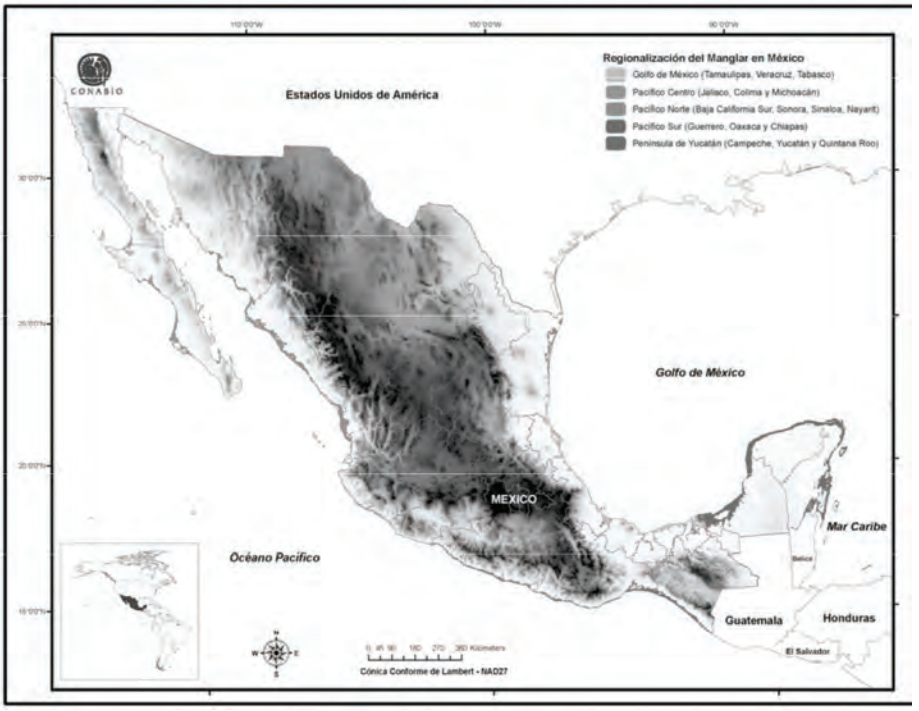


Figura 2. Regionalización de los Manglares de México (II Taller sobre la Problemática de los Ecosistemas de Manglar, ANP El Salado, ECOSUR y Universidad de Guadalajara, 2005. Citado por Conabio, 2007).

manglar por diversas causas –el cambio climático la última de ellas- y se sustenta en resultados científicos para emitir opiniones para la toma de decisiones.

El cambio climático impone retos muy grandes para cada uno de los estados de la Península. Al encontrarse en el paso directo de numerosos eventos hidrometeorológicos, enfrenta efectos de vientos, oleajes y mareas de tormenta, procesos erosivos en todas sus costas y efectos de inundación importantes en cerca del 60% del territorio peninsular. Las precipitaciones pluviales que se reciben en Quintana Roo y en Yucatán, escurren hacia el estado de Campeche, alimentando los humedales situados en la parte sur del estado y reabasteciendo los acuíferos, cenotes y aguadas.

Los modelos de predicción de elevación del nivel del mar para la Península dan escenarios dramáticos donde la pérdida del territorio de cada estado es alarmante. El riesgo y la incertidumbre ante este evento, sigue siendo uno de los principales retos para la toma de decisiones y las acciones de mitigación son ahora suplantadas por las acciones de adaptación con los costos que esto implique.

Estos efectos se ven ya impactando todos los sectores y servicios. Por ejemplo, la carretera federal interestatal 180 que comunica la ciudad de Matamoros en el estado de Tamaulipas, con la población de Puerto Juárez en el estado de Quintana Roo, en el extremo oriental de la República Mexicana, recorre seis estados en la costa del Golfo de México, pero a partir de la ciudad de Campeche se adentra en la península de Yucatán hasta llegar a Mérida para posteriormente cruzarla de oeste a este hasta Puerto Juárez. Esta carretera tan importante es constantemente afectada por oleajes fuertes que con anterioridad eran provocados únicamente por la presencia de huracanes en la región, pero que ahora, por efecto de la erosión costera, es destruida por oleajes cada vez más fuertes. El efecto en toda la Península es inmediato, siendo esta carretera un a línea vital de comunicación para el resto de la Península. Además de que a lo largo de la

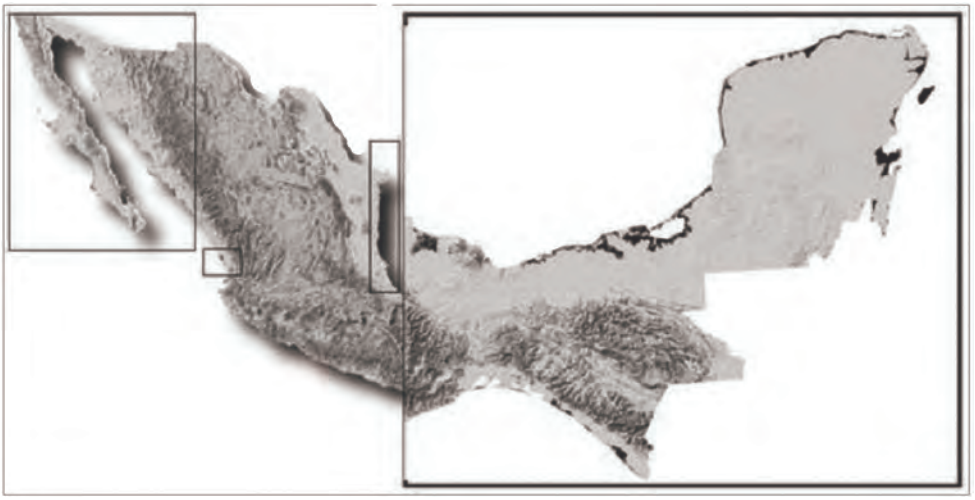


Figura 3. Áreas impactadas por la elevación del nivel medio del mar (Ortiz y Méndez Linares, 2004).

misma son conducidas líneas eléctricas, de fibra óptica, de telefonía, y en partes se encuentran tuberías de petróleo.

Otro efecto inmediato es la afectación en la fenología de la vegetación peninsular, la cual está actualmente sufriendo cambios en la floración y maduración de semillas que sólo han detectado los insectos polinizadores, los forestales y los agricultores; pero que todavía no han sido medidos ni monitoreados por la ciencia.

La alteración en las poblaciones de organismos migratorios como aves, insectos, y tortugas marinas en la Península ya se empieza a notar, pero los datos recabados –si acaso- son escasos para poder formular cualquier acción. De igual forma, la alteración en los patrones de lluvia afecta por un lado las masas forestales de los tres estados, sobre todo en la zona de Calakmul y la Sierrita de Tikul; así como la escorrentía que permite alimentar a los humedales de Laguna de Términos, Palizada, y del municipio de Champotón en Campeche. Y por el otro la generación de aguadas que sirven de abrevaderos a la fauna que transita por los corredores biológicos de la Península como los jaguares, jaguaroundis, venados, etc.

Por iniciativa de cada estado de la Península y con la ayuda del Instituto Nacional de Ecología (INE) de la Semarnat, y gracias a un convenio de colaboración con la Agencia Japonesa de Ayuda Exterior (JICA) se han capacitado a cuatro personas de cada estado en la temática y metodología para abordar la problemática del cambio climático.

Actualmente, cada estado ha avanzado en la generación de los términos de referencia para el diseño del plan estatal de acción para la mitigación y adaptación al cambio climático y se encuentra en la búsqueda de fuentes de financiamiento para su elaboración, teniendo el interés del Banco Interamericano de Desarrollo para participar en esta iniciativa.

Pero la construcción de la gobernanza regional en el tema ha avanzado para convertirse en un ejemplo único en México, el 23 de junio del 2010 las tres secretarías de medio ambiente frimaron el Acuerdo General de Coordinación para la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Península de Yucatán. Este Acuerdo busca establecer las bases y lineamientos de colaboración interestatal, la formulación y negociación de la estrategia regional para el cambio climático, la integración de la Comisión Regional de Cambio Climático, así como sentar las bases consensuadas para el diseño de los instrumentos que se generen para operar este Acuerdo.

Durante la COP16, los gobernadores de los tres estados ratificarán ese Acuerdo Regional al firmarlo e instalar la Comisión Técnica Regional para el Cambio Climático de la Península de Yucatán.

En cuanto al tema de bosques, la Península en 1994 y de acuerdo con los datos del Inventario Forestal Nacional publicado por la Semarnat se tenían 12 203 497 hectáreas distribuidas entre los tres estados de la siguiente forma:

Sin embargo, la existencia de una enorme riqueza en bosques y selvas no va a la par con el manejo irracional y poco sustentable que se le ha dado en toda la región, resultado indirecto de la desigualdad social y económica originada por políticas de migración. A pesar de todo, la figura 4 permite apreciar la abundancia de recursos forestales que todavía tiene la región.

Tabla 3. Zonas forestales según sus aptitudes y funciones por entidad federativa. (Fuente: Dirección de Estadística e Indicadores Ambientales, Semarnat, 2002 citado en el Inventario Forestal Nacional).

Entidad federativa	Producción	Restauración	Conservación
Campeche	3 372 441	13 927	1 091 323
Quintana Roo	4 338 156	4 024	395 780
Yucatán	2 882 017	644	105 185
Total	10 592 614	18 595	1 592 288

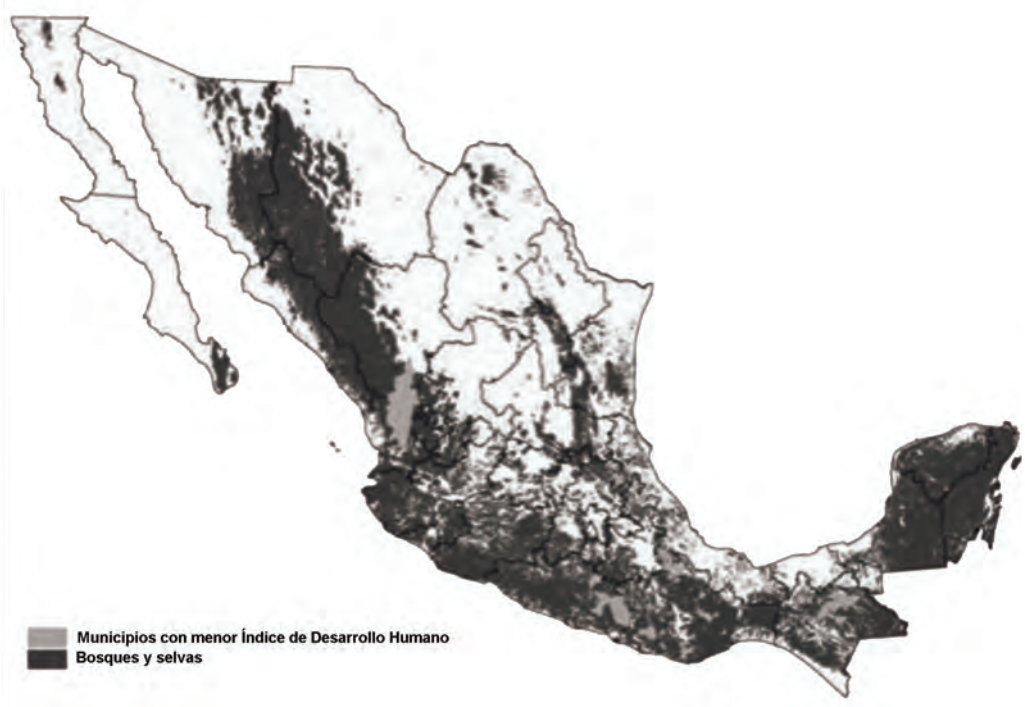


Figura 4. Municipios con menor índice de desarrollo humano en bosques y selvas. (Fuente: Comisión Nacional Forestal, Programa Institucional 2007-2012. CONAFOR-Semarnat. México: DF. http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=3.

Otro de los principales problemas identificados en cuanto al manejo y conservación de los recursos forestales en la Península son los incendios forestales. Entre 2000 y 2005 los incendios registrados en la frontera sur afectaron una superficie de 137 261 hectáreas. Según el Reporte Semanal de resultados de incendios forestales 2008 de la Comisión Nacional Forestal

(CONAFOR), durante el 2008 en Campeche se presentaron 42 incendios que afectaron una superficie de 1 087 hectáreas; y en Quintana Roo, 212 incendios que afectaron una superficie de 17 830 hectáreas.

Por último, la deforestación que sufre la Península está vinculada con los cambios de uso de suelo para actividades agrícolas y ganaderas, así como por la manufactura de carbón y la tala clandestina. Todo esto se ve sin control debido al tráfico ilegal de materias primas, productos y subproductos forestales de flora y fauna silvestre que por falta de capacidad para la vigilancia, y la aplicación de la ley, además de acciones de corrupción se presentan en la Península como en el resto del país.

Como puede apreciarse, es urgente la construcción de una gobernanza que atienda regionalmente el tema forestal. En este sentido, las secretarías de medio ambiente de los tres estados han comenzado el diseño de los términos de referencia para establecer un proyecto de reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD+) junto con ONG como Pronatura AC. y The Nature Conservancy y con la CONAFOR.

El proceso de gobernanza regional ya ha comenzado, primero en cada estado con la conformación de un Consejo Estatal Forestal, en el que cada entidad reúne a todas las entidades interesadas en el tema para avanzar en la gestión, conservación y fomento del sector. Segundo

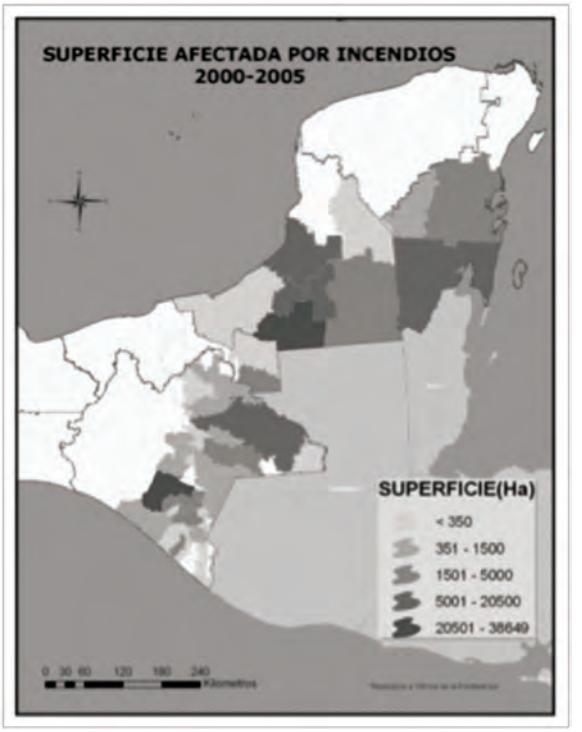


Figura 5. Superficie afectada por incendios en el periodo 2000-2005.
(Fuente: http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=3).

con la firma de una carta de intención dirigida a la CONAFOR para solicitar que se considere a la Península como piloto de REDD+; y tercero con la participación en la COP16 presentando los sitios focalizados para cada estado que permitan el avance de ese piloto cumpliendo con los criterios de reconversión del uso del suelo, la generación de corredores biológicos y la recarga de acuíferos.

Conclusiones

La gobernanza es el conjunto de procesos políticos e institucionales que pueden ser entendidos como importantes en diversos niveles y formas. Esos procesos conforman marcos de referencia del sistema y su ambiente, de las interacciones de sus elementos, y de las estructuras y funciones que sean más importantes y valiosas, por lo que cabe la posibilidad de generar una gobernanza múltiple, especialmente importante para la zona costera. Puede haber versiones múltiples de esos marcos o del sistema mismo, propuestos por diferentes personas o grupos en una sociedad o en grupos creados con instituciones de poder/conocimiento.

La gobernanza puede ser entendida en diferentes niveles:

1. Da forma a los marcos del sistema y su ambiente.
2. Interviene en la construcción y negociación de las metas del sistema.
3. Es parte del contexto en el cual se da la dinámica del sistema.

Para cada caso costero, se generará una gobernanza que le dará la forma que tenga permanencia, la manera de entablar negociaciones., las metas que serán alcanzadas, las propiedades del sistema valorados y la escala de tiempo y espacio óptima para lograr mantenerse en el tiempo con cierto rango y nivel. Para esto requiere de cuatro cualidades de la gobernanza: a) estabilidad, b) durabilidad, c) resilencia, y d) fortaleza.

Las dimensiones de la gobernanza en la zona costera son importantes en la heurística, ya que son parte del contexto en el cual la dinámica del sistema se define, tanto para proveer el contexto político más amplio, como para entender los elementos culturales en los cuales el sistema está enmarcado y gobernado, y a su vez contribuyendo con las alteraciones institucionales o políticas particulares para el sistema. Por ejemplo pueden ser grupos organizados que no estén de acuerdo con las propuestas (*e.g.* grupos de pescadores que se opongan a una veda), intereses corporativos privados opuestos a proyectos (*e.g*. hoteleros que no quieren reubicar infraestructura para recuperar las playas), o alteraciones de largo plazo (*e.g*. corrupción para obtener concesiones en la zona federal marítimo terrestre), etc.

La gobernanza costera interviene y forma parte también de la dinámica del sistema *per se,* afectando la dirección en la que se mueve. La complejidad de los sistemas y su dinámica envuelve integralmente las interacciones entre los procesos ambientales y tecnológicos (los socialmente construidos y con múltiples marcos) con múltiples actores, instituciones y relaciones de poder, emanando desde y a través de diferentes escalas.

La naturaleza de los procesos de una gobernanza costera actúa en todos niveles y moldean los tipos y derroteros que emergen. Por ejemplo, en un extremo, la gobernanza puede estar

asociada con una versión poderosa y única de algún sistema y sus metas de manera que las organizaciones y el poder están enmarcando el problema de una forma en particular y proponiendo planes desde arriba hacia abajo con poca experiencia técnica y menos interés en la sostenibilidad. En el otro extremo, los procesos de gobernanza, de una clase más reflexiva, puede entablar las negociaciones sobre los marcos de referencia para el sistema y para las metas de sostenibilidad.

La gobernanza en la costa necesita ser plural, selectiva y combinando elementos a través de sus diferentes tipos dependiendo de los casos y problemas particulares que se traten; pero atendiendo siempre cinco dimensiones:

1. Nuevas entidades políticas y espacios. Reconociendo el significado de múltiples actores, redes de trabajo, entidades y espacios, formales e informales, con mayor permanencia o efímeros, a través de escalas diferentes.
2. Estructuración y práctica. Reconociendo la importancia de estructuras institucionales, pero también de las organizaciones ciudadanas, las burocracias y los actores políticos particulares, que requieren ser considerados en la estructuración y en las formas en que las relaciones son construidas y re-negociadas a través de la práctica.
3. Poder y conocimiento. Reconociendo que el significado de "poder" es la mayor o menor capacidad unilateral (real o percibida) o potencial de producir cambios significativos, a través de las acciones realizadas por uno mismo o por otros. Este poder se impone en gobernanza con la finalidad de permitir alcanzar el desarrollo estructural, en forma constructiva o permisiva dependiendo del caso. El conocimiento dentro de la gobernanza balancea el poder de manera que no se concentre en unas cuantas organizaciones o niveles en control de reducidos, pero poderosos grupos políticos o financieros. Es también posible a pesar de todo, observar una tendencia a que las élites del poder, nacidas en la sociedad a través de procedimientos legítimos, entren en un proceso mediante el cual el poder aumente y se perpetúe a sí mismo retroalimentándose y produciendo, por tanto, más poder.
4. Incertidumbre. Reconociendo la incertidumbre radical en los procesos sociales, tecnológicos y ambientales frente a los distintos escenarios del cambio climático, así como el los procesos de la propia gobernanza en la zona costera, requiere de enfoques adaptativos, deliberativos y reflexivos.
5. Historia política, cultura y contexto. Conocer, apreciar y reconocer la importancia de las historias políticas particulares enmarcadas en la cultura de cada caso, permitirá la creación, diseño y operación de la gobernanza específica para cada costa.

Literatura citada

Agrawala, S., y S. Fankhauser, 2008. Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Costs, Benefits and Policy Instruments. OECD.

Bache, I. y M. Flinders (eds,), 2004. Multi-level Governance. Oxford: Oxford University Press.

Bache, I. y R., Chapman, 2008. Democracy through Multilevel Governance? The implementation of the Structural Funds in South Yorkshire. *Governance,* 21 (3), 397-418.

Carnero-Conttenti, V., 2005. Comunidad Internacional y Cambio Climático Global, a propósito de nuevas tendencias y escenarios. Centro Argentino de Estudios Internacionales.

Banco Mundial, 2010. The Cost to Developing Countries of Adapting to Climate Change: New Methods and Estimates, The Global Report of the Economics of Adaptation to Climate Change Study, 84 p.

Comisión Nacional Forestal, 2008. Programa Institucional 2007-2012. CONAFOR-Semarnat. .

Conabio, 2007. Distribución de los Manglares en México. (http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/manglegw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no)

Conabio, 2008. Manglares de México, 35 p. (http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/manglaresMexico.pdf)

Conagua, 2008. Estadísticas del Agua en México. Semarnat. www.conagua.gob.mx

Conagua, 2010. Atlas del Agua. Semarnat, www.conagua.gob.mx/atlas/

Costanza, R., F. Andrade, P. Antunes, M. van den Belt, D. Boesch, D. Boersma, F. Catarino, S. Hanna, K. Limburg, B. Low, M. Molitor, J. Gil Pereira, S. Rayner, R. Santos, J. Wilson, y M. Young. 1999. Ecological economics and sustainable governance of the oceans. *Ecological Economics*, 31(2) 171-187.

David L., y D. Egan,. 2003. Neo-Gramscian Approach to Corporate Political Strategy: Conflict and Accommodation in the Climate Change Negotiations. *Jour. Management Studies*, 40:4: 803-829.

Galindo, L.M., 2009. La Economía del Cambio Climático en México. Semarnat y SHCP. 67 p.

García-Ríos, V., Y. Freile-Pelegrín, D. Robledo, D. Mendoza-Cózatl, R. Moreno-Sánchez, y G. Gold-Bouchot. 2007. Cell wall composition affects Cd2+ accumulation and intracellular thiol peptides in marine red algae. *Aquatic Toxicology,* 81(1): 65-72.

Gold-Bouchot, G., O. Zapata-Pérez, V. Ceja-Moreno, G. Rodríguez-Fuentes, R. Simá-Alvarez, M.L. Aguirre-Macedo, y V. M. Vidal-Martínez, 2007. Biological effects of environmental pollutants in american oyster, *Crassostrea virginica*: a field study in Laguna de Terminos, Mexico. *International Journal of Environment and Health,* 1(2): 171-184.

Gold-Bouchot, G. 2004. Hidrocarburos en el Sur del Golfo de México, p. 655-682*,* En: M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (comp.). Diagnóstico Ambiental del Golfo de México Vol. 2. Cuarta Parte: El Manejo de la Zona Costera del Golfo de México, Semarnat, INE, INECOL, A.C., Harte Institute.

González-Lozano, M.C., L.C. Méndez-Rodríguez, A. M. Maeda-Martínez, G. Murugan, y A. Vázquez-Botello. 2009. Evaluation of toxicity of polluted marine sediments from Bahía Salina Cruz, Mexico. Journal of Environmental Science and Health, Part A.

Gonzalez-Mendoza, D., V. Ceja-Moreno, G. Gold-Bouchot, R.M. Escobedo-Gracia, M. Del-Rio, D. Valdés-Lozano, y O. Zapata-Perez, 2007. The influence of radical architecture on cadmium bioaccumulation in the black mangrove, *Avicennia germinans* L. *Chemosphere,* 67(2): 330-334.

Guzmán-García, X., A.V. Botello, L. Martínez-Tabche, y H. González-Márquez, 2009. Effect of heavy metals on the oyster (*Crassostrea virginica*) at Mandinga Lagoon, Veracruz, Mexico. *Rev. Biol. Trop.*

Keohane, R., y J., Nye, 1998. Poder e Interdependencia. La política mundial en transición. Capítulos 1. Editorial, Grupo Editor Latinoamericano. Buenos Aires, Argentina.

Keohane, R., y J., Nye, 2000. "Globalization: What´s New? What´s Not? (And So What?), *Foreign Policy*. Spring: 104-119.

Instituto Nacional de Ecología, 2006. Inventario Nacional de Emisión de Gases de Efecto Invernadero. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas 2006. , Semarnat, México, 70 p.

INEGI, 2010. Estadísticas a propósito del Día Mundial de la Población, Datos de Campeche. 9 p

INEGI, 2010. Estadísticas a propósito del Día Mundial de la Población, Datos de Quintana Roo. 6 p

INEGI, 2010. Estadísticas a propósito del Día Mundial de la Población, Datos de Yucatán. 8 p

Jordan, A.J. y A., Lenschow. 2010. Environmental policy integration: A state of the art review. *Environmental Policy and Governance,* 20(3), 147-158.

Jasanoff, S. 1993. Bridging the Two Cultures of Risk Analysis. *Risk Analysis,* 13: 123–129

Jasanoff, S., 1999. The Songlines of Risk. *Environmental Values,* 8.2: 135-152

Leach, M., G. Bloom, A. Ely, P. Nightingale, I. Scoones, E, Shah, y A. Smith, 2007 Understanding Governance: pathways to sustainability, STEPS Working Paper 2. University of Sussex.

Martner Peyrelongue, C., 2002. Puertos pivotes en México: límites y posibilidades. *Revista de la CEPAL,* 76:123-141

Okereke, Ch., y H. Bulkeley, 2007. Conceptualizing climate change governance beyond the international regime: a review of four theoretical approaches, Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 112. 54 p.

Ponce-Vélez, G., A.V. Botello, G. Díaz-González. 2006. Organic and inorganic pollutants in marine sediments from northern and southern continental shelf of the Gulf of Mexico. *Int. J. Environmental and Pollution*, 26(1/2/3): 295-304.

Ortiz, M.A., y A.P. Méndez Linares, 2004. Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar y sus implicaciones en las costas bajas del Golfo de México y Caribe. p. 307-320. En: E. Rivera-Arriaga, G.J. Villalobos Zapata, I. Azuz Adeath y F. Rosado May (eds). El Manejo Costero en México, Universidad Autónoma de Campeche, Semarnat, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo. 654 p

Robledo-Marenco, M.L., A.V. Botello, C.A. Romero-Bañuelos, y G. Díaz-González, 2006. Presence of persistent organochlorine pesticides in estuaries of the subtropical Mexican Pacific. *Int. J. Environment and Pollution*, 26(1/2/3): 284-294.

Smith, J., J.M. Vogel, T.L. Cruce, S. Seidel, y H.A. Holsinger, 2010. Adapting to Climate Change, a call for federal leadership. Pew Center on Global Climate Change. 46 p. (http://www.pewclimate.org/docUploads/adaptation-federal-leadership.pdd).

Stern, N., 2006. Review on the economics of climate change, Office of Climate Change, Government Economic Service. Cambridge University Press. (ttp://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http:/www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm)

Wynne, B., 2002. Risk and Environment as Legitimatory Discourses of Technology: Reflexivity Inside Out? *Current Sociology,* 50(3): 459-477

Wilks, S. y M. Wright, 1987. Comparative Government-Industry Relations, Oxford: Clarendon

Zapata-Pérez O., V. Ceja-Moreno, V. Roca-Olmos, M. del Río-García, M. Yarto, A. Mendoza-Cantú, I. Ize-Lema, A. Gavilán-García, y G. Gold-Bouchot. 2007. Ecotoxicological Effects of POPS on *Ariidae Ariopsis felis* (Linnaeus, 1766) from Three Coastal Ecosystems in the Southern Gulf of Mexico and Yucatan Peninsula. *Journal of Environmental Science and Health*, Part A 42(1–8): 1511-1518.

Chica Ruiz, J.A., 2010. Cambio climático y gestión costera en España. Un análisis de instrumentos. p. 773-788. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Cambio climático y gestión costera en España. Un análisis de instrumentos

J. Adolfo Chica Ruiz

Resumen

Este trabajo pretende identificar las diferentes concepciones y tratamientos del espacio costero que se aprecian en los distintos instrumentos de mitigación y adaptación frente al cambio climático redactados en el Estado Español hasta el momento. Para ello se analizan los planes y estrategias elaborados por las distintas administraciones con competencias en la materia (Administración General del Estado y Comunidades Autónomas) para cumplir con los compromisos adquiridos en la esfera internacional. A raíz del análisis de dichos instrumentos se desarrollan unas conclusiones muy reveladoras. Aun constatando los duros efectos que sobre las zonas costeras tiene el cambio climático, la administración pública no le ha prestado la suficiente atención a estos espacios, comprobando que en España no existe todavía una política de gestión integrada en los asuntos costeros.

Introducción

Los efectos del calentamiento global tienen múltiples repercusiones negativas en las zonas costeras. Recientes análisis e investigaciones señalan que España, por su situación geográfica[1] y sus características socioeconómicas[2], es un país muy vulnerable al cambio climático (Moreno, 2005; OECC, 2005). Los graves problemas ambientales que se ven reforzados por efecto del cambio climático son: la disminución de los recursos hídricos y la regresión de la costa, las pérdidas de la biodiversidad y los aumentos en los procesos de erosión del suelo. Asimismo, hay otros efectos de este fenómeno que también provocarán serios impactos en diversos sectores económicos (*e.g.* agricultura, pesca, turismo). Sin duda alguna, son las zonas costeras las que en mayor medida se verán afectadas por el efecto del cambio climático (Losada, 2004; Medina, 2006)

Ante dicha realidad, España ha ido asumiendo una serie de compromisos que se encuadran en el marco jurídico que regula esta materia tanto en el ámbito internacional (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Protocolo de Kioto, 1997) como en el de la propia Unión Europea (Decisión 2002/358/CE del Consejo de 25 de abril de 2002 relativa a la aprobación del Protocolo de Kioto) y ratificado por el Parlamento español el 8 de mayo de 2002 (tabla 1).

Es por tanto el Estado español en su conjunto quien tiene la responsabilidad legal de cumplir en todos sus términos el Protocolo de Kioto. De esta manera, atendiendo a un modelo de estado descentralizado, es necesario tomar en consideración la distribución de competencias entre las distintas Administraciones Públicas dentro del ordenamiento constitucional y estatutario vigente.

En efecto, la Constitución Española (CE) establece un modelo territorial descentralizado en el que las Comunidades Autónomas (CCAA), y, en menor medida, los entes locales cuentan con competencias en materias tan relevantes a los efectos del cambio climático como ordenación del territorio, medio ambiente, urbanismo, transportes o industria. Esta realidad se hace mucho más compleja si cabe en las áreas litorales sobre las que se proyectan una gran variedad de usos públicos y actividades económicas, y dónde las potestades de unas y otras administraciones se entremezclan con frecuencia (Chica Ruiz, 2008).

Con objeto de cumplir con los compromisos adquiridos, tanto la Administración General del Estado (AGE) como las Comunidades Autónomas en los últimos años han ido elaborando

[1] Altitud media de la península (660 m), la disposición de los sistemas montañosos con orientación general de oeste a este (excepto el sistema Ibérico y la cordillera costero-catalana), origina una marcada influencia no sólo en la variedad de climas y el curso de los cauces hidráulicos.

[2] En sus 7 783 km de costa se concentra un 60% de la población y un 65% de la industria. Constituye un referente esencial en el tráfico de mercancías del comercio internacional medio por el que pasan 350 millones de toneladas de mercancías del comercio internacional. Supone un atractivo turístico de primer orden para los habitantes de un gran número de países.

Tabla 1. Objetivos frente al cambio climático (2008-2012).

Ámbito	Objetivo
Naciones Unidas	Reducir un 5.2% de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto al nivel de 1990.
Unión Europea	Reducir un 8% de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto al nivel de 1990.
España	Las emisiones de gases de efecto invernadero no deben superar más de un 15% respecto a las emitidas en 1990.

una serie de instrumentos tendentes, por un lado, a mitigar en lo posible ese cambio, y adelantarse o adaptarse, por otro lado, a las consecuencias y efectos que tendrán un gran impacto a escala global.

El presente trabajo tiene dos objetivos: a) analizar el tratamiento que cada uno de los planes y estrategias sobre cambio climático en zonas costeras elaborados en España, y a partir de dicho análisis, b) comprobar si efectivamente para la administración española es una prioridad dar solución a los problemas derivados del cambio climático sobre nuestras costas.

Estado del arte

Los instrumentos de planificación sobre cambio climático de la Administración General del Estado

El instrumento clave de referencia como respuesta de la Administración General del Estado al cambio climático lo constituye el *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático* (PNACC) (OECC, 2006a). Aprobado en 2006, su principal objetivo es la integración de la adaptación al cambio climático en la planificación de los distintos sectores económicos potencialmente afectados. En este sentido, el documento es concebido como un proceso continuo que orienta y compromete a las administraciones públicas, empresas y actores sociales en un esfuerzo común. Como señala este instrumento se persigue, en definitiva, "*construir el armazón donde puedan integrarse de forma coherente y coordinada todos los proyectos e iniciativas encaminados a lograr una adaptación al cambio climático, en los distintos sectores, sistemas y ámbitos, buscando de forma activa la interacción entre todos ellos con el fin de que puedan beneficiarse mutuamente de los resultados que se vayan alcanzando*" (OECC, 2006a).

A su vez, como objetivos específicos iniciales para alcanzar en las primeras evaluaciones y proyectos a llevar a cabo se plantean los siguientes:

- Desarrollar los escenarios climáticos regionales para la geografía española.
- Desarrollar y aplicar métodos y herramientas para evaluar los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos en España.

- Aportar al esquema español de Investigación + Desarrollo + Innovación las necesidades más relevantes en materia de evaluación de impactos del cambio climático.
- Realizar un proceso continuo de actividades de información y comunicación de los proyectos.
- Promover la participación entre todos los agentes implicados en los distintos sectores/sistemas, con objeto de integrar en las políticas sectoriales la adaptación al cambio climático.
- Elaborar informes específicos con los resultados de las evaluaciones y proyectos.
- Elaborar informes periódicos de seguimiento y evaluación de los proyectos y del conjunto del Plan Nacional de Adaptación.

Para conseguir estos objetivos se consideran bajo un denominador común 16 sectores económicos y sistemas ecológicos. Si bien hay uno específico para las zonas costeras, la mayoría de los contemplados se relacionan con este ámbito debido a la variedad de ecosistemas y usos asociados que también se concentran en esta estrecha franja: biodiversidad, recursos hídricos, bosques, sector agrícola, caza y pesca continental, zonas de montaña, suelo, pesca y ecosistemas marinos, transporte, salud humana, industria y energía, turismo, finanzas-seguros, urbanismo y construcción. Como señala el documento "*no son estancos, sino muy a menudo interdependientes*". Este hecho plantea un reto de integración y coordinación.

A partir de aquí, como parte principal del instrumento, se recogen los impactos previstos más relevantes del cambio climático sobre los distintos sectores y sistemas considerados, así como las medidas, actividades y líneas de trabajo que deben ejecutarse en los próximos años. El documento finaliza desarrollando algunos aspectos estratégicos de interés para la planificación como son la participación, comunicación, formación y concienciación.

En el apartado relativo a las zonas costeras se evidencia la relación entre clima y estabilidad de las costas poniendo ello en conexión con la extensión e importancia de las costas en España, en particular en su función de infraestructura básica de la industria turística. Asimismo se mencionan los posibles impactos en los distintos elementos de la costa, playas, deltas, etc., reseñándose que las áreas costeras habitadas son cada vez más vulnerables a la elevación del nivel del mar y a otros impactos derivados del cambio climático. Incluso una pequeña subida del nivel del mar podría tener efectos adversos graves en ellas. También se indica que, dada la estructura turística implantada, una subida del nivel del mar de pocos centímetros podría tener importantes consecuencias con impactos económicos negativos sobre la industria turística, lo que por sí sólo justificaría planificar con antelación medidas de respuesta.

Las líneas de actuación del plan respecto a las zonas costeras son muy poco novedosas, se centran en desarrollar modelos, cartografía y evaluaciones de muy distintos tipos:

- Desarrollar modelos de respuesta morfodinámica y ecológica de las principales unidades de la costa española, bajo distintos escenarios de cambio climático.
- Poner en marcha sistemas de seguimiento y toma de datos sistemática de parámetros para la validación de modelos.

- Cartografiar la vulnerabilidad de la costa española frente al ascenso del nivel medio del mar bajo distintos escenarios de cambio climático: Identificar, delimitar e inventariar las áreas y elementos más vulnerables por el ascenso del nivel del mar, y valoración ecológica de los mismos.
- Evaluar las estrategias de abandono y retroceso, o de protección, frente a distintos escenarios de ascenso del nivel medio del mar.
- Evaluar la afección del ascenso del nivel medio del mar sobre los centros urbanos costeros, en particular en sus sistemas de aguas pluviales y de saneamiento.
- Evaluar las opciones de adaptación mediante actuaciones sobre factores relacionados con la estabilidad del litoral, como el mantenimiento de descarga y aportes sólidos de los ríos, como solución al «origen» del problema.
- Evaluar las potenciales actuaciones para favorecer la estabilización de playas y dunas, la construcción de obras para limitar la capacidad de transporte del oleaje incidente y las aportaciones artificiales de sedimentos.

Por su interconexión con las áreas litorales resulta de interés señalar las relacionadas con el sector pesquero y ecosistemas marinos, que igualmente se ciñen a crear modelos y realizar evaluaciones:

- Desarrollar modelos de circulación marina, y modelos acoplados de ecosistemas en aguas españolas bajo distintos escenarios de cambio climático.
- Evaluar la vulnerabilidad al cambio climático de los hábitats y taxones marinos españoles clave: cartografía de la vulnerabilidad de la biodiversidad marina española.
- Evaluar las redes de áreas marinas protegidas (incluida la Red Natura 2000) en los escenarios de cambio climático.
- Evaluar las medidas de conservación *ex situ*, como respuesta a potenciales impactos del cambio climático sobre especias marinas amenazadas.
- Evaluar los efectos del cambio climático sobre especies marinas invasoras en España.
- Evaluar los balances de carbono y del pH en las aguas costeras y marinas españolas.
- Evaluar los impactos generados por el cambio climático sobre especies marinas objeto de pesquerías de interés comercial para España.
- Evaluar las capacidades de carga de los ecosistemas donde se implantan cultivos marinos en España, bajo distintos escenarios de cambio climático.
- Consolidar las redes de seguimiento ambiental y ecológico a largo plazo, aprovechando y mejorando las ya existentes.

La ejecución de este Plan Nacional se lleva a cabo mediante Programas de Trabajo que propone la Oficina Española de Cambio Climático[3] y que establecen las actividades y proyectos a realizar, así como los calendarios. En su puesta en marcha se pueden crear grupos de trabajo para determinadas tareas. El *Primer programa de trabajo*, aprobado al mismo tiempo que el Plan (OECC, 2006b), contempló el desarrollo de escenarios climáticos regionales y la evaluación del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos, la biodiversidad y las zonas costeras.

Un aspecto relevante, es que en este Primer Programa ya se relaciona, aunque muy brevemente, cambio climático y Gestión Integrada de Zonas Costeras (GIZC), haciendo alusión a la Recomendación 2002/413/EC de la Unión Europea sobre GIZC.

En el Programa se busca un solo objetivo: realizar una identificación de las áreas y elementos de la costa española más vulnerables por el efecto del cambio climático a lo largo del siglo XXI, y evaluar su valor ambiental. Para el desarrollo de este objetivo se contemplan dos fases. La primera, que identifica y delimita las áreas y elementos más vulnerables a la subida del nivel del mar y los cambios de otras variables físicas (oleaje, mareas meteorológicas y regímenes de vientos). La segunda, por su parte, de gran valor por su dimensión social y económica, consiste en evaluar las opciones de adaptación en las zonas identificadas como más vulnerables, distinguiendo entre las medidas encaminadas a la aplicación de estrategias de retroceso, de adaptación y de protección[4].

Transcurridos dos años desde la aprobación del instrumento en cuestión, 2008, se editó un informe de seguimiento (OECC, 2008). En dicho documento se circunscribe todo lo referente al cambio climático en las zonas costeras en el marco de la *Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa* (DGC, 2007) que según señala el Informe se basa en el concepto GIZC, y constituye un ambicioso programa para recuperar el estado de la amplia franja litoral y garantizar su gestión sostenible para el futuro. Efectivamente, la reducción de los efectos del cambio climático aparece en la estrategia como uno de los cuatro objetivos a abordar, junto con otros muy interrelacionados, como frenar la ocupación masiva de la costa, recuperar la funcionalidad física y natural y cambiar el modelo de gestión.

Desafortunadamente, la estrategia se encuentra aún en su primera fase, consistente en la redacción de un documento preliminar (Documento de iniciación, de 21 páginas) en el que, como señala Barragán (2009) "*no aparecen los detalles más elementales de una estrategia: calendario, método, fases, publicidad, procedimiento y mecanismos de participación*". Ante esta circunstancia, no es de extrañar que hasta la fecha, y en relación con los avances respecto al cambio climático en las costas españolas, éstos se reduzcan a un diagnóstico preliminar de la costa.

[3] La Dirección General de la Oficina Española de Cambio Climático es el órgano de la Administración General del Estado encargado de realizar la formulación de la política nacional en materia de cambio climático, así como la propuesta de normativa y desarrollo de los instrumentos de planificación y administrativos que permitan cumplir con los objetivos establecidos por dicha política.

[4] En las evaluaciones de estrategias de adaptación de zonas costeras se ha desplazado el énfasis alejándose de estructuras de protección fuerte de la línea costera (*e.g.* murallas de mar, espigones) hacia medidas de protección débil (*e.g.* la alimentación de las playas), retiros administrados y resiliencia mejorada de los sistemas biofísicos y socioeconómicos en las regiones costeras. Las opciones de adaptación para ordenación costera y marina son más eficaces cuando están acompañadas de políticas en otras esferas, tales como planes de mitigación de catástrofes y planificación del uso de la tierra (IPCC, 2001).

A finales de 2007, el Consejo de Ministros español aprobó otro documento sobre la materia: *Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. Horizonte 2007-2012-2020* (MMA, 2007). Este instrumento, que se inscribe dentro en la Estrategia española de desarrollo sostenible (MMA, 2007), está estructurado en dos capítulos. El primero define las actuaciones para luchar contra el cambio climático y, el segundo, para conseguir una energía más limpia. Cada capítulo igualmente incluye una descripción de la situación actual, los objetivos perseguidos, las medidas propuestas y una selección de indicadores para su seguimiento.

En relación a las zonas costeras hay poco que destacar, únicamente el apartado dedicado a la adaptación. En este caso el principal objetivo de la estrategia es desarrollar y aplicar el *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático* (OECC, 2006a), donde vuelve a repetir las medidas ya propuestas en dicho plan: "*Evaluación del impacto del cambio climático en las zonas costeras: Realizar una identificación de las áreas y elementos de la costa española más vulnerables debido a los efectos del cambio climático a lo largo del siglo XXI, y evaluar su valor ambiental*".

Los instrumentos de planificación sobre cambio climático elaborados por las Comunidades Autónomas

A escala regional, todas las Comunidades Autónomas han desarrollado planes y estrategias con objeto de hacer frente al cambio climático. Con un esquema similar a la Administración General del Estado, y un horizonte temporal de cuatro años, han elaborado instrumentos tanto de mitigación como de adaptación (tabla 2).

La Comunidad Autónoma de Andalucía, ha sido junto a la valenciana, pionera en España en redactar y aprobar un instrumento de estas características: *Estrategia Andaluza de Cambio Climático* (Consejería de Medio Ambiente, 2002). En el documento escueto y publicado en internet, solo aparece una alusión al medio costero y marino: "medidas de política forestal y biodiversidad: Conservación de las praderas de fanerógamas marinas y de la vegetación de los humedales".

Asimismo, en los instrumentos aprobados en 2007, *Plan Andaluz de Acción por el Clima 2007-2012* (Consejería de Medio Ambiente, 2007) y *Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007-2013* (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, 2007), las zonas costeras carecen de interés. En sus 140 y 105 medidas propuestas respectivamente, tan solo se encuentra una única referencia al litoral en el segundo de los planes mencionados. Al hacer referencia sobre el carácter transversal de la política energética se concluye que "*se deberán habilitar nuevos procedimientos de colaboración para asegurar la viabilidad e idoneidad de los crecimientos urbanísticos en zonas con riesgo de saturación, tales como el litoral y las aglomeraciones urbanas*".

Igualmente resulta sorprendente el caso del Gobierno de las Islas Baleares, comunidad cuya actividad económica se concentra en el litoral. Pues bien, de los documentos analizados (Conselleria de Medi Ambient, 2005; Conselleria de Comerç, 2005**;** Conselleria de Medi Ambient, 2008) ninguno trata con suficiente especificidad las zonas costeras. De hecho, ninguna actuación se focaliza en los ambientes costeros y marinos.

Tabla 2. Documentos sobre cambio climático elaborados por las Comunidades Autónomas litorales.

CC.AA.	Documento	Año
Andalucía	Estrategia Andaluza de Cambio Climático.	2002
	Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007-2013 (PASENER).	2007
	Plan Andaluz de Acción por el Clima 2007-2012 (PACC)- Programa de Mitigación.	2007
Asturias	Estrategia Energética del Principado de Asturias 2007-2012.	2007
	Estrategia de Cambio Climático del Principado de Asturias.	2008
Baleares	Estrategia Balear contra el Cambio Climático.	2005
	Plan Director Sectorial de Energía (hasta 2015).	2005
	Plan de Acción para la lucha contra el Cambio Climático 2008-2012.	2008
Canarias	Plan Energético de Canarias 2006 (PECAN).	2006
	Plan de Mitigación o de Reducción de Emisiones Gases Efecto Invernadero .	2008
	Estrategia Canaria de Lucha contra el Cambio Climático. Plan de Actuación 2008-2015.	2008
Cantabria	Plan Energético de Cantabria 2006-2011 (PLENERCAN).	2006
	Estrategia de Acción frente al Cambio Climático en Cantabria 2008-2012.	2008
Cataluña	Plan de la Energía de Cataluña 2006-2015.	2005
	Plan marco de mitigación del Cambio Climático en Cataluña 2008-2012.	2008
Comunidad Valenciana	Plan de Ahorro y Eficiencia Energética Comunidad Valenciana 2001-2010.	2001
	Estrategia Valenciana de Cambio Climático.	2008
Galicia	Plan Energético de Galicia 2007-2012.	2006
	Plan Gallego de Acción contra el Cambio Climático.	2008
	Estrategia Gallega frente al Cambio Climático.	2005
Murcia	Plan Energético de la Región de Murcia 2003-2012.	2003
	Estrategia de la Región de Murcia frente al Cambio Climático 2008-2012.	2008
País Vasco	Estrategia Energética de Euskadi 2001-2010.	2001
	Plan Vasco de Lucha contra el Cambio Climático 2008-2012.	2007

En los documentos consultados en la Comunidad Autónoma de Canarias tan solo se hacen tres referencias a las zonas costeras. Una se encuentra en el Plan Energético de Canarias (Consejería de Industria Comercio y Nuevas Tecnologías, 2006), en relación a la energía eólica *off shore*. Las otras dos aparecen en la Estrategia canaria de lucha contra el cambio climático (Consejería de Industria, Comercio y Nuevas Tecnologías, 2008a y 2008b). Este documento, por una parte señala como línea prioritaria en el sector turístico "*la investigación sobre la relación entre la planificación turística y los recursos sensibles al cambio climático en el litoral*". Por otra, en el apartado de análisis de impactos hay uno específico sobre las zonas costeras. Muy escueto, tan sólo apunta que "*no se identifican riesgos generalizados para Canarias por la elevación del agua del mar (estimado en 0,5 metros como hipótesis de trabajo)*" y que "*sólo se identifican como zonas potencialmente vulnerables la costa sureste de Gran Canaria y la de Fuerteventura*". Llama nuevamente la atención como en las 153 medidas propuestas ninguna se centre explícitamente en este ámbito. Olvidando los efectos tan graves que acarrea un cambio de temperatura: desertificación, pérdida de recursos hídricos y biológicos.

Por su parte, la *Estrategia de Acción frente al Cambio Climático* en Cantabria (2008-2012), (Consejería de Medio Ambiente, 2008) reconoce de manera expresa los impactos que el cambio climático provocará en las zonas costeras de la región. En el documento se realiza un análisis de las repercusiones que tendrán las previsiones mencionadas en los recursos naturales y socioeconómicos. Si bien, de las 184 actuaciones o medidas, ninguna hace mención al litoral, de forma implícita en algunas se reconoce la repercusión en dicho ámbito. Resulta muy reveladora la que se incluye en el eje transversal dedicado a la ordenación del territorio que pretende "*restringir la construcción en áreas que tengan especial vulnerabilidad a los efectos del cambio climático teniendo en cuenta los resultados de los estudios que se realicen al respecto*". En esta actuación se asume que las zonas más vulnerables en Cantabria son el litoral por la elevación del nivel del mar. Otras relacionadas con éste ámbito son las referidas a infraestructuras portuarias y a las actividades acuícola y pesquera.

En Cataluña por su parte reconoce en su *Plan Marco de Mitigación del Cambio Climático en Cataluña 2008-2012* las zonas costeras como uno de los espacios más vulnerables al cambio climático, prestando especial atención al Delta del Ebro. El gobierno catalán tiene prevista la redacción de un plan de adaptación propio para este espacio. Aun con todo, el documento no marca ningún programa, acción o medida específica para el litoral.

En el País Vasco, su *Plan Contra el Cambio Climático 2008-2012* (Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2008) considera a la zona costera como prioritaria para acciones según los impactos previstos para 2050. No obstante, entre las 120 acciones que se proponen, nuevamente son muy escasas las que hacen mención directa a este ámbito. La más destacada es la que propone incluir los efectos y variables afectadas por el cambio climático con objeto, por una parte, de reforzar las directrices de ordenación del territorio para restringir la construcción de núcleos residenciales o industriales en zonas especialmente vulnerables (zonas costeras).

Algo similar ocurre en la Comunidad Valenciana. Así, en la *Estrategia Valenciana ante el Cambio Climático 2008-2012* (Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda, 2008), de las 125 medidas previstas, solo dos están vinculadas al espacio litoral: "*estudiar la definición de figuras de protección para las praderas de fanerógamas marinas del litoral*" e "*identificar las áreas y elementos de la costa más vulnerables debido a los efectos del cambio climático a lo largo del siglo XXI, evaluar su valor ambiental y sus impactos económicos en especial en el turismo*". Por su posible incidencia en la costa hay otra acción que se antoja muy válida, es la que pretende "*considerar el cambio climático en los documentos de evaluación ambiental de los planes territoriales y urbanísticos*".

En la Comunidad Autónoma de Galicia, el *Plan Gallego de Acción Contra el Cambio Climático* (Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible, 2008), además de los ecosistemas propiamente marinos, los ecosistemas de transición entre aguas dulces y marinas aparecen también entre los sistemas identificados como vulnerables al cambio climático, razón por la que protagonizan un apartado especial dentro de la red de observación de los ecosistemas litorales. Con el fin de orientar y servir de apoyo al proceso de adaptación, define como

objetivo la elaboración de guías de adaptación, una por cada sector o sistema natural más relevante en Galicia. Entre ellas se propone una sobre el sistema litoral e infraestructuras costeras.

Sin duda la Región de Murcia ha elaborado, el documento más completo al respecto. Nos referimos a la *Estrategia de la Región de Murcia frente al Cambio Climático 2008-2012* (Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente, 2008). Varias razones avalan tal afirmación: Junto con el agua, el litoral es el ámbito de especial interés para la región y así se refleja en su diagnóstico; es el único documento autonómico que trata, aunque de manera muy superficial, la gestión integrada de zonas costeras; se tratan aspectos estratégicos de gran trascendencia: gestión y coordinación, evaluación y seguimiento, participación, recursos y financiación.

No obstante, al igual que ocurre con el resto de instrumentos, la importancia que se le da en el diagnóstico no tiene correspondencia con las actuaciones que se plantean. De las 45 líneas simplemente dos tienen incidencia directa en el litoral: "Evaluación del impacto del cambio climático en las zonas costeras, en la pesca y en ecosistemas marinos" e "incorporar criterios climáticos en el urbanismo". Esta ultima de gran trascendencia para una zona tan urbanizada como es el litoral murciano.

En otro orden de ideas, en este apartado es conveniente hacer algún comentario sobre las Estrategias de Gestión Integrada de Zonas Costeras (GIZC). Éstas también deben dar respuesta a los efectos negativos del cambio climático. Y así lo plantea la recomendación sobre la aplicación de la GIZC. El documento europeo aconseja un planteamiento estratégico basado, entre otros, en el reconocimiento de la amenaza que supone el cambio climático, sobre una perspectiva amplia y global a largo plazo. No obstante, en España, las Comunidades Autónomas que han redactado su propia Estrategia de GIZC (Cataluña, Andalucía, Asturias y Valencia) tratan de manera muy distinta esta realidad.

Las estrategias catalana y andaluza son las que mayor atención prestan al fenómeno. Así se observa en el *Plan Estratégico para la Gestión Integrada de las Zonas Costeras de Cataluña* (Departamento de Medio Ambiente y Vivienda, 2004) al interrelacionarlo con la *Estrategia Catalana de Cambio Climático*. Además, en el proceso que se hace de la evaluación de los efectos ambientales para definir líneas de acción se ha considerado el cambio climático. A partir de aquí proponen dos líneas: "*integración de la información relativa al impacto sobre el cambio climático y la calidad de vida sobre los sistemas urbanos costeros*" y "*elaboración de un plan integral de gestión de los sedimentos litorales, que tendrá entres sus contenidos una revisión de los efectos del cambio climático*".

Igualmente, la estrategia andaluza de GIZC (Barragán *et al.*, 2008) se remite a su estrategia regional sobre cambio climático (IPCC, 2001a). Entre otras acciones propuestas en su Plan de Acción, sobresale el "*Programa Andaluz de Retirada Controlad*a". Dicho programa tiene como objetivo hacer frente a los efectos de la subida del nivel del mar provocados por el cambio climático. Se pretende que el gobierno de Andalucía esté preparado, tanto en la toma de decisiones cotidianas como en las estratégicas, para prevenir o amortiguar los efectos no deseados que en la costa se puedan producir a largo plazo. De igual modo se persigue facilitar a los municipios directrices de respuesta a la subida del nivel del mar.

Por su parte, son escasas las alusiones al cambio climático en la *Estrategia Marítima del Principado de Asturias* (Gobierno del Principado de Asturias, 2007) y en la *Estrategia Valenciana para la Gestión Integrada de la Costa* (Conselleria de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, 2002). En la primera, si bien lo considera una amenaza, propone de manera muy general como objetivo prioritario la preparación de medidas de prevención y adaptación al cambio climático. En la segunda, por su parte, se propone un programa de investigación en la materia.

Lecciones aprendidas

En este apartado se destacan y concretan los resultados más significativos del análisis desarrollado en las páginas anteriores.

1. La importancia que está adquiriendo el cambio climático, como objeto de investigación y de interés por parte de instituciones y administraciones, tiene su más clara manifestación en el número de instrumentos estratégicos y de planificación que recientemente se están redactando y aprobando. Tanto el estado español como cada una de las Comunidades Autónomas ya disponen de instrumentos de mitigación y adaptación al cambio climático.
2. Mientras las políticas de reducción en la emisión de gases de efecto invernadero vienen definidas en el ámbito internacional (*e.g.* Protocolo de Kyoto y directivas europeas), las políticas de adaptación a las consecuencias del cambio climático deben determinarse, a partir del modelo territorial español, en la escala regional (Comunidades Autónomas).
3. En términos generales y para un tema de tanta trascendencia como son los efectos del cambio climático en las zonas costeras, es insuficiente la atención que se presta a este ámbito. Esta afirmación es una realidad al comprobar el reducido número de actuaciones y medidas que cada uno de los instrumentos analizados proponen.
4. En la mayor parte de los documentos de mitigación analizados, las zonas costero marinas carecen de interés. No se considera la potencialidad de este ámbito para hacer frente al cambio climático. En este sentido, las energías alternativas que aquí se desarrollan ofrecen muchísimas posibilidades: eólica *off shore*, maremotriz, etc. Además, atendiendo al contexto socioeconómico español, las zonas costeras son las principales generadoras de contaminación y las principales víctimas de sus efectos, no existiendo una relación entre los agentes causantes y los agentes que deben asumir el gasto en su respuesta. En el diseño y la propia metodología de elaboración de éstos prima la concepción terrestre.
5. La atención prestada a las zonas costeras en los instrumentos de adaptación también es escasa. Las pocas medidas propuestas se centran por lo general en la realización de estudios y evaluaciones costero marinos de distinta naturaleza. Las medidas hacen hincapié en el ¿qué hacer?, pero no en ¿cómo hacerlo? De esta manera, a excepción del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (OECC, 2006a), ninguno de los instrumentos estratégicos analizados incorpora como meta la gestión integrada de las zonas costeras.

6. Otro de los aspectos débiles de los documentos analizados se encuentra en la poca profundidad con la que se tratan las acciones y medidas propuestas, así como los programas complementarios dedicados a la financiación. Este hecho se puede entender en el caso de las estrategias y planes de la Administración General del Estado (OECC, 2006a; MMA, 2007) que asume la función de coordinación entre los compromisos internacionales y las políticas autonómicas, acordes con los preceptos constitucionales. En el caso de los documentos elaborados por las Comunidades Autónomas dichas debilidades se pueden justificar en un principio por su carácter estratégico, aunque creemos que tal circunstancia no es argumento para que ambos aspectos no cuenten con un mayor desarrollo. Se echa en falta el diseño de instrumentos operativos que incorporen el cambio climático en los criterios de gestión, la asignación de fondos y un calendario específico de actuaciones o de cumplimiento de objetivos en un espacio tan complejo, cambiante y frágil como el litoral.
7. En algunos documentos de adaptación, en referencia a las zonas costeras no hay correspondencia entre el diagnóstico que se hace y las medidas que se adoptan o proponen. Se asume la singularidad del litoral ante este reto, pero no se proponen las acciones adecuadas. En este apartado se debe hacer mención especial a la gestión integrada y el cambio climático en los archipiélagos canario y balear.
8. Son muy pocas las Comunidades Autónomas que han diseñado un instrumento estratégico de Gestión Integrada de Zonas Costeras (GIZC) en el que de manera explícita "reducir los efectos del cambio climático" sea un objetivo principal (Departamento de Medio Ambiente y Vivienda, 2004; Barragán *et al.*, 2008).

Sugerencias y recomendaciones

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático en su tercer informe de evaluación (IPCC, 2001b) señalaba que "*el cambio climático forma parte de la cuestión más general del desarrollo sostenible. Por esto, las políticas climáticas pueden ser más eficaces cuando se integran en estrategias más amplias concebidas para hacer más sostenibles las vías de desarrollo nacional y regional* ". Además, entre las conclusiones principales referidas a las zonas costeras (IPCC, 2001a) apuntaba que "*las opciones de adaptación son más aceptables y efectivas cuando están incorporadas en la gestión de las zonas costeras, los programas de mitigación de los efectos de los desastres, la planificación del uso de la tierra, y las estrategias de desarrollo sostenible*".

Por otra parte, como se indicaba en la primera parte de este trabajo, la Recomendación 2002/413/EC de la Unión Europea sobre GIZC propone que los estados miembros deben tener en cuenta un planteamiento estratégico basado en el reconocimiento, entre otros, de la amenaza que representa para las zonas costeras el cambio climático y los peligros que conlleva el aumento del nivel del mar y la violencia y frecuencia crecientes de los temporales. También, recientemente otro informe de la Unión Europea (Comisión de las Comunidades Europeas, 2007) reconoce que la GIZC contribuye a la creación de un marco apropiado para promover

estrategias integrales de reducción de los riesgos y adaptación al cambio climático en las zonas costeras, aprovechando los instrumentos existentes y los resultados de la investigación de la Unión Europea. Y considera que la adaptación al cambio climático y riesgos de la interfaz tierra-mar y de las zonas marinas son temas prioritarios para seguir promoviendo la GIZC.

Atendiendo tanto al informe como a la recomendación, y a la luz del análisis realizado en páginas precedentes, se considera muy necesario que tanto el Estado Español como las distintas Comunidades Autónomas creen un marco institucional adecuado que reoriente y respalde todas las actuaciones que afecten a las áreas litorales, y en el que se impliquen todos los organismos con competencias en este ámbito. La clave del éxito tiene que ver con la verdadera implicación de estos distintos organismos en el proceso (Administraciones públicas, agentes sociales y económicos).

Con todo, es necesario tomar medidas a escala regional y nacional con objeto que se den las condiciones necesarias para un correcto cumplimiento de los compromisos adquiridos, que giren en torno a los siguientes aspectos:

- Una política de gestión integrada de zonas costeras debe garantizar una cooperación/colaboración adecuada entre las administraciones públicas, los agentes sociales y económicos.
- Es relevante asegurar que las administraciones públicas asuman y ejerzan en la forma más coordinada posible sus competencias.
- Es muy recomendable que las Comunidades Autónomas y los ayuntamientos, dentro de sus respectivas competencias, impulsen y desarrollen planes, estrategias, iniciativas y programas tendentes a facilitar el cumplimiento de los objetivos del Protocolo de Kioto. Pero deben estar apoyadas por instrumentos operativos dotados de carga financiera y fijados en un calendario acordado con los principales agentes institucionales y en los que se vincule al sector económico (*e.g.* industria, turismo, transporte).
- En las zonas costeras son necesarias mayores medidas de adaptación a los efectos de un cambio climático ya imposible de evitar.
- Parece pertinente que desde una óptica global, todos los instrumentos de planificación frente al cambio climático se inserten en estrategias de GIZC. Y de la misma manera, las herramientas destinadas a la gestión de zonas costeras, el manejo de sus recursos o la ordenación de las actividades que se asientan en ella deben contemplar medidas de anticipación a los efectos del cambio climático.
- Resulta urgente que los instrumentos frente el cambio climático adoptados por las distintas CCAA sean más concretos en sus medidas, reconozcan e incluyan a las zonas costeras como principales agentes y víctimas del cambio climático.

Literatura citada

Barragán Muñoz, J.M., 2009. La gestión de los espacios y recursos costeros en España: Política e instituciones de una legislatura (2004-2008). En prensa.

Barragán, J.M., J.A. Chica, y M.L. Pérez, 2008. Propuesta de Estrategia andaluza de gestión integrada de zonas costeras. Cádiz: Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía: 255 p.

Chica Ruiz, J.A., 2008 Conservación y desarrollo en el litoral español y andaluz: Planificación y gestión de espacios naturales protegidos. Madrid. Editorial CEP. 391p.

Comisión de las Comunidades Europeas, 2007. Comunicación de la Comisión. Informe al Parlamento Europeo y al Consejo: evaluación de la gestión integrada de las zonas costeras (GIZC) en Europa. Bruselas, 7.6.2007. COM. 308 final. 11 p.

Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente, 2008. Estrategia de la Región de Murcia frente al Cambio Climático 2008-2012. Medio Ambiente: Gobierno Región de Murcia. 229 p.

Consejería de Industria, Comercio y Nuevas Tecnologías, 2006. Plan Energético de Canarias (PECAN), Gobierno de Canarias. 264 p.

Consejería de Industria, Comercio y Nuevas Tecnologías, 2008a. Estrategia canaria de lucha contra el Cambio Climático. Documento para participación ciudadana y consulta. Gobierno de Canarias: 110 p.

Consejería de Industria, Comercio y Nuevas Tecnologías, 2008b. Estrategia canaria de lucha contra el Cambio Climático. Documento síntesis para participación ciudadana y consulta. Gobierno de Canarias: 52 p.

Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, 2007. Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007 – 2013 (PASENER). Sevilla: Junta de Andalucía: 2007. 194 p.

Consejería de Medio Ambiente, 2002. Estrategia Andaluza de Cambio Climático. Sevilla: Junta de Andalucía: 2002. (http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente).

Consejería de Medio Ambiente, 2007. Plan Andaluz de Acción por el Clima 2007-2012 (PACC) -Programa de Mitigación. Sevilla: Junta de Andalucía: 144 p.

Consejería de Medio Ambiente, 2008. Estrategia de Acción frente al Cambio Climático en Cantabria 2008-2012. Gobierno de Cantabria: 2008. 157 p.

Conselleria de Comerç, Indústria i Energia, 2005. Revisión del Plan Energético Sectorial de las Islas Baleares. Memoria resumen. Palma: Govern de les Illes Balears: 50 p.

Conselleria de Medi Ambient, 2005. Estrategia Balear contra el Cambio Climático. Govern de les Illes Balears: 19 p.

Conselleria de Medi Ambient, 2008. Plá d´Acció per a la lluita contra el Camvi Climàtic 2008-2012. Govern de les Illes Balears: 139 p.

Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda, 2008. Estrategia valenciana ante el cambio climático 2008-2012. 125 medidas para la mitigación y adaptación al cambio climático. Generalitat Valenciana. 61 p.

Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible, 2008. Plan Galego de acción fronte ao Cambio Climático 2008-2012. Resumo Executivo. Xunta de Galicia. 152 p.

Conselleria de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, 2002. Estrategia valenciana para la gestión integrada de la Costa. Generalitat Valenciana. 50 p.

Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2008. Plan Vasco de Lucha contra el Cambio Climático 2008-2012. Gobierno Vaco: 104 p.

Departamento de Medio Ambiente y Vivienda, 2004. Plan Estratégico para la Gestión Integrada de las Zonas Costeras de Cataluña. Barcelona: Generalitat de Catalunya: 67p.

Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar (DGC), 2007. Estrategia para la Sostenibilidad de la Costa. Documento de Inicio. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. 21p.

Gobierno del Principado de Asturias, 2007. Estrategia marítima del Principado de Asturias. Gobierno del Principado de Asturias: 84 p.

Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC), 2001a. Tercer informe de evaluación. Cambio climático 2001. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico. Parte de la contribución del Grupo de trabajo II al Tercer Informe de Evaluación Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. PNUMA: 101.

Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC), 2001b. Cambio climático 2001: Informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas. PNUMA. 38 p.

Losada, I., 2004 Efectos del cambio climático en las zonas costeras. Previsiones y estrategias de adaptación. Universidad de Cantabria.

Medina Santamaría, R., 2006. El impacto del cambio climático en las zonas costeras españolas. *Ambienta*, 26-32.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA), 2007. Estrategia Española de cambio climático y energía limpia. Horizonte 2007- 2012 -2020. Gobierno de España. 52 p.

Moreno Rodríguez J.M., (Coord.), 2005. Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Proyecto ECCE. OECC-UCLM.

OECC, 2006a. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Marco para la coordinación entre administraciones públicas para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. 59 p.

OECC, 2006b Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Primer Programa de Trabajo. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. 16 p.

OECC, 2008. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Primer Programa de Trabajo. Primer Informe de Seguimiento 2008. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 61 p.

Oficina Española de Cambio Climático (OECC), 2005. Evaluación preliminar general de los impactos en España por efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente.

Vidal Hernández L.E., 2010. Análisis de capacidad de gestión ambiental ante el cambio climático en instrumentos de planeación de la costa de Quintana Roo. p. 789-810. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Análisis de capacidad de gestión ambiental ante el cambio climático en instrumentos de planeación de la costa de Quintana Roo

Laura Elena Vidal Hernández

Resumen

Las costas del Mar Caribe están sujetas a altos niveles de vulnerabilidad por erosión litoral, inundaciones persistentes de la planicie costera y deterioro de ecosistemas costeros, problemas acentuados por la variabilidad ambiental que induce el cambio climático y el impacto causado por diversas actividades productivas. Evidencias sobre los servicios ecológicos que los manglares prestan como mitigadores del impacto de diversos eventos hidrometeorológicos siguen compilándose en el mundo. El conocimiento de los manglares y de sus servicios ambientales en Quintana Roo, su servicio como barrera natural ante el impacto de huracanes, es muy incipiente. Este trabajo analiza aspectos de gestión ambiental asociados al riesgo por huracanes en la zona costera del estado en instrumentos de planeación como el Plan de Desarrollo (PD) y el Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial (POET). Se aplicaron criterios para evaluar la sustentabilidad institucional, enfatizando en el uso de estrategias de conservación y protección de los manglares. Los resultados muestran que existe desvinculación total entre estrategias de protección civil (PC) y criterios ecológicos reguladores del uso de suelo para disminuir la vulnerabilidad física de la costa al proteger manglares; y que existe vulnerabilidad gubernamental local para las comunidades costeras ante el riesgo relacionado al cambio climático. Entre las estrategias encontradas las más frecuentes son: diseñar planes de contingencia antes y durante los eventos climatológicos, rediseñar instrumentos normativos municipales sobre PC y mejorar la coordinación institucional en caso de contingencias. Se concluye sobre la necesidad de vincular las estrategias de PC con la conservación de humedales costeros

para enfatizar en su función como mitigador de vulnerabilidad física, y de reforzar sobre varios aspectos de gestión ambiental como políticas y financiamiento que limitan la capacidad institucional para responder eficientemente ante el cambio climático.

Introducción

Conclusiones derivadas del Panel Internacional sobre Cambio Climático (Day *et al.,* 2007) enfatizan en los altos niveles de vulnerabilidad en el Golfo de México y Mar Caribe por erosión litoral, inundaciones persistentes de la planicie costera e insustentabilidad de varias actividades productivas (*eg.* turismo); muchos de ellos derivados de la variabilidad ambiental que induce el cambio climático. También durante dicho Panel se hizo evidente que los humedales costeros son los "principales testigos" de cambios generalizados que incluyen: cambio de uso de suelo, colapso de recursos naturales, expansión urbana, degradación ambiental e incertidumbre en los métodos de restauración y manejo-ecosistémico de las zonas costeras.

Evidencias sobre los servicios ecológicos que los humedales costeros prestan como mitigadores del impacto de eventos hidrometeorológicos siguen compilándose en el mundo, principalmente en Asia. Las inmensas pérdidas en vidas humanas y bienes económicos y sociales ante los desastres causados por tsunamis y huracanes han inducido el análisis de los eventos meteorológicos como elementos de riesgo permanente y el análisis de la vulnerabilidad de diversas poblaciones costeras (Kesavan y Swaminathan, 2006)

Las sociedades actuales pueden responder a retos ambientales (riesgos y uso sustentable del ambiente) a través de la eficiencia de sus instrumentos de gestión ambiental legales e institucionales, y de programas y prácticas para la protección de la calidad del ambiente. Day *et al*. (2007) enfatizan en la necesidad de que los gobiernos ejerzan liderazgo para exigir que los planes tengan elementos para la mitigación de peligros costeros, pero a la vez deberían permitir máxima autonomía local o municipal para el desarrollo de estos planes.

Por tanto, este documento analiza de qué forma los instrumentos de planeación ambiental del estado de Quintana Roo contienen mecanismos adecuados para prepararse y responder ante eventos climatológicos intensificados por el cambio climático y si éstos vinculan la protección civil con la conservación y protección de humedales costeros como condiciones que permitirían disminuir su vulnerabilidad física y social.

El análisis de esta información es de utilidad para funcionarios de diversas secretarias de estado y de entidades de gobierno ya que proporciona elementos para dirigir la planeación ambiental y del desarrollo urbano y regional en función de la vulnerabilidad de las costas de Quintana Roo ante los fenómenos hidrometeorológicos intensificados por el cambio climático. Asimismo, proporciona evidencias de la necesidad de reforzar científicamente aspectos técnicos sobre la protección y uso de los humedales, particularmente manglares, a fin de asegurar la conservación de sus servicios ambientales.

Estado del arte

Riesgo y vulnerabilidad

El riego es resultado de una relación entre una condición de amenaza, exposición y vulnerabilidad. La amenaza o peligro es un factor externo a un sistema expuesto (por un tiempo y espacio determinados) con una probabilidad de ocurrencia y el potencial de causar daño. La vulnerabilidad, por su parte, es el nivel de susceptibilidad al impacto generado por una amenaza (Lein, 2003; Cardona, 2009).

La vulnerabilidad puede ser física o social (incluyendo la política). Mientras que la vulnerabilidad física es definida como la fragilidad o capacidad de los elementos expuestos para soportar la acción de fenómenos peligrosos; la vulnerabilidad social es la condición o grado de preparación que se gesta, acumula y permanece en una sociedad para prever, enfrentar y responder ante un evento desastroso (Blaikie, 1996) Según Cardona (1999 y 2001) la vulnerabilidad social está vinculada íntimamente con los aspectos culturales y el nivel de desarrollo de las comunidades, y surge como resultado del nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad socioeconómica. El mismo autor, considera también que en los países en vías de desarrollo la vulnerabilidad social es la causa de la vulnerabilidad física.

La comprensión del concepto de riesgo requiere de la integración multidisciplinaria de conocimientos (de ciencias naturales, sociales y aplicadas) para lograr su gestión efectiva (Cardona, 2001). Sin embargo, pese al notable avance científico y tecnológico en geofísica, geología, hidrología y meteorología, entre otras disciplinas, la predicción de la ocurrencia de un evento desastroso sigue si poder determinarse con certeza y precisión. Esta incertidumbre hace necesario construir también en el aspecto social o de gestión del riesgo para reducir el impacto de los desastres en el mundo. Maskrey (1994) y Cardona (2001) coinciden en que la gestión del riesgo colectivo incorpora tres políticas públicas distintas: la identificación del riesgo a través de la percepción individual, la representación social y la estimación objetiva; la reducción de riesgo a través de la prevención y la mitigación y; el manejo de desastres que atiende a la respuesta y la recuperación ante la amenaza. Esta necesidad de información ha impulsado el surgimiento de la Protección Civil, la cual, aunque no garantiza que las vidas y propiedades queden a salvo de los impactos de amenazas, si puede enfrentar el desafío de reducir la vulnerabilidad de las sociedades ante el peligro y con ello aumentar su sobrevivencia.

En México, la historia de la Protección Civil, surgió a consecuencia del impacto imprevisto de los terremotos del 19 y 20 de septiembre de 1985 en la Ciudad de México. En octubre del mismo año se creó la Comisión Nacional para la Reconstrucción y se estructuró el Comité de Prevención en Seguridad Civil. Actualmente a nivel federal existen, para atender asuntos relacionados con desastres, el CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres) y el Sinaproc (Sistema Nacional de Protección Civil). El Cenapred incentiva la investigación experimental en materiales que contribuyan a mitigar los impactos de los desastres (dismi-

nuir la vulnerabilidad física), pero también crea estrategias para reducir, prevenir y mitigar las consecuencias, incluyendo la generación de un Atlas Nacional de Riesgos. Por otro lado, el SINAPROC está encargada de la prevención de desastres a través del monitoreo de amenazas, programas de capacitación y programas de acción preventiva (alertas). Es importante destacar que el SINAPROC trabaja bajo un esquema de atención de los desastres con gestión "bottom up", es decir, el primer nivel de respuesta ante un desastre es el municipio afectado, seguido del apoyo de los municipios cercanos al municipio expuesto y del Estado y finalmente del apoyo del gobierno federal cuando las capacidades de respuesta se ven rebasadas subsecuentemente (CENAPRED, 2009). Desde 1985 la Secretaría de Gobernación dio a conocer que cada entidad federativa deberá contar con Comités de Prevención de Seguridad Civil contra desastres.

En Quintana Roo, estado localizado en la porción oriental de la península de Yucatán y perteneciente a la Región oceánica V del Caribe Mexicano (Rivera-Arriaga y Villalobos, 2001), la Protección Civil ingresa en la agenda pública cuando en 1985 se creó el Comité Estatal de Seguridad Civil y en 1987 se creó el Sistema Estatal de Protección Civil. En 1992, se constituye el Sistema de Protección Civil y la Dirección Estatal de Protección Civil y se publica la Ley del Sistema Estatal de Protección Civil. Desde abril del 2002, la Dirección Estatal de Protección Civil del Estado queda adscrita a la Subsecretaría de Protección Ciudadana de Quintana Roo con el objetivo de "*proteger a la sociedad*", a sus bienes y al entorno ecológico ante las eventualidades de un desastre provocado por agentes naturales o humanos de tal modo que se reduzcan o eliminen las perdidas y se evite interrumpir las funciones esenciales de la población (SSP-Quintana Roo, 2009)

Las funciones y atribuciones de la Dirección Estatal de Protección Civil del estado de Quintana Roo (2009) están centradas en la prevención y restablecimiento de las zonas afectadas por desastres; sin embargo, es claro que hay más interés en determinar y diagnosticar el riesgo a través del conocimiento oportuno de las amenazas y de enfrentar sus consecuencias una vez ocurrido el impacto, que en disminuir la vulnerabilidad (física y social) de la población. La vulnerabilidad sólo se resalta ante iniciativas de atención particularizada a algunos grupos sociales como escolares y pescadores, y a algunos bienes de infraestructura (incluidos los albergues e instalaciones públicas). Tal vez, la única atribución que podría incorporarse con mayor dominio al aspecto de vulnerabilidad física (en el sentido de bienes naturales) sería "*Integrar los atlas, directorios e inventarios correspondientes a personas, instituciones, bienes y servicios disponibles que se requieran para prevenir y atender contingencias, emergencias o desastres en áreas y actividades de riesgo*" (atribución VIII).

Efectos de eventos hidrometeorológicos en costas del Atlántico mexicano

Las zonas costeras del Atlántico mexicano están expuestas frecuentemente a diversas amenazas naturales: a) las inundaciones en periodos de "Nortes" o de lluvias intensas, b) los procesos costeros naturales como la erosión (asociada al impacto hidráulico de la acción de las olas

y del viento) y la formación de playas (acreción y erosión) y c) las tormentas tropicales desde septiembre de cada año (Lein, 2003). Registros de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) muestran que en la costa caribeña de México ha habido 614 eventos meteorológicos extremos (desde tormentas tropicales hasta huracanes categoria 5 en Escala Saffir-Simpson) desde 1949 hasta 2005. La mayor frecuencia e intensidad de tales eventos durante las últimas décadas se ha vinculado al cambio climático, aunque la discusión sobre el tema sigue vigente (Webster *et al.*, 2005; Anthes *et al*., 2006).

En Quintana Roo, algunos esfuerzos por identificar zonas de riesgo por eventos meteorológicos se han logrado. Se han determinando probabilidades de afectación con mareas de tormenta, de retorno y con origen en huracanes de divesas magnitudes (1 a 8 m) en diferentes periodos de tiempo (Salles de Almeida *et al.*, 2007). Sin embargo, estos avances han implicado mayor trabajo de simulación con modelos matemáticos que trabajo de campo con exploración de condiciones y efectos después de eventos meteorológicos ocurridos.

Para las costas de Quintana Roo la presencia de humedales ofrece amortiguamiento a todos estos procesos a través de sus servicios ambientales. Sin embargo justamente todos estos servicios se ven amenazados por la degradación antrópica de estos sistemas naturales (Ramsar, 2009).

Función ecológica de manglares en la mitigación de impactos hidrometeorológicos

Con la presencia más frecuente e intensa de huracanes y tsunamis en el mundo, las oportunidades de documentar los efectos y las condiciones que han atenuado o acentuado tales efectos se ha intensificado. En Asia, la investigación se ha centrado en determinar cómo los humedales disminuyen la vulnerabilidad de las costas y cómo se presenta su rol estructural y funcional clave en la estabilidad de la línea de costa.

Dahdouh-Guebas *et al.* (2005) proporcionaron evidencias sobre la función de los manglares para disminuir la vulnerabilidad física de la costa ante el impacto del oleaje después del tsunami de 2005 en Sri Lanka con base en una investigación realizada en 24 áreas de lagunas de manglar. Los autores concluyeron que los primeros 500 m de línea costera con manglares fueron capaces de proteger las villas costeras de la furia de viento y de las inundaciones causadas por el tsunami. Pero, mencionaron que existen tres factores que debilitan la habilidad de los manglares para ofrecer tal función de amortiguadores de impacto ciclónico: deforestación completa del manglar, crecimiento insuficiente de las plantas después de una deforestación y la mezcla excesiva de vegetación diferente al manglar con plantas adultas de manglar (proceso llamado degradación ecológica críptica). Dahdouh-Guebas *et al.* (2005) aclararon que esta habilidad de protección ante eventos ciclónicos también es ofrecida por otros sistemas de vegetación costera, como marismas y vegetación de dunas. Después del ciclon Orissa en octubre de 1999 y el tsunami en el Océano Indico en diciembre de 2004 se evidenció que los daños y pérdidas de vidas humanas fueron más severas donde los bosques de manglares había sido degradados

(Kesavan y Swaminathan, 2006). Hiraishi y Harada (2003) mostraron con un modelo analítico que 30 árboles de mangle en 100 m^2 en un cinturón de 100 m de ancho pueden reducir la presión máxima de flujo de un tsunami en más del 90%. Alongi (2008) ha reconocido que el sistema radicular aéreo y los tallos de *Rhizophora* spp. funcionan como barreras físicas contra el oleaje y otras influencias oceánicas, aunque depende de la densidad y diámetro de los mismos; además de que otras condiciones, como pendiente y batimetría, pueden determinar la magnitud de la absorción de energía.

Estimaciones recientes de Conabio sobre la superficie cubierta por manglares en México (Conabio, 2008) muestran que los manglares del estado de Quintana Roo cubren 64 755 ha, que corresponden a aproximadamente el 19% a nivel peninsular y al 15.6% a nivel nacional. Sin embargo, el estado no sólo posee humedales de manglar, también posee según las categorías de Ramsar (2009) al menos 19 tipos de humedales naturales (11 marinos costeros y 8 continentales) en 12 sitios Ramsar que en su totalidad cubren una superficie de 1 138 330 ha. Es decir, los manglares ocupan aproximadamente el 5.7% de la totalidad de los humedales en el Quintana Roo si incluimos sólo la información detallada de los sitios RAMSAR para mayo 2009. Es necesario resaltar que esta pequeña proporción en cobertura no esta relacionada con los bienes y servicios que los manglares aportan a las comunidades costeras.

Por otro lado, López Portillo y Ezcurra (2002) aseguran que uno de los principales problemas ambientales en México es la deforestación del manglar, con una tasa de pérdida anual de 2.5% a nivel nacional y una tasa del 12% en la zona del Caribe. Para el Quintana Roo no existe un inventario de los manglares (o de cualquier otro tipo de humedal), por tanto no se han reportado estadísticas sobre la tasa de pérdida anual local de estos ecosistemas. Diversos expertos en el área han notado que los humedales se pierden cada año en la región como consecuencia de la extracción no controlada de agua, crecimiento de asentamientos y el relleno de humedales con materiales de construcción, entre otros.

Gestión ambiental

La capacidad de gestión ambiental determina la habilidad de una sociedad para responder a retos ambientales a través de la eficiencia de sus instituciones de gobierno, programas y prácticas para la protección de la calidad del ambiente (Gilbreath, 2003). Semarnat (2000) definió que las estrategias de gestión ambiental de cada nación, es decir, la forma en que se decide sobre el uso y protección del ambiente, se construyen sobre cuatro planos de referencia básicos. El primero, se refiere a los aspectos internacionales (*e.g.* orden jurídico global, mecanismos internacionales de cooperación). Los otros tres planos hacen referencia a aspectos exclusivos de cada nación: Culturales (*e.g.* cultura, organización social y participación social), normativos (*e.g.* desarrollo de legislación ambiental) y políticos-administrativos (*e.g.* estructura de gobierno, competencias institucionales y articulación de órdenes de gobierno). Es relevante resaltar que los aspectos nacionales tienen mayor incidencia en la forma en que se usa y maneja el ambiente natural y sus recursos en nuestro país.

Algunos de los criterios propuestos para evaluar la sustentabilidad institucional o definir la capacidad de gestión ambiental de una nación son proporcionados por Charles (2001) para sistemas pesqueros y por Gilbreath (2003). La tabla 1 compila dichos criterios en los tres planos básicos nacionales mencionados anteriormente.

Las estrategias de gestión ambiental pueden incidir sobre un problema ambiental previniendo o planificando, controlando o respondiendo a sus efectos. El aspecto de planeación de la política ambiental mexicana, tiene su fundamento legal en la Ley de Planeación (DOF, 2003) que indica que la planeación nacional tiene como fin la ordenación racional y sistemática de acciones en materia de regulación y promoción de las actividades económicas, sociales, políticas, culturales, de protección al ambiente y aprovechamiento racional de los recursos naturales. Complementariamente, el aspecto de planeación ambiental se resalta en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) (DOF, 2008) que establece que en la Planeación Nacional del Desarrollo (PND) (Art. 17) deberán incorporarse los temas de la política ambiental y los criterios definidos en los Ordenamientos Ecológicos (OE).

A nivel local, la Ley de Planeación para el Desarrollo del Estado de Quintana Roo (DO Quintana Roo, 2007) expresa las prioridades de acción en todas las materias relevantes del estado, incluyendo la materia ambiental, de tal forma que los lineamientos de los instrumentos de política ambiental deberán ser incorporados en la planeación estatal y municipal con el fin de inducir que las acciones en los campos económico y social y del uso de suelo, concilien

Tabla 1. Criterios para evaluar capacidad de gestión ambiental según Charles (2001) y Gilbreath (2003).

Planos de referencia de gestión ambiental	Criterios
Normativos	Existencia de un régimen de regulación que adecuadamente determine necesidades ambientales. Competencia legal de las instituciones relevantes.
Político- Administrativos	Eficiencia del manejo medido como el nivel de éxito establecido por políticas de regulación y manejo; donde el indicador será mínimo si las estructuras no controlan la sobreexplotación y regulan a los usuarios. Nivel de prioridad que el gobierno dá a la protección del ambiente (financiamiento). Viabilidad institucional determinado por los niveles de financiamiento para proyectos a largo plazo y deseo político para mantener dichos proyectos. Calidad de la información disponible sobre causas de estrés ambiental y tasas de uso y deterioro ambiental (monitoreo) y habilidad para usar dicha información con propósitos de planeación y mitigación. Nivel de conocimiento y entrenamiento técnico de los manejadores (staff). Autoridades que refuercen las regulaciones ambientales. Eficiencia de manejo (éxito de políticas y regulación).
Sociales	Incorporación de factores socioculturales locales en el manejo y la planeación de los recursos, siendo estos elementos: métodos tradicionales de extracción, tradiciones, decisiones comunitarias, conocimiento ecológico, etc.

con los intereses de proteger el medio ambiente y preservar y aprovechar sustentablemente los recursos naturales.

Es decir, entre los planes y programas más relevantes por su incidencia directa en materia ambiental están los Planes Estatales y sus programas, los Planes Municipales y sus programas, los programas de Ordenamiento Ecológico Estatales y Municipales; y los programas de Desarrollo Urbano Estatal y Municipales

Para este documento se evaluaron dos grupos de instrumentos de planeación: Planes de Desarrollo (PD) Estatales y Municipales y Programas de Ordenamiento Ecológico Territorial (POET) Municipales aplicados en la zona costera del estado de Quintana Roo en los dos últimos periodos de gobierno (1999-2011). La capacidad de gestión ambiental se analizó a través de reconocer en tales instrumentos qué criterios son considerados como prioridades en aspectos relacionados con Protección Civil (PC) y con estrategias de conservación y protección de los humedales costeros.

Es interesante notar que en los apartados de diagnóstico o caracterización de los territorios a los cuales aplican los planes de desarrollo analizados, los humedales (manglares, tulares, etc.) son mencionados con frecuencia, pero nunca se hace mención a sus funciones ambientales y menos aún a la importancia de su conservación para mantener tales funciones.

La tabla 2 muestra como abordan los Planes de Desarrollo estatales y municipales que aplican a la costa los criterios proporcionados por Charles (2001) y por Gilbreath (2003) para evaluar la capacidad de gestión ambiental. Se incluyeron en el análisis: los Planes Estatales de Desarrollo (1999-2005 y 2005-2011) y los Planes Municipales de Desarrollo de Othon P. Blanco, Cozumel, Benito Juárez, Isla Mujeres, Lázaro Cárdenas y Solidaridad (2005-2008 y 2008-2011). A nivel estatal, se nota un avance en la cantidad de criterios de Protección Civil en los PD con dos criterios en el primer periodo de gobierno a cinco criterios en el segundo periodo. En el PD antiguo sólo se hace mención a: un aspecto de capacitación de personal (proporcionar elementos de juicio para fortalecer acciones de PC) y un aspecto relacionado con la infraestructura (impulsar la aplicación de planes de conservación rescate y saneamiento de lagunas, manglares y playas). Este último, aunque escueto en su contenido, es el único caso en que un criterio incluye una estrategia de protección de manglares implícitamente entre todos los PD estatales y municipales. Entre los criterios más comunes en los PD se encuentran aspectos de viabilidad institucional, de carácter normativo, social y de infraestructura. Son abundantes las estrategias que incluyen la elaboración de atlas de riesgos, conformación de comités y consejos de PC, programas de cultura en PC y la evaluación y creación de inmuebles (y albergues) resistentes a los eventos meteorológicos. También es clara la expectativa de que los Programas de Ordenamiento Ecológico sienten bases para el adecuado uso del territorio y la definición de actividades, aunque no se hace explicito en términos de protección civil si para disminuir la exposición ante amenazas o para disminuir la vulnerabilidad ante ellas. Esta expectativa puede haber surgido desde el periodo de gobierno estatal 1993-1999 ya que el cuidado de ecosistemas a través de planes de ordenamiento ecológico fue el único criterio de PC que se encuentra en ese plan de desarrollo.

Tabla 2. Presencia de criterios de capacidad de gestión ambiental en planes de desarrollo aplicables a la zona costera de Quintana Roo.

Planes	Político-administrativos				
	Políticas	**Financiamiento**	**Viabilidad institucional**	**Información (calidad sobre estrés y deterioro y habilidad de emplearla)**	**Capacitación de personal (nivel de conocimiento y entrenamiento técnico)**
Estatal 1999-2005					Proporcionar a las instancias correspondientes los elementos de juicio necesarios para el fortalecimiento de la policía turística y de acciones de protección civil.
Estatal 2005-2011			Desarrollar Planes Municipales de Desarrollo. Funcionamiento efectivo de los servicios públicos y su equipamiento estratégico en caso de grave riesgo colectivo, o desastre derivado del desencadenamiento de agentes perturbadores de origen natural o humano.	Integrar bases de datos y mapas de riesgo en coordinación con los municipios.	Capacitar y organizar al gobierno, para enfrentar los riesgos asociados a contingencias naturales.
OPB 2005-2008			Difundir planes de trabajo de comités operativos municipales ante incendios, accidentes de sustancias químicas y huracanes, efectuar simulacros de evacuación. Instrumentar y aplicar programas de prevención permanente y de atención inmediata a la ciudadanía.	Integrar los sistemas de información e inventarios para su utilización eficiente antes, durante y después de una contingencia (digitalizarlos). Elaborar del Mapa de Riesgo municipal y el Programa Prevención Permanente. Difundir medidas de prevención que deberá conocer la ciudadanía ante un desastre natural.	
OPB 2008-2011	Desarrollo de políticas ambientales (protección y cuidado de playas y de aguas costeras).		Implementar programas de atención a contingencias (implementar programas preventivos y operativos para atención de contingencias y desastres naturales, fortalecer planes de atención de riesgos.		
Cozumel 2008-2011		Gestionar un presupuesto para protección civil. Comité Consultivo multisectorial y multidisciplinario que dictamine la viabilidad de los proyectos ingresados a la ventanilla única. Generar incentivos para los prestadores de servicios y para que los desarrolladores apliquen prácticas sustentables en la ejecución de sus proyectos.	Comité Consultivo multisectorial y multidisciplinario que dictamine la viabilidad de los proyectos ingresados a la ventanilla única.		Capacitar al personal que desempeña funciones de protección civil. Dotar a la Dirección de PC con especialistas en el área de meteorología para recabar y difundir información climática a la población.

Tabla 2 (continuación). Presencia de criterios de capacidad de gestión ambiental en planes de desarrollo aplicables a la zona costera de Quintana Roo.

Planes	Político-administrativos				
	Políticas	**Financiamiento**	**Viabilidad institucional**	**Información (calidad sobre estrés y deterioro y habilidad de emplearla)**	**Capacitación de personal (nivel de conocimiento y entrenamiento técnico)**
Benito Juárez 2005-2008		Fortalecer la partida presupuestal para responder al evento meteorológico.	Fortalecer los compromisos y la coordinación de los sectores en respuesta a los eventos, difundir apropiadamente las recomendaciones en casos de contingencias.	Dotar de equipos de seguimiento de los fenómenos meteorológicos.	
Benito Juárez 2008-2011	Impulsar políticas ambientales orientadas a la protección, conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.	Lograr la formación de un patronato que con el apoyo comunitario al Consejo Municipal complemente el presupuesto operativo asignado a PC.	Realizar actividades de prevención de contingencias y mejorar la capacidad de atención ante ellas. Desarrollar campañas mediáticas ante la amenaza de un huracán. Incluir en el Sistema Municipal de Protección Civil los espacios para que se fomente y practique la protección civil entre diversos sectores.	Elaborar y actualizar el atlas de riesgo del municipio. Operar y actualizar de manera constante la Bitácora Ambiental del programa de Ordenamiento Ecológico Local. Aplicar y dar seguimiento a los indicadores ambientales conforme a la información estadística y de verificación de campo disponible.	Profesionalizar al personal de PC, sector público y voluntarios en actividades de prevención, auxilio y recuperación en caso de contingencias.
Isla Mujeres 2005-2008			Crear comités operativos en materia de PC y grupos voluntarios para identificar zonas susceptibles de riesgos y desastres. Elaborar y entregar material de divulgación en materia de PC.		
Isla Mujeres 2008-2011	Política transversal el compromiso con la responsabilidad ambiental y la sustentabilidad (con las dimensiones social, económico y ambiental)	Gestión de recursos estatales y federales para contingencias y para adquisición de equipo de las rutas de evacuación.	Creación de un Consejo Municipal de PC con comités para cada caso de contingencia. Diseño de un Plan Municipal de contingencia y capacitación continua en materia de PC que incluye el Atlas de Riesgos .	Diseño de Atlas de Riesgo. Estudio de Mapas de riesgo y diseño de rutas de evacuación.	Programas de Formación continua de personal en diferentes tipos de contingencias. Diseño e impresión de material didáctico para curso sobre PC.
Lázaro Cárdenas 20008-2011			Se repartirán trípticos en el municipio para informar a la ciudadanía sobre los diferentes eventos meteorológicos y medidas de precaución a tomar. Adquirir vehículos, equipos y herramientas para que el personal de PC pueda realizar sus funciones adecuadamente.		Capacitar al personal de PC para poder intervenir en cualquier desastre natural. Capacitar a los coordinadores de la Isla Holbox y puerto de Chiquila (por su vulnerabilidad al mar). Actualizar el conocimiento de los procedimientos a seguir en la consecución de fondos de desastres naturales, a fin de contar con mecanismos de respuesta rápida.

Tabla 2 (continuación). Presencia de criterios de capacidad de gestión ambiental en planes de desarrollo aplicables a la zona costera de Quintana Roo.

Planes	Político-administrativos				
	Políticas	**Financiamiento**	**Viabilidad institucional**	**Información (calidad sobre estrés y deterioro y habilidad de emplearla)**	**Capacitación de personal (nivel de conocimiento y entrenamiento técnico)**
Solidaridad 2005-2008		.	Mejorar la comunicación y coordinación entre organismos oficiales y privados que poseen equipamientos para apoyo solidario o subsidios en casos de desastres, siniestros y contingencias. Hacer más oportuna la respuesta ante las emergencias, mejorando y aumentando equipamiento, recursos humanos, instalaciones, parque vehicular, etc. encargados de brindar apoyo a los afectados de accidentes, siniestros y desastres.	Contar con Atlas Municipal de Riesgo.	
Solidaridad 2008-2011		Creación de un fondo contra contingencias municipales y para hacer frente las consecuencias de los desastres naturales.	Coordinar las actividades de prevención para fomentar la solidaridad y cooperación con organismos especializados, sean estos locales o foráneos, en materia de seguridad pública y PCI. Fortalecer y modernizar el Sistema Municipal de Protección.	Actualizar el Atlas de Riesgo para brindar a los turistas y a la población en general, la certeza de que ante cualquier contingencia la ciudad esta preparada para enfrentarlos y atender sus necesidades.	

Tabla 2 (continuación). Presencia de criterios de capacidad de gestión ambiental en planes de desarrollo aplicables a la zona costera de Quintana Roo.

Planes	Normativos	Sociales	Tecnicos	
	Régimen de regulación y reforzamiento	Educación ambiental		Infraestructura
Estatal 1999-2005				Impulsar la aplicación de los planes de conservación, rescate y saneamiento de las lagunas, manglares y playas.
Estatal 2005-2011	Actualización de marco legal en Protección Civil para incluir ordenamientos en las áreas de obras públicas y desarrollo urbano.	Capacitar a la sociedad para enfrentar riesgos asociados a contingencias naturales, siniestros catástrofes; crear planes y programas de contingencia.		
OPB 2005-2008	Promover respeto a las leyes ecológicas señaladas en nuestra constitución para prevenir desastres naturales.	Fomentar una cultura de PC entre la ciudadanía.	Diseñar, instrumentar y desarrollar el Plan Municipal de Protección Civil y demás instrumentos de planeación que nos permitan "prever" riesgos y contingencias. Atención de situaciones como evaluación de daños, seguridad y salvamento.	Instrumentar base de datos sobre infraestructura y servicios afectables.
OPB 2008-2011	Regular el uso de suelo y actividades a través de POET.	Fortalecer la cultura de PC (programas de formación, capacitación para enfrentar fenómenos meteorológicos, programas de simulacros de contingencias) y cultura ambiental.	Regular el uso de suelo y actividades a través de POET.	Fortalecer espacios de interacción entre sectores para definir acciones en materia de PC y edificios a ser utilizados como refugios y albergues.
Cozumel 2005-2011	Contar con sustento jurídico que permita reglar, normar y sancionar las actividades que incidan de manera directa e indirecta sobre alguna de las características del medio ambiente de la Isla de Cozumel.	Informar y sensibilizar a la comunidad de Cozumel sobre las características ambientales de la isla, su problemática, causas, efectos y soluciones (falta difusión estatal y municipal en cuanto a la protección de los ecosistemas.		
Cozumel 2008-2011	Vincular los reglamentos municipales de PC con los relativos a la ubicación, construcción y operación de inmuebles habitacionales, industriales y de servicios. Adecuar los reglamentos para utilizarlos como instrumentos de PC.			Vincular los reglamentos municipales de PC con los relativos a la ubicación, construcción y operación de inmuebles habitacionales, industriales y de servicios, Equipar a la Dirección de PC de la infraestructura apropiada para desempeñar sus funciones. Proveer a la población de refugios suficientes y seguros en caso de ciclones y huracanes.
Benito Juárez 2005-2008	Fortalecer la difusión de la legislación ambiental y ampliar la capacidad de detención de los infractores.	Fomentar la cultura de la preservación ambiental (tipos e importancia de los ecosistemas presentes en el municipio y medidas preventivas de deterioro) a la población estudiantil y a la comunidad en general.		Revalorar técnicamente las instalaciones empleadas en refugios.

Tabla 2 (continuación). Presencia de criterios de capacidad de gestión ambiental en planes de desarrollo aplicables a la zona costera de Quintana Roo.

Planes	Normativos	Sociales	Tecnicos	
	Régimen de regulación y reforzamiento	**Educación ambiental**		**Infraestructura**
Benito Juárez 2008-2011	Rediseñar el Reglamento Municipal para generar un nuevo orden municipal de protección civil en el cual se incluyan medidas preventivas, durante y después de contingencias. Realizar las modificaciones a los reglamentos municipales en materia ambiental.	Desarrollar programas que propicien un cambio cultural que transforme los hábitos ciudadanos. Impartir programas de educación ambiental y distribuir materiales de difusión	Dar continuidad a la operación de los Órganos Ejecutivo y Técnico de Evaluación y Seguimiento del POEL.	Promover la creación y operación de Unidades Internas de PC en empresas con inmuebles y espacios de alto riesgo a la comunidad.
Isla Mujeres 2005-2008	Instrumentar ordenamientos municipales en materia de PC para regular las actividades y sancionar a infractores.	Fomentar la participación ciudadana en programas de protección civil del municipio		Realizar estudios necesarios para evitar inundaciones y construir pozos de absorción para afrontar las consecuencias del paso de un fenómeno meteorológico.
Lázaro Cárdenas 2005-2008			Adquisición de equipo para atender necesidades en caso de una contingencia (un vehículo, una planta generadora de energía eléctrica, un equipo de radiocomunicaciones, portátiles y de base, motosierras, lámparas, impermeables y botas de hule).	Construcción de un mega refugio de usos múltiples, para albergar a las personas que así lo requieran.
Lázaro Cárdenas 20008-2011		Llevar acabo un programa de difusión y educación ambiental en todas las comunidades.	A través del POEL encontrar mecanismos para un desarrollo inmobiliario sustentable del medio ambiente	A través del POEL encontrar mecanismos para un desarrollo inmobiliario sustentable del medio ambiente.
Solidaridad 2005-2008	Revisar el cumplimiento de normas de seguridad en los sectores industriales y servicios, así como de lugares de eventos recreativos y artísticos.	Difundir un Plan Familiar de Protección Civil. Impartir cursos sobre PC en escuelas. Fomentar brigadas comunitarias de PC (qué hacer antes, durante y después). Alentar una cultura del riesgo para prepararse y capacitarse en la autoprotección.	Fortalecer el Sistema de Alerta Temprana para ciclones tropicales del municipio.	Efectuar acciones de prevención y evaluación estructural de inmuebles que representen riesgo para la integridad física de la población y su patrimonio.
Solidaridad 2008-2011	Modernizar el marco jurídico de protección civil, para elevar y dar certeza a las atribuciones del sistema municipal de protección civil.	Capacitar y organizar a la sociedad y gobierno para enfrentar los riesgos asociados a contingencias naturales, catástrofes en general y los derivados del crecimiento de la mancha urbana. Impartir cursos de capacitación, en materia de protección civil, en planteles educativos, al personal de las empresas y a la comunidad en general.		Proponer la construcción y/o rehabilitación de refugios anticiclónicos para el resguardo inmediato y temporal de la población vulnerable. Instrumentación de programas de mejoramiento a la vivienda que apoye a las familias de escasos recursos y de origen indígena en la mejora de sus hogares, para construir techos de mampostería, para hacerlas seguras en caso de huracanes.

En otro aspecto, sólo tres de los seis municipios analizados (Cozumel, Benito Juárez y Solidaridad) presentan estrategias de financiamiento derivado de otras fuentes de ingreso que no sea el estado o la federación (patronatos, incentivos a prestadores de servicios) para contar con un presupuesto municipal contra contingencias ambientales.

Finalmente, los criterios en los cuales existen menos iniciativas entre los PD son: desarrollo de políticas públicas y capacitación profesional sobre protección civil y sobre ciencias de la tierra relacionadas con las amenazas y los elementos de vulnerabilidad física en la costa (*e.g.* Meteorología, oceanografía, etc.). La única estrategia en que se promueve informar y sensibilizar a la sociedad sobre las características ambientales de su comunidad, lo cual podría vincularse a la conciencia de las situaciones de amenaza ante los huracanes y la vulnerabilidad en las que se vive, y además la conciencia de la necesidad de la protección de los ecosistemas que reducen el estado vulnerable, se presenta en el PD de Cozumel 2005-2011.

Por otro lado, el análisis de los POET se realizó en dos aspectos: uno a través de la estimación de la superficie destinada con distintos usos prioritarios y políticas ambientales. Y otro, a través de la compilación de los criterios generales y particulares de los programas de ordenamiento que hacen referencia a estrategias de conservación y protección de los humedales costeros.

Los Ordenamiento Ecológicos tienen como objetivo normar que el territorio sea utilizado con base en sus características fisiográficas, sociales y económicas de tal forma que sus recursos se aprovechen sustentablemente y se proteja el ambiente. En la actualidad, la costa de Quintana Roo esta regulada por seis POET decretados que en total cubren una superficie de 656 118 ha: POET Corredor Cancún-Tulum, POET Sian Ka án, POEL Benito Juárez, POET Costa Maya, POEL Cozumel, POEL Isla Mujeres (DO Quintana Roo, 2002a; 2002b; 2002c; 2005a; 2006; 2008). También existen tres POEL (Solidaridad, Lázaro Cárdenas y Cozumel) en proceso de elaboración o evaluación.

La tabla 3 muestra que, según datos proporcionados por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del estado de Quintana Roo (SEDUMA), entre los OET publicados del estado, la conservación, protección o preservación del territorio representan la política con mayor cobertura en superficie (en su mayoría mayor al 50%), seguida por el aprovechamiento (de 7% a 47%) y en mucha menor proporción la restauración (5% a 16%). Por su parte entre los usos predominantes, la mayor superficie corresponde a áreas naturales, corredores naturales y, flora y fauna (con valores cercanos a 20% y superiores a 45%).

Un valor muy importante a resaltar aquí es que entre los ordenamientos ecológicos sólo el 45.6% de superficie ordenada del municipio de Isla Mujeres corresponde al uso prioritario de Servicios Ambientales. Esta Unidad de Gestión Ambiental (UGA 4) corresponde a la Sabana Salsipuedes en la parte continental del municipio y es una zona de captación de agua pluvial de la cual se extrae el agua que se suministra a la ciudad de Cancún. Su política definida es de preservación y los recursos y procesos prioritarios definidos son: humedal, flora y fauna, con el siguiente lineamiento:"*Mantener la zona como captador de agua pluvial y vaso regulados de inundaciones en ecosistemas aledaños durante eventos meteorológicos de gran magnitud*".

Tabla 3. Proporción de la superficie territorial de la costa de Quintana Roo cubierta por políticas ambientales y usos predominantes definidos en los Programas de Ordenamiento Ecológico

		Políticas				**Uso predominante**										
POET **Superficie total (ha)**		Aprovechamiento	Conservacion, Protección y Preservación	Restauración	Área natural	Corredor natural	Servicios Ambientales	Flora y fauna	Forestal	Agroforestal	Ecosistemas costeros	Marino	Urbano	Turístico	Minería	Aprovechamiento
Corredor Cancún-Tulum	182 173	9.6	74.3	16.1	0.7	5.6	0.0	52.1	27.7	0.0	0.0	0.0	10.9	3.0	0.0	0.0
Sian Kaan	68 890	0.0	100.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.1	0.0	0.8	0.0	0.0
Benito Juárez	135 268	47.2	40.2	12.6	65.2	0.0	0.0	0.0	7.6	0.0	0.0	0.0	18.4	7.2	1.6	0.0
Costa Maya	118 007	1.7	98.3	0.0	12.5	45.5	0.0	36.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	2.5	0.0	0.0
Cozumel	65 057	6.8	93.2	0.0	17.2	58.6	0.0	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	2.6	0.0	0.0
Isla Mujeres	86 723	35.9	59.5	4.6	3.7	0.0	45.6	0.0	10.9	15.9	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	20.8

Los criterios generales y particulares de los POET que hacen referencia a estrategias de conservación y protección de los humedales costeros fueron separados en cinco categorías generales de aplicación según su contexto en los programas (construcción, caminos, aguas, aprovechamiento de flora y fauna) (tabla 4).

Los criterios definidos en los POET analizados incluyen una muy amplia gama de indicaciones sobre lo que debe y no hacerse en zonas inundables, de humedales o en zonas de manglar particularmente; y la mayoría contempla aspectos clave en la conservación de tales sistemas ecológicos como son: evitar la pérdida del flujo hídrico natural y su calidad, evitar la deforestación masiva, evitar el relleno de suelos inundados, promover la protección de especies faunísticas importantes (cangrejos, manatis, cocodrilos) y su libre tránsito. Sin embargo, aún existen varios aspectos técnicos por mejorar como: aclarar en función de qué se calculan las distancias entre obras de infraestructura y caminos a los manglares, no existen criterios homogéneos a tomarse en cuenta en cuanto a la cobertura de posibles zonas de manglar ocupadas o aprovechadas (proporción aceptable por alterarse), hay muchas especies de gran importancia en estos sistemas que no se mencionan (como las aves acuáticas). Además, según la revisión de los tres factores identificados por Dahdouh-Guebas *et al.* (2005) que debilitan la habilidad de los manglares para ofrecer tal función de amortiguadores de impacto ciclónico: deforestación completa del manglar, crecimiento insuficiente de las plantas después de una deforestación y la mezcla excesiva de vegetación diferente al manglar con plantas adultas de manglar; el primero es el único que se podría cumplirse bajo tales criterios de uso. No hay ninguna referencia a la importancia de asegurar la madurez de los ejemplares manglares que se conserven o a evitar

Tabla 4. Criterios generales y particulares sobre conservación y protección de humedales en los POET de la costa de Quintana Roo.

Construcción	Campamentos de construcción nunca deben ubicarse sobre humedales. Se prohibe el uso de explosivos, dragados, rellenos y construcciones en zonas de manglar. En todas las edificaciones, la iluminación externa en las vialidades, fachadas, pasillos y balcones evitando que llegue al manglar. La utilización de humedales estará sujeta a autorización de impacto ambiental que garantice mantenimiento de los procesos geohidrológicos, calidad de agua, flujo de nutrientes y diversidad biológica. Las obras de ingeniería que se realicen sobre humedales deberán contar con autorización en materia de impacto ambiental. No se permite la construcción de obras de ingeniería en humedales. En los proyectos de desarrollo deberá dejarse una franja mínima de 20m de amortiguamiento con vegetación sin desmontar alrededor de los ecosistemas de manglar. No se permitirá la construcción de infraestructura ni edificaciones en áreas bajas inundables, zonas de manglares y sistemas lagunares. Se prohíbe la construcción de cabañas ecoturísticas en zonas bajas inundables, la eliminación de la vegetación nativa y el relleno del área. Donde este autorizada la construcción de edificaciones podrá llevarse después de las zonas de dunas, siempre y cuando no requiera relleno de áreas inundables ni modifique el patrón natural del escurrimiento y flujos de agua hacia la costa. En la costa nororiental se podrán construir dos cuartos por hectárea (preferentemente palafitos elevados), bajo las condicionantes de protección establecidas para zonas costeras inundables. Deberán sujetarse a las normas para la protección de la vegetación nativa inundable y el tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos, evitando el relleno de las zonas bajas. Se permitirá la instalación de campos de golf en la zona norte de la Isla y en la zona para la reserva urbana, en unidades ambientales de fragilidad media alejadas de los principales sistemas arrecifales y zonas inundables a los que se prohibe modificar y hacia los cuales se evitara la interrupción de flujos de agua superficiales. Las cimentaciones no deben interrumpir la circulación del agua subterránea entre el humedal y el mar. Los proyectos en predios cuya vegetación original sea el manglar, deberán incluir en las áreas de jardinería, reforestación y/o arborización ejemplares de especies de mangle, cuya presencia deberá ser, al menos, del 50 % de la totalidad de los ejemplares utilizados. Los accesos a través del humedal únicamente podrán abrirse cuando: exista una distancia mínima de 2 km al más cercano y obra se realice en menos del 5 % de la superficie ocupada por manglar. Sólo se permite el establecimiento de infraestructura en zonas con manglar cuando la obra se realice en menos del 5 % de la superficie ocupada por este tipo de vegetación. No se permite la construcción de viviendas, ni infraestructura permanente para hospedaje o servicios en la zona comprendida entre el litoral y el parteaguas de la duna ni entre el borde del sistema acuático y el límite de distribución de los manglares. Los materiales producto del dragado, deberán ser dispuestos en áreas especialmente acondicionadas que permitan evitar que los sedimentos invadan la vegetación nativa, cuerpos de agua y áreas inundables. En los fragmentos cubiertos con vegetación inundable, sólo se permite la instalación de infraestructura de apoyo de manera temporal, cuando se construya sobre pilotes y de preferencia con materiales biodegradables.
Caminos	Caminos paralelos a costa deben ubicarse entre duna y humedal dejando pasos de transito para fauna. Caminos existentes en humedales o zonas inundables deberan adecuarse con puentes, pilotes o colgantes que garanticen flujos hidrodinámicos con alcantarillas, puentes u otras estructuras. Se prohiben realizar caminos sobre humedales. Los canales de navegación estarán sujetos a un monitoreo que permita evaluar la calidad del agua y establecer medidas que eviten la contaminación hacia humedales, manglares. No se permite la pavimentación de los caminos costeros existentes. Se permite la construcción de 1 camino de acceso no pavimentado a cada 100 m a los predios de propiedad privada, con una amplitud máxima de 4 m. Si los caminos caen en manglares, se deberán hacer puentes. No se permite la desecación de humedales, tala y relleno del manglar, con la excepción de las podas autorizadas por la Semarnat para la instalación de infraestructura menor que se requiera tales como accesos peatonales, senderos y muelles rústicos. El trazo de nuevas vialidades deberá evitar la alteración, modificación o destrucción de manglares.
Aguas	No debe disponerse agua tratadas en manglar. En zonas inundables no se permite la alteración de los drenajes naturales principales. La disposición final de efluentes con tratamiento, en manglares y humedales, será posible únicamente previa autorización en materia de Impacto Ambiental tomando como límites máximos permisibles los establecidos para la protección de vida acuática (Nom-001-Semarnat-1996). En zonas inundables se prohíbe la alteración de los flujos de agua principales y escurrimientos estacionales (lagunas costeras). En las zonas inundables, las vías de acceso terrestre vehicular deberán permitir los flujos y reflujos de agua superficial y subterránea de los ecosistemas. El cálculo del diámetro para los pasos de agua debe tomar en cuenta el volumen máximo de agua que circula durante eventos extraordinarios de precipitación. Se deberán rehabilitar los canales de comunicación entre los manglares que estén alterados por construcciones. Se prohíbe estrictamente el vertimiento de residuos líquidos y sólidos a cuerpos de agua y zonas inundables.

Tabla 4 (continuación). Criterios generales y particulares sobre conservación y protección de humedales en los POET de la costa de Quintana Roo.

Flora y fauna	En las áreas con presencia de manatí (*Trichechus manatus*), no se permite modificar el contorno costero de las caletas, eliminación del manglar y pastos marinos ni la alteración de la calidad de agua. Durante los meses de agosto y septiembre se deberán restringir las actividades en las zonas de manglar como medida de protección a las especies de cangrejo azul (*Gecarcinus* sp.), cangrejo violinista (*Uca* sp.) y biota asociada a los manglares en su periodo reproductivo. La factibilidad ambiental de cualquier proyecto en zonas inundables debe garantizar el flujo y reflujo superficial y subterráneo del agua, así como el movimiento de las especies. Se deberá restaurar la vegetación de las zonas inundables (costa nororiental) afectadas por los huracanes y por la modificación del flujo de agua producida por la carretera. No se permite hacer ninguna modificación en los manglares que se ubican en las orillas de los cuerpos de agua interiores, según lo dispuesto en la Ley General de Aprovechamiento Forestal Sustentable. No se permite eliminar manglar y modificar el contorno costero. Los promoventes de desarrollos o actividades en área de humedales o próximas a éstos, deberán coordinarse con la autoridad para la conservación de las especies asociadas, particularmente cangrejos y cocodrilos.
Aprovechamiento	El aprovechamiento de los manglares y humedales dentro de las ANP estará supeditado a los lineamientos y consideraciones de su Programa de Manejo y en concordancia con lo dispuesto en la Nom-022-Semarnat-2003, así como la autorización de la autoridad competente en materia de impacto ambiental. El uso extractivo, obras y actividades en el manglar y los humedales estará sujeto a las disposiciones de las Nom-059-Semarnat-2001, Nom-022-Semarnat-2003, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambienta, la Ley General de Vida Silvestre y la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y sus Reglamentos. Las áreas de manglar no podrán utilizarse para ninguna actividad productiva. El aprovechamiento, tala y relleno del manglar en ningún caso deberá de exceder el 10% de la cobertura incluida en el predio. La porción a desmontar en aprovechamiento de manglar no deberá rebasar el porcentaje de despalme permitido para el predio. Se permite el uso ecoturístico de contemplación de naturaleza, senderismo, campismo y paseo fotográfico del manglar y de humedales. En el desarrollo de proyectos turísticos se deberán mantener los ecosistemas excepcionales como manglares. Se prohíbe el aprovechamiento de mangle en las zonas de protección. En las áreas de conservación el aprovechamiento deberá cumplir con las disposiciones de la Norma Emergente para el Aprovechamiento de Humedales. La eventual utilización de las zonas inundables estará sujeta a la autorización de impacto ambiental que incluya estudios de geohidrología, geomorfología, topografia, flujos y reflujos de agua, aporte de nutrientes, calidad del agua, composición de especies. La prestación de servicios turísticos en ecosistemas costeros o marinos con presencia de manglar, zonas inundables, colindancia de arrecifes, selva y/o presencia de flora y fauna consideradas en la Nom Ecol-059, serán determinados mediante una manifestación de impacto ambiental, la cual deberá garantizar el mantenimiento, características estructurales y funcionales del ecosistema y desarrollar las medidas de mitigación y monitoreo. Para garantizar el acceso y disfrute de los espacios naturales como bien común; tales como dunas costeras, playas, manglares, mar, entre otros, la autoridad municipal debe elaborar e instrumentar un programa de equipamiento e imagen urbana que asegure la visual paisajística de los espacios naturales, el acceso público a las zonas federales y su correspondiente equipamiento

degradación ecológica críptica. Tampoco se hace referencia alguna a la densidad de manglar que debe conservarse, aspecto muy importante según Hiraishi y Harada (2003) para hacer eficiente la reducción de la presión del oleaje ante un evento hidrometeorológico. Estos aspectos particulares deberán incluirse si se desea asegurar el servicio ambiental de amortiguamiento de oleaje de los manglares.

Lecciones aprendidas

No hay evidencias de que los instrumentos de planeación ambiental del estado de Quintana Roo atiendan explícitamente la disminución de la vulnerabilidad ante eventos meteorológicos intensificados por el cambio climático a través de la conservación y protección de manglares u otros humedales costeros. Es decir, esta función ambiental de los manglares es ignorada en las estrategias para prevenir o mitigar el impacto de los huracanes y tormentas tropicales.

Las agendas de planificación del desarrollo del estado en Quintana Roo van incorporando cada sexenio mayor número de estrategias de protección civil para prever o responder adecuadamente a los eventos meteorológicos; sin embargo, aún existen aspectos importantes que incluir; por lo que podría decirse que la capacidad de gestión ambiental en aspectos de protección civil debe incrementarse. A nivel municipal, los planes de desarrollo sí incluyen más estrategias de gestión al respecto de la protección civil que a nivel estatal; para el periodo 2008-2011, cinco de seis Municipios contienen en su PD del 30%-40% de los criterios analizados. El municipio de Benito Juárez es el municipio que para el periodo 2008-2011 contiene al menos una estrategia para cada uno de los criterios analizados. Es notable, que a excepción del PD de Lázaro Cárdenas (periodo 2008-2011) que hace explicita la vulnerabilidad al mar de una parte de su territorio (Isla Holbox y Puerto de Chiquila), ningún otro PD muestra evidencias de identificar su vulnerabilidad física al "mar" por eventos climatológicos.

El análisis de los POET evidenció que pese a la amplia variedad de humedales costeros que existen en el estado su importancia, a través de los servicios ambientales que prestan, es reconocida de manera muy marginal. Sólo en un municipio, Isla Mujeres, poco menos de la mitad del territorio ordenado está preservada por sus servicios ambientales relacionados con las inundaciones de ecosistemas aledaños durante eventos meteorológicos, cuando todos los municipios con frente al Caribe poseen la misma exposición a tales eventos. Nada hace referencia al servicio ecológico de barrera natural de los humedales del estado.

Los criterios definidos en los POET para lograr la conservación de los manglares obedecen a lineamientos generales; sin embargo, es probable la información científica y técnica que respalde aspectos sobre distancias óptimas o adecuadas para limitar el impacto de actividades antropogénicas en estos sistemas deba particularizarse para cada zona.

Sugerencias y recomendaciones

La capacidad de respuesta ante los efectos del cambio climático está en función directa de la aplicación de una planificación bajo un esquema preventivo y dirigido eficazmente. Este estudio puede profundizarse a través del análisis minucioso de la implementación y operación de cada una de las estrategias planteadas en los instrumentos de planificación. Aún así, por el momento las recomendaciones para incluir en la planificación de los territorios costeros del estado es considerar su vulnerabilidad física con mayor profundidad y compromiso y por tanto reforzar su vulnerabilidad política con las ideas siguientes:

- Definir políticas públicas estatales ambientales que logren incrementar la percepción de riesgo en la sociedad y en los planificadores poder introducir mecanismos de prevención a través de proteger los humedales (particularmente los manglares que prestan servicios de protección ante huracanes);
- Definir formas alternativas de financiamiento estatal y municipal que aseguren medidas adecuadas de prevención y respuesta ante eventos meteorológicos;

- Definir financiamiento para la investigación en ciencias sociales que identifiquen las capacidades de la sociedad para prever y enfrentar eficientemente huracanes y tormentas tropicales;
- Definir políticas públicas estatales que eviten la construcción de infraestructura en zonas que ofrezcan servicios ambientales de protección ante huracanes (*e.g.* playas, dunas costeras, humedales costeros, etc);
- Identificar necesidades de coordinación interinstitucional e intermunicipal para reforzar mecanismos de prevención y atención de eventos meteorológicos en la costa del estado;
- Definir financiamiento para la investigación en ciencias de la tierra (*e.g.* oceanografía, ecología, meteorología) que permitan conocer mejor cómo funcionan los humedales costeros locales ante el huracanes y tormentas tropicales, y con ello facilitar el diseño de estrategias para su protección;
- Los municipios deberán incentivar la búsqueda del conocimiento sobre la ecología de sus manglares que den carácter de identidad a sus planes de desarrollo y de uso del suelo;
- Rescatar dentro de las atribuciones de la Dirección Estatal de Protección Civil la integración de información sobre los bienes y servicios que se requieren para prevenir contingencias ambientales e incluir la importancia de asegurar la función natural de protección de los manglares.
- Incluir con mayor interés y compromiso en los Programas de Ordenamiento Ecológico el uso prioritario de servicios ambientales en aquellos territorios con manglares para rescatar su importancia ecológica en función de la Protección Civil.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUMA) y a la SEDARI por el material brindado para este análisis. También se agradece al Dr. Jorge Correa por sus comentarios e información para la elaboración de este documento.

Literatura citada

Alongi, D.M., 2008. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine Coastal and Shelf Science,* 76 (2008). 1-13.

Anthes, R.A., R.W. Corell, G. Holland, J.W. Hurrell, M. MacCracken, y K.E. Trenberth, 2006. Hurricanes and Global Warming—Potential Linkages and Consequences. *Bulletin of the American Meteorological Society,* 87: 623-628.

Blaikie P., F. Cannon, I. David, y B. Wisner, 1996. Vulnerabilidad, El entorno Social, Político y económico de los desastres. La Red, Red de Estudios sociales en Prevención de desastres en América Latina. Disponible en http://www.desenredando.org/public/articulos/2003/rmhcvr/index.html

Cardona O.D., 1999. Environmental Management and Disaster Prevention: two related topics: A holistic risk assessment and management approach. *In:* J. Ingleton (ed.), Natural Disaster Management, IDNDR, Tudor Rose, 1999.

Cardona O.D., 2001. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión. International Work-Conference on vulnerability in Disaster Theory and Practice , 29-30 junio 2001. Disaster Studies of Wageningen University and Research Centre, Wageningen Holanda, 2003. Disponible en: http://www.desenredando.org/public/articulos/2003/rmhcvr/index.html

Cardona O.D., 2003. La necesidad de repensar de manera holistica los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión. Disponible en http://www.desenredando.org/public/articulos/2003/rmhcvr/index.html

Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2009. Coordinación General de Protección Civil. México. Disponible en: <http://www.cenapred.unam.mx/es

Charles, A., 2001 Sustainable Fishery Systems, Blackwell Science, Oxford.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), 2008. , Manglares de México. Conabio. México.

Day, JW., C. Ibáñez Martí, J. S. Jacob, A. Tejeda y A. Yañez-Arancibia, 2007. La zona costera en crisis en el Golfo de México, el Caribe y el Mediterráneo, Panel Internacional sobre cambio Climático Instituto de Ecología A.C. ,Xalapa Ver.

Dahdouh-Guebas F., L.P. Jayatissa, D.Di Nitto, J.O. Bosire, D. Lo Seen y N. Koedam, 2005. How effective were mangroves as a defence against the recent tsunami?. *Current Biology,* 15:443-447.

Diario Oficial de la Federación (DOF), 2003. Ley de Planeación. 13/06/2003.

Diario Oficial de la Federación (DOF), 2008. Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Diario Oficial de la Nación, México, 16/05/2008.

Gilbreath, J. 2003. Environment and development in Mexico. Recommendations for reconciliation, Yale Center for Environmental Law and Policy, Washington.

Hiraishi T., y K. Harada, 2003. Greenbelt Tsunami Prevention in South-Pacific Region. Reports of the Port and Airport Research Institute 42: 3-25.

Kesavan, P.C. y M.S. Swaminathan, 2006. Phil. *Trans. R. Soc. A*., 364: 2191-2216.

Lein, J.K., 2003 Integrated Environmental Planning, Blackwell Science. UK. 2003.

López Portillo J., y E. Ezcurra, Los manglares de México: una revisión. *Madera y Bosques*, Número especial: 27-51.

Maskrey, A., 1994. Comunidad y desastres en América Latina: estrategias de intervención. p. 14-38. *In:* Allan Lavell (Ed.), Viviendo en riesgo: comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina. LA RED Tercer Mundo Editores, Bogotá. 285 p.

Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo, 2002a. POET Corredor Cancún-Tulum, 16/11/2002.

Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo, 2002b. POET Sian Ka án, 14/05/2002

Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo, 2002c. POEL Isla de Cozumel y su área de influencia, 21/05/2002

Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo, 2005. POEL Benito Juárez, 20/07/2005

Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo, 2006. POET Costa Maya, 31/10/2006

Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo, 2007. Ley de Planeación para el Desarrollo del Estado de Quintana Roo, 30/03/2007.

Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo, 2008. POEL Isla Mujeres, 8/04/2008.

Ramsar, 2009. The annotated Ramsar list of Wetlands of International Importance: Mexico. Disponible en: <http://www.ramsar.org/profile/profiles_mexico.htm>; 2009

Rivera-Arriaga, y G. Villalobos, 2001. The Coast of Mexico: Strategies for its Management. *Ocean & Coastal Management*, 44(11-12): 729-756.

Salles de Almeida, P. A., C.A. Sara, R. Silva, y A. Iturbe, 2007. Atlas de Riesgo Oceanográfico del Estado Ver 2.0., Programa de Prevención y manejo de recursos naturales del estado de Quintana Roo. UNAM. DCI-UQROO, Chetumal México.

Secretaría de Seguridad Pública Quintana Roo, 2009. Disponible en: http://www.sspqroo.gob.mx/ProtCivil

Semarnat, 2000. La Gestión Ambiental en México. Secretaría de Medio Recursos Naturales y Pesca. México.

Webster, P.J., G.J. Holland, J.A. Curry, y H.R. Chang, 2005. Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment. *Science*, 309:1844-1846.

Cambio Climático en México
un Enfoque Costero y Marino

Formación
de recursos humanos

Muñoz, N.P., y M. C. Martínez, 2010. Tendencias mundiales de las nuevas carreras para el cambio climático, p. 813-824. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Tendencias mundiales de las nuevas carreras para el cambio climático

Norma Patricia Munoz S. y María Concepción Martínez R.

Resumen

No se puede entender el cambio climático desde una área del conocimiento, se requiere la vinculación de las ciencias sociales y naturales, así como el estudio de diferentes tecnologías que combinadas nos ayuden a la solución de problemas, innovación y desarrollo para las nuevas situaciones económicas, políticas y naturales que se presentan bajo el cambio climático. El cambio climático es un reto, implica para el sector académico el trabajar en equipo con otras diciplinas, mantenerse en constante actualización, reconsiderar nuestros tiempos de respuestas y establecer la dirección de las investigaciones a desarrollar. El presente trabajo presenta la oferta educativa a nivel posgrado actual a nivel internacional ya que, México requiere trabajar en la creación de posgrados relacionados al cambio climático, tenemos una gran oportunidad enfrente de nosotros ¿tendremos la visión suficiente para lograrlo?, o continuamos en la comodidad de nuestros programas e investigaciones no renovadoras pero si conservadoras de un México permanentemente en vías de desarrollo.

El cambio climático es un tema complejo, para entender éste requerimos de investigación científica de vanguardia, así como de una cooperación y acción sin precedentes.

¿Cuáles son las propuestas a nivel internacional en estudios de posgrado para enfrentar el cambio climático?

Oferta educativa en materia de cambio climático

Unión Europea

Alemania

1) Universität Bayreuth; Global Change Ecology Master, un programa con especial atención a la vinculación de las ciencias naturales de vista sobre el cambio global, con enfoques en disciplinas de las ciencias sociales.
2) Universität Stuttgart; con el programa de maestría en ciencias con especialidad en control de calidad de aire, residuos sólidos, y aguas residuales.
3) Universität Bremen, M.Sc. Marine Geosciences, el programa promueve aspectos geocientíficos de clima, recursos y tecnologías en el medio marino, ofrece cursos en los procesos biogeoquímicos, cambio climático, etc.

España

1) Grupo de Formación Escuela de Empresa, Master en gestión y conservación del medioambiente: desarrollo sostenible y el cambio climático; Maestría a distancia.
2) Universidad Complutense de Madrid (UCM), Magíster Universitario en Eficiencia Energética y Cambio Climático: Tecnologías y Medidas, el objetivo es atender la demanda progresiva de conocimiento especializado en una temática emergente y dinámica para un nivel de capacitación profesional en el que los especialistas son escasos.
3) Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Máster en Cambio Global y doctorado en cambio Global; el programa tiene entre sus objetivos proporcionar conocimientos avanzados sobre los problemas relacionados con el funcionamiento del Sistema Tierra y las perturbaciones asociadas al cambio global.

Finlandia

1) Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto, Master's Degree Programme in Energy Technology, formación en el tema de la biotecnología de la energía, la tecnología de la energía del medio ambiente, todo lo relacionado con la gestión del sector energético, en donde se requiere un entendimiento amplio y multidisciplinario de diversas tecnologías.

2) Kuopion Yliopisto, Master's Programme in Atmosphere-Biosphere Studies, programa multidisciplinario en la investigación ambiental, con la participación de la educación versátil en las ciencias del cambio global: la física y la química atmosférica, la meteorología, la geografía física, biogeoquímica, y la ecología.
3) Helsingin Yliopisto, Master Degree Programme in Atmosphere-Biosphere Studies, es una actividad conjunta de seis universidades, todas ellas situadas en los países nórdicos, dentro de los temas del programa se encuentran: el cambio climático y los ecosistemas-atmósfera, fuerte formación multidisciplinar en cuestiones ambientales.

Holanda

1) Universiteit Utrecht: a) Physical Geography Master, b) System Earth Modelling Master, basada en el sistema de modelado de la tierra, c) Biogeology Master, todas impartidas en inglés
2) University Dronten, imparte cursos sobre innovación y desarrollo rural internacional, capacidad de adaptación a nuevas situaciones.
3) VU University Amsterdam, Ecology Master, estudio del funcionamiento de las plantas y los animales, la comprensión tanto de cómo funciona la naturaleza y cómo podemos aplicar las medidas apropiadas para mantener la diversidad biológica y la lucha contra el cambio climático, todo desde la perspectiva de sistema.
4) Wageningen University, Climate Studies (Earth System Science), el programa sobre ciencias de la tierra y el cambio climático, contempla el cambio de uso de suelo.

Hungría

1) Kozep-Europai Egyetem, Environmental Sciences Master; el programa se centra en las ciencias sociales y las humanidades, la investigación interdisciplinaria, y el estudio del cambio social y las implicaciones políticas de la transición a las sociedades abiertas, como caso de estudio esta el cambio climático.

Italia

1) Euro Mediterranean Center for Climate Changes, Dottorato in Scienze dei Cambiamenti Climatici – Lecce; un doctorado interdisciplinario en ciencia y tecnología, cambio climático basado en el sector de la nanociencia y la red informática, para desarrollar métodos innovadores para abordar y resolver los problemas inherentes a la investigación.
2) Ca' Foscari University of Venice, Scienza e Gestione dei Cambiamenti climatici; el objetivo es la formación de expertos con una amplia y profunda preparación científica de las actividades economicas originadas bajo la dinámica del cambio climático.

Noruega

1) Norges Landbrukshøgskole, Development Studies Master; con el objetivo de desarrollar los conocimientos básicos de diferentes disciplinas (ecología, agua y suelo, ordenación del territorio, economía, antropología social y otras ciencias sociales), y aplicar este conocimiento de manera interdisciplinaria, al abordar los problemas reales, como el cambio climático.

Reino Unido

1) The University of Edinburgh; Carbon Management Master, Todo lo relacionado a la Gestión del carbono.
2) Coventry University, Environmental & Climate Change Master; Proveer el conocimiento y la comprensión de fondo de una variedad de métodos y técnicas que apoyen la investigación en medio ambiente y el cambio climático.
3) University of Glamorgan, Renewable Energy and Resource Management Master; estudia el cambio climático, el suministro de energía renovable, economía baja en carbono, y la gestión sostenible del agua y los recursos sólidos.
4) University of Sheffield, Polar and Alpine Change Master; el programa explora los entornos, y las causas subyacentes del cambio climático, en los climas fríos, partes del mundo donde las actividades del cambio climático se están llevando a cabo de manera más rápida que cualquier lugar del planeta.
5)The University of Wales, Aberystwyth; River Basin Dynamics and Management Master, se examina como factores tales como la geomorfología, el cambio climático y la actividad humana interactúan para dar forma a los entornos fluviales, y explora cómo este conocimiento puede ser usado para gestionar estos entornos de una forma más sostenible, adoptando un enfoque holístico para la gestión hídrica.
6) The University of Manchester, Plant Sciences Master; estudia la combinación entre la creciente población humana y una creciente necesidad de los cultivos, el reto es responder a la demanda de los cultivos en una manera sostenible sin aumentar la tierra disponible para el cultivo.
7) UNiversity of Leeds, MSc Sustainability (Climate Change), este programa proporciona una base sólida en los debates más amplios sobre sostenibilidad, impacto, adaptación y mitigación del cambio climático.
8) University of East Anglia: a)Environmental Sciences Master; estudia de manera interdisciplinaria los ámbitos atmosféricos, oceánicos, terrestres, junto a las interacciones con la sociedad humana, un área de estudio es entender la ciencia del cambio climático y decidir cómo debe adaptarse al aumento de las temperaturas del planeta y la elevación del nivel del mar, b) Climate Change Master; estudia a fondo los conocimientos interdisciplinarios de la ciencia del cambio climático, la sociedad y la política.
9) Brunel University, Climate Change Impacts and Sutainability Master; estudia los problemas del cambio climático presentes en la sociedad y el medio ambiente.

Suecia

1) Umea University, Geoecology Master; ofrece especialización en geoecología, integra los ámbitos de ciencias de la tierra y ecología, con énfasis en los países nórdicos, estudia los procesos naturales de tierra, cambio climático y efectos de los impactos antropogénicos, tales como la utilización de los recursos y la contaminación.

Suiza

1) ETH Zürich, Master of Science in Atmospheric and Climate Science, conocimiento de los procesos atmosféricos y sus interacciones.

África

Los países de África para prepararse frente al cambio climático han desarrollado un programa de becas que es coordinado por el Global Change System for Analysis, Research and Training, (START), The Pan-African START Secretariat and Research Center, University of Dar es Salaam, Dar es Salaam, Tanzania , START Research Node at University of Cape Town, Cape Town, South Africa, START Research Node at the University of Ghana, Accra, Ghana, START Research Node at the University of Nairobi, Nairobi, Kenya, dicho programa apoyará a profesionales, investigadores y estudiantes (doctorado y posdoctorado) africanos a realizar actividades que mejoren sus capacidades para promover y aplicar los conocimientos para la adaptación al cambio climático que beneficiará a sus instituciones de origen; las becas estarán direccionadas a aquellos que esten trabajando actualmente en las organizaciones que desempeñan un papel o puedan influir en las políticas y la toma de decisiones en los sectores sensibles al clima en África.

Sus trabajos se desarrollaran para mejorar la gestión de los riesgos climáticos, el avance de adpatación y la forma de comunicar el cambio climatico; con respecto a las becas de estudiantes de doctorado, estos deberan estar desarrollando investigaciones relacionadas a los riesgos y adaptación al cambio climatico, en sus universidades de origen, los estudiantes visitaran instituciones donde se capaciten en métodos innovadores, modelos o herramientas de análisis que aumenten sus capacidades como investigador; los estudiantes de posdoctorado serán aquellos que tengan un doctorado en los campos relacionados con el cambio climático y la adaptación, estos participarán en investigaciones y enseñanzas que contribuyan a la mejora de la gestión de los riesgos climáticos y la adaptación al cambio climatico.

Tambien se otorgan becas para la enseñanza, éstas estan dirigidas aquellos que puedan desarrollar, aplicar, e incluir nuevos cursos a nivel maestria sobre el cambio climático y temas relacionados.

Asia

En Asia contamos con The Asian Institute of Technology (AIT), en Tailandia que imparte el Post Doctoral Opportunities on Climate Change Research for Sustainable Development, el AIT tiene el objetivo de consolidar, fortalecer y ampliar la investigación en respuesta al cambio climático en las áreas de tecnología, política y planificación, de gestión y acuerdos institucionales.

América del norte

El continente Americano lo hemos dividido en dos, Norteamérica (Canadá y Estados Unidos) y Latinoamérica.

Canadá

University of British Columbia, Vancouver, Canadá, doctorado en The Climate Downscaling, una red de investigación de Canadá sobre estudios del clima han proporcionado financiamiento para un doctorado dentro del departamento de Ciencias de la Tierra y del océano, la investigación involucra el aprendizaje y los métodos estadísticos para el comportamiento del clima global, aplicaciones que incluyen la precipitación y las previsiones meteorológicas extremas, y los escenarios de cambio climático.

Podemos observar que en las universidades de Canadá, en la mayoría no se imparten posgrados relacionados al cambio climático, sino que cada universidad cuenta con un centro de investigación en medio ambiente, en donde se desarrollan investigaciones y proyectos relacionados con el cambio climático y los estudiantes de diversas disciplinas adscritos a estas universidades pueden realizar sus tesis de grado en estos centros, o bien participar en proyectos de investigación, pero los centros no otorgan grados académicos.

Estados Unidos

1) South University, Master of Business Administration – Sustainability; se ha diseñado para preparar a los estudiantes para la aplicación práctica de conceptos y prácticas de sostenibilidad en sus negocios y carreras profesionales.
2) Columbia University: a) The Columbia Climate Center, pretende mejorar la capacidad de la humanidad para comprender, predecir y responder a la variabilidad climática y el cambio dentro de un enfoque multidisciplinario. El Centro desarrolla estrategias para la adaptación y la mitigación del cambio climático, proporciona análisis de políticas y asesoramiento a los interesados y tomadores de decisiones. b) Center for Climate Change Law desarrolla nuevas técnicas jurídicas para combatir el cambio climático.
3) El Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), crea el programa conjunto de la Ciencia y Política del Cambio global, (curso multidisciplinar, no otorga grado).

4) Stanford University, Institute for the Environment, se cuenta con un proyecto de cambio climático y energía (GCEP) en donde se buscan nuevas soluciones a uno de los grandes desafíos de este siglo: el suministro de energía para satisfacer las nuevas necesidades de una creciente población mundial de una manera que proteja el medio ambiente.
5) Harvard University, Center for the Environment , fomenta la investigación y la educación sobre el medio ambiente y sus múltiples interacciones con la sociedad humana.
6) Berkeley University of California, The Berkeley Institute of the Environment (BIE), Energy & Climate Change Research Program, estudia la economía baja en carbono.
7) Cornell University, a) Northeast Regional Climate Center, provee datos sobre el clima en forma regional, b) Center for a sustainable future, alientan a estudiantes con interés en la investigación sobre la sostenibilidad a que participen y estén en contacto con los profesores en sus departamentos y en proyectos de investigación (tanto remunerado como voluntario).
8) University of Michigan, The School of Natural Resources and Environment, desarrolla investigación relacionada con los impactos, mitigación y adaptación al cambio climático.
9) California Institute of Technology, Environmental Science and Engineering, estudia el clima mundial, a escala local y propone soluciones de ingeniería a los problemas ambientales como la remediación de residuos tóxicos.
10) The University of Minnesota, Institute on the Environment, aborda las consecuencias ambientales, sociales y económicos de la sostenibilidad mundial., energía y cambio climático, tecnología y política para fuentes de energía alternativas, energías renovables, biocarburantes, energía solar, eólica.
11) University of Illinois at Urbana-Champaign, The Center for Global Studies, desarrolla la enseñanza sobre los estudios mundiales, para la comprensión y la solución de problemas mundiales.
12) The University of Washington, The UW Program on Climate Change, es un programa interdisciplinar en la ciencia del clima que se esfuerza para integrar a la educación, la investigación y las actividades de divulgación en el campus.
13) University of Wisconsin –Madison, The Wisconsin Initiative on Climate Change Impacts (WICCI), estudia como el cambio climático podrían tener un impacto en sus distritos.

Latinoamérica

En su mayoría no se tienen posgrados en cambio climático como tal, se tienen cursos relacionados dentro de las maestrías y doctorados, y se realizan una serie de eventos en las universidades.

Argentina

La Universidad de Buenos Aires, en la Facultad de Ingeniería y la Universidad Nacional de Córdoba, realizan eventos sobre el cambio climático (foros, seminarios, etc.), el Instituto Superior de Estudios Ambientales,ISEA, cuya prioridad es la promoción y concreción de acciones que lleven a la formación de postgrado; incluyendo también el desarrollo de Programas Asociativos entre diferentes universidades, centros, organismos, e Institutos del País y del exterior.

Brasil

1) Universidade Estadual de Campinas, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura, El CEPAGRI, tiene entre sus áreas de investigación la agrometeorología, la agroclimatologia (basada en la teledetección aplicada a la agricultura) cómo el clima modifica a la agricultura.
2) Universidade Federal de Santa Catarina, Pós-Graduação em Engenharia Ambiental-ME, Mudanças Climáticas Globais, Créditos de Carbono e Energias Renováveis, El objetivo de este curso es informar a los estudiantes en el cambio climático mundial, sus principales, y posibles efectos sobre el medio ambiente.
3) Universidade de Brasília – UnB, Centro de Desenvolvimento Sustentável, mantiene el programa de posgrado en el Desarrollo Sostenible, en medio ambiente interdisciplinario, entre sus líneas de investigación se encuentran: energía, residuos y cambio climático.
4) Universidade Federal da Bahia, Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente (CIENAM), tiene como objetivo capacitar recursos humanos a nivel de doctorado y máster, trabajando en la investigación interdisciplinaria sobre cuestiones relacionadas con la Energía y Medio Ambiente, entre los cursos que se imparten se encuentran: Generación y uso eficiente de la energía ecológica; Los combustibles fósiles procedentes de la biomasa; Impactos ambientales en la atmósfera, etc.

Costa Rica

Universidad de Costa Rica, se imparten conferencias sobre el cambio climático.

Colombia

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias humanas, departamento de geografía, imparten cursos y conferencias relacionadas al cambio climático.

Chile

1) Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), entre sus líneas de investigación se encuentra la paleoecología, e impactos del cambio climático,

2) Universidad de Concepción, Departamento de Geofísica, la carrera de Geofísica, enseña una visión integrada del sistema tierra, basada en la física de la atmósfera, océano y tierra sólida.

Perú

1) La Pontificia Universidad Católica del Perú, cuenta con Clima de Cambios que es una iniciativa para informar y sensibilizar a la ciudadanía sobre los impactos del cambio climático en el país y en el mundo.
2) Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Maestría en recursos acuáticos, con el objetivo de ejercer investigación y docencia universitaria de calidad aplicando metodologías pedagógicas innovadoras acordes con el avance de la ciencia.
3) El Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC) y la Fundación Universitaria Iberoamericana (FUNIBER) han establecido el Programa de Maestría en Cambio Climático, impartido desde una plataforma virtual, cuyo objetivo es formar profesionales capaces de dar soluciones a la vulnerabilidad y proponer estrategias para la adaptación al cambio climático desde una realidad latinoamericana.

México

Con respecto al cambio climático en México, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en el Centro de Ciencias de la Atmósfera, cuenta con el proyecto en revisión del Programa Universitario de Cambio Climático, el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITSEM), en el Centro de Diálogo y Análisis sobre América del Norte, cuenta con un proyecto que estudia: a) Gobernanza regional sobre el cambio climático en América del Norte. b) Capacitación en materia de mitigación de gases de efecto invernadero.

La Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), en su campus Xochimilco, en la división de Ciencias Biológicas y de la Salud, cuenta con el proyecto: El cambio global del clima en México, sus teleconexiones climáticas mundiales, los efectos sobre los ecosistemas naturales, rurales y urbanos y las repercusiones socioeconómicas.

La Universidad Autónoma de Guadalajara cuenta con la Maestría en Energía Renovable, en donde profundiza los conocimientos de los profesionales de la ingeniería y otorga los conocimientos sobre la elaboración de biocombustibles y su desempeño en motores, cogeneración eléctrica por medio de fuentes renovables, actualmente es la primera institución que ofrece este programa a nivel nacional.

El Tecnológico de Monterrey, Fundación FEMSA y el Banco Interamericano de Desarrollo, a través del Centro del Agua para América Latina y El Caribe (CAALCA) imparten la Maestría en Sistemas Ambientales (MSA) acentuación en uso sostenible del agua, así como el Doctorado en Ciencias de Ingeniería (DCI) con orientación en sistemas ambientales, ambos cuentan con la materia de impacto del cambio climático en la seguridad hídrica y alimentaria.

Conclusiones

Las tendencias con respecto a las nuevas carreras a nivel posgrado para el cambio climático son: interdisciplinariedad no se puede entender el cambio climático desde una disciplina, se requiere la vinculación de las ciencias sociales y naturales, así como el estudio de diferentes tecnologías que combinadas nos ayuden a la solución de problemas, innovación y desarrollo para las nuevas situaciones económicas, políticas y naturales que se presentan bajo el cambio climático, creación de métodos y técnicas para las nuevas investigaciones, estudio de los problemas ambientales de una manera holística, se requiere crear y fortalecer el impacto de la ciencia para la solución de problemas y mejores alternativas de vida.

El cambio climático es un reto para la humanidad, para entenderlo, mitigarlo, y adaptarnos a el implica para el sector académico el trabajar en equipo con otras disciplinas, el mantenerse en constante actualización, el reconsiderar nuestros tiempos de respuestas y de establecer la dirección de las investigaciones a desarrollar.

México requiere trabajar en la creación de posgrados relacionados al cambio climático, tenemos una gran oportunidad enfrente de nosotros ¿tendremos la visión suficiente para lograrlo?, o continuamos en la comodidad de nuestros programas e investigaciones no renovadoras pero si conservadoras de un México permanentemente en vías de desarrollo.

Si usted requiere más información al respecto favor de contactar a las autoras del capítulo.

Gutiérrez-Barba, B., E. Rivera-Arriaga, L. Alpuche Gual, S. Súcar, F. Reyes, R. Torres, e I. Azuz-Adeath, 2010. Educación ambiental en situación de cambio climático, p. 823-842. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Educación ambiental en situación de cambio climático

Blanca Gutiérrez-Barba, Evelia Rivera-Arriaga, Leticia Alpuche Gual, Shafía Súcar, Felipe Reyes, Ricardo Torres, e Isaac Azuz-Adeath

Resumen

El cambio climático (cc) se da como una manifestación de numerosos factores ambientales, sociales, culturales, económicos, y políticos conjugados en diferentes escalas de tiempo y espacio, que trascienden barreras geográficas, límites políticos y fronteras generacionales. Nuestro conocimiento del cc es incipiente y por tanto ofrece muchos retos. En este panorama, es que educar para comprender, mitigar y adaptarse a los efectos producidos por el cc en la zona costera requiere de enfoques diferentes a los que hasta ahora se han usado. Este capítulo aborda los referentes que deben considerarse al momento de diseñar y operar intervenciones. Presenta escenarios posibles de cc y revisa los esfuerzos que a la fecha se han llevado a cabo para educar bajo diferentes ámbitos y modalidades. El capítulo cierra ofreciendo diez oportunidades para la educación ambiental de la población de las zonas costeras de México.

Referentes conceptuales

La educación ambiental, desde sus inicios en la década de los 70 hasta las acciones que se han realizado durante el Decenio de la Educación Ambiental, ha evolucionado en sus enfoques, preceptos, propuestas, estrategias y acciones. En gran medida, esta evolución es atribuible al deterioro natural y cultural que repercute en los usos y costumbres sociales y las formas tradicionales de aprovisionamiento de alimentos, energía, agua y vivienda, como de otras necesidades humanas. Este deterioro además repercute en las ideas, aspiraciones, visiones y proyectos colectivos, todos ellos fundamentales para el desarrollo personal y comunitario. Aunado al deterioro cultural y natural, se observa en las comunidades un distanciamiento e incomprensión del entorno natural del que forman parte. La civilización moderna no es sustentable y parecería que la posibilidad de constituir sociedades sustentables se desvanece. Por lo que estamos ciertos que es impostergable reconfigurar el proyecto de civilización, nuestras formas de significación y apropiación del mundo, nuestra cosmogonía y nuestro sistema de valores. Se requieren nuevos referentes, nuevas formas de entendernos y de entender el mundo, de vivir en él y con nosotros, de convivencia y diálogo entre saberes y culturas.

Ante esta situación, la Educación Ambiental (EA), se constituye como un campo interdisciplinar en construcción permanente que, a través de procesos educativos, busca contribuir a la configuración de sociedades sustentables en las que se establezcan relaciones armónicas entre las comunidades humanas y los sistemas ecológicos, que garanticen la conservación de la biodiversidad y una calidad de vida digna en las poblaciones humanas, con respeto a su culturalidad. De esta manera, uno de los mayores logros para alcanzar un desarrollo sostenible radica en reconocer que la importancia de la inclusión de la dimensión ambiental en el sistema educativo en sus diversos ámbitos y modalidades.

Hacer educación en general y ambiental en particular entraña el establecimiento de sólidos referentes, algunos de los cuáles son los siguientes:

Complejidad. La posibilidad de alcanzar sociedades sustentables pasa necesariamente por la solución de los graves problemas de inequidad, pobreza y violencia física y cultural que enfrentan pueblos y ciudadanos en el mundo. Para contribuir a lograrlo, la EA asume que las problemáticas socioambientales que requieren intervención educativa están inscritas en realidades complejas multidimensionales, es decir, comprende, en primer término, que la crisis ambiental representa una manifestación de la crisis de civilización que hoy enfrenta la humanidad y que no puede ser reducida a enfoques fragmentados o disciplinares (Leff, 2000).

Culturalidad. Este enfoque de complejidad permite reconocer que cada cultura, cada sociedad, construye una relación con el mundo en función de su cosmovisión, de sus formas de convivencia y significación con los sistemas naturales con los que interacciona. En este proceso dialógico de temporalidad amplia se construye y reconstruye la cultura, se determinan y transforman las formas de organización social, los sistemas y modelos de producción o de apropiación de la naturaleza, se definen lógicas y modelos tecnológicos, se determinan y transforman los sistemas y enfoques educativos para la

cohesión y cambio social, se configuran las nociones de progreso y de bienestar individual y colectivo, se imaginan y construyen los idearios de futuro. Así, cada pueblo, en su relación con su mundo significado, construye su cultura, su arreglo social, su tecnología. De este mar de dimensiones se moldea la cultura.

Diversidad. En la diversidad cultural y no sólo biológica, descansa la posibilidad de construir sociedades sustentables. Cada sociedad humana convive con un territorio concreto, y al conocerlo le da significado, valor y destino. Como se ha dicho, con él construye su cultura. Esta construcción es diferente en cada sistema sociedad-naturaleza; la correlación que se desarrolla en el tiempo determina los impactos culturales y los recursos culturales que el colectivo social genera para mantenerse y evolucionar. De tal modo, en cada sistema se constituye (construye) una propuesta social con un acervo de conocimientos, tecnologías y formas de convivencia, a partir de la apropiación y significación dada al territorio. Así, la humanidad cuenta hoy todavía con una importante variedad de conocimientos, tecnologías y formas de convivencia depositadas en las culturas vivientes de las distintas regiones del mundo, validadas por el tiempo. Riqueza invaluable para el proyecto de sustentabilidad.

Ante esto, la EA no puede procurar un discurso y un método único, universal y totalitario, debe de recuperar esta diversidad y ha de construirse desde el encuentro dialogante de racionalidades, conocimientos, saberes, necesidades y visiones que correspondan a cada realidad, a cada colectivo y a cada región.

La comprensión de esta diversidad y de su valor para la construcción de sociedades sustentables es fundamental en la concepción y práctica de la EA. No es posible alcanzar formas de convivencia armónicas con la naturaleza desde discursos y modelos de civilización homogenizadores y totalitarios. Cada región y cada entidad social que se gesta en su seno exigen este entendimiento si se aspira a emprender, dentro de un proyecto coherente y de objetivos claros, acciones de EA pertinentes, oportunas y viables orientadas a la sustentabilidad local, regional y global.

Historicidad. Desde el enfoque de complejidad es posible también comprender la configuración histórica-cultural de cada proyecto de civilización, de cada realidad social, de cada sociedad, de cada problemática socioambiental, condición fundamental para vislumbrar su carácter dinámico. La EA asume que esta comprensión es fundamental para el entendimiento de los procesos de configuración y la temporalidad de cada realidad problemática en la que sea necesaria su intervención; es imprescindible reconocer que cada problema que requiere de intervención educativa ambiental tiene una historia en su constitución presente; en esta historia se articulan tiempo, espacios, actores y procesos, al nivel local, regional y global, que deben ser comprendidos para aspirar a construir una estrategia de intervención educativa pertinente, viable y oportuna.

Articulariedad. Del mismo modo, la comprensión de la complejidad de las realidades sociales posibilita el reconocimiento de su articulariedad, es decir, el entendimiento de que en el mantenimiento (la subsistencia) y en la movilidad de las sociedades humanas

> se entretejen múltiples y simultáneos procesos. Con esto se quiere decir que no existen problemas exclusivamente educativos, o exclusivamente económicos, o de cualquier otra dimensión de manera exclusiva, sino que estas dimensiones están presentes simultáneamente, muchas veces potenciándose unas a otras, elevando su complejidad. Desde el enfoque o intereses con que nos aproximemos a un fenómeno social, apreciaremos una o unas dimensiones sobre otras, y le identificaremos por tal apreciación, sin que ello signifique que carezca de otras dimensiones que no percibimos o reconocemos. De tal manera, un problema identificado como educativo es, en realidad, un proceso social problematizado por nosotros desde una perspectiva educativa.

De igual forma, comprender la articulación de los procesos sociales permite reconocer que toda propuesta de EA debe estar inscrita en un proyecto de transformación social mayor, en el que lo educativo constituye un factor de cambio vinculado con otros procesos de cambio – transformación de procesos productivos, legislativos, académicos, políticos, entre otros.

El conocimiento de la diversidad y complejidad de los bienes y los procesos naturales que se distribuyen localmente corresponde a una dimensión factual de la realidad costera. La determinación de la distribución y abundancia de los recursos, de sus interrelaciones entre sí, con el medio y con la sociedad, permite entender los procesos actuales de apropiación de la naturaleza, ya sea de explotación o de conservación, pero también aporta elementos para definir si esta apropiación es pertinente (sustentable) o es necesario realizar modificaciones. En el conocimiento de cómo interactúan los componentes fisicoquímicos con los biológicos en la naturaleza, es necesario entender qué éstos pueden afectar, o que se pueden ver afectados, por nuevos componentes de la realidad ambiental, como la crisis energética, la crisis alimentaria y el cambio climático, lo que introduce una dimensión espacial a este análisis. La globalidad de la complejidad natural implica el reconocimiento de que los problemas ambientales en la costa (como en cualquier otro ambiente) se pueden originar en áreas alejadas de la propia zona costera. Baste citar dos ejemplos: el arrastre de residuos sólidos por las corrientes marinas ha provocado que desechos arrojados al mar en Sudamérica se acumulen en varios puntos a lo largo de la costa del Golfo de México; igualmente, el depósito de subproductos orgánicos de granjas de crianza animal en cenotes tierra dentro en la península de Yucatán, y su acarreo por ríos subterráneos hacia la costa, ha provocado la aparición y permanencia por periodos más prolongados de fenómenos de marea roja, con todas sus implicaciones ecológicas y económicas.

Acercarse al conocimiento de los recursos naturales es una labor indispensable para realizar acciones de EA y se requiere del análisis de fuentes de información variadas, como lo documenta Torres (2005) y entre las que se pueden citar: los estudios técnico-científicos, reporte oficiales, ordenamientos ecológicos, visitas de campo, entrevistas estructuradas o semi estructuradas, mapas oficiales y comunitarios.

Pero si bien es cierto, reconocer la presencia de esta complejidad, globalidad y diversidad natural, tampoco es asumir la EA como un asunto de instrucción ecológica. La posibilidad de comprender y enfrentar el cambio climático y aspirar a la sustentabilidad exige, ineludiblemente, el concurso de la EA pero, si y sólo si, queda inscrita en un proyecto de trasformación social

amplio en el que se combata con eficiencia la pobreza, el hambre y la inequidad, y se recupere la regionalizad, la diversidad cultural y la participación social crítica. ¿Están las instituciones de las sociedades modernas preparadas para emprender este proyecto de trascendencia histórica?

Conocer cuáles son los ecosistemas y los recursos distribuidos localmente, cuáles son sus funciones ecológicas cobra sentido si se miran además como base de las actividades económicas de la comunidad. En el ejemplo que documenta Torres (2005), por tratarse de zona costera, se identificaron los ecosistemas marino y de humedales donde se ubica la comunidad. Se determinaron las especies de mangle y se estimó la superficie talada en los últimos tres años; esta deforestación concordó con el crecimiento urbano.

Un asunto importante a considerar es que, de manera general, las realidades (considerando las dimensiones ambientales y sociales, entre otras), y, por lo tanto, los efectos del cambio climático, y la vulnerabilidad de las comunidades y ecosistemas costeros mexicanos, son diferentes de aquellos en las regiones internas del país, lo que significa que los planes y programas de ea deberán ser congruentes, reconociendo y respetando estas diferencias. Los primeros esfuerzos en educación ambiental formal se enfocaron hacia el manejo de los residuos sólidos, su reducción, reuso y reciclaje. De forma paralela, pero en la modalidad de educación informal, el gobierno federal realizó campañas para el cuidado del agua y la reforestación. Actualmente, diferentes dependencias de gobierno a nivel federal y estatal llevan a cabo programas de educación ambiental no-formal con grupos de niños y jóvenes en diferentes temas. Cada uno de los problemas ambientales tratados se atienden de manera aislada y generalmente con estrategias de remediación más que de prevención.

Educación centrada en el sujeto

La apropiación de la naturaleza por parte de los diferentes grupos sociales en la costa está determinada por sus conocimientos y experiencias tradicionales, pero también por sus percepciones y valores ambientales. Este último aspecto corresponde a la dimensión percibida de la realidad costera. Los valores determinan a las percepciones, y juntos definen las actitudes, las cuales tienen un componente cognoscitivo (qué sé), uno emotivo (qué siento) y uno conductual (qué hago). Valores, percepciones y actitudes están a su vez influenciados por la herencia cultural de las personas. Todo ello define las características de diferentes actores de los grupos sociales. De esta manera, se pueden identificar actores que creen en la cooperación, aquellos que son egoístas, o los que se apoyan fuertemente en las instituciones y normas formales (Torres, 2003). Todos estos elementos determinan los procesos sociales que se presentan en la costa, uno de los cuales es precisamente la apropiación de la naturaleza con sus diferentes modalidades: explotación irracional, aprovechamiento sustentable, conservación a ultranza, contemplación con valor espiritual, por mencionar algunas. La complejidad de esta diversidad en los procesos socio culturales se manifiesta cuando en el mismo espacio se presentan dos o más de esas modalidades con sus respectivos intereses. Lo expuesto lleva al reconocimiento de la existencia de realidades locales construidas por los actores locales y externos, cada uno con su

bagaje cultural, las cuales pueden ser muy diferentes incluso en comunidades costeras cercanas ubicadas dentro de un mismo entorno natural.

Igualmente que en el caso de la diversidad natural, los procesos sociales también pueden afectar el cambio climático acelerándolo o no, y se pueden ver afectados por éste al cambiar los intereses, valores, percepciones y conducta de los actores sociales ante nuevas condiciones ambientales. Asimismo, la globalidad de los procesos sociales implica que éstos se pueden originar en áreas alejadas de la zona costera pero que pueden influir en esta última. Por ejemplo, la explotación excesiva de recursos costeros en un área puede estar determinada por las necesidades de mercados extra regionales ubicados incluso en otro país o continente. Otro ejemplo característico de la zona costera de México lo representa la obligatoriedad de constituir cooperativas para poder explotar los recursos pesqueros con mayor valor económico. Los procesos productivo y social de la pesca tradicional orientada hacia el autoconsumo, donde la toma de decisiones, la construcción de las artes de pesca y los derechos de propiedad se basaban en la realidad socio cultural diversa de cada comunidad pesquera, fueron drásticamente suplantados por una nueva forma de producción y de relaciones de trabajo y sociales para la cual no había antecedentes, resultando en una homogenización perversa de la manera como se obtenían (y obtienen) los recursos pesqueros. Como podría esperarse, esta imposición de naturaleza centralista con una comprensión ajena a la realidad que estaba afectando, ha resultado en una sobre explotación biológica, una sobre capitalización de la actividad productiva y, contradictoriamente, en el empobrecimiento de amplios grupos de pescadores y sus familias.

Afortunadamente, las comunidades costeras tienen la posibilidad de realizar continuamente un proceso social de construcción colectiva de su realidad. Y la fortuna de ello radica en la oportunidad que tienen de analizar y replantear su relación con la naturaleza y las siguientes podrían ser algunas cuestiones sociales a considerar:

1. Identificar los valores de los pobladores sobre su bienestar, y. el valor que los habitantes aplican a los recursos naturales. Con una lista de estos, determinar su importancia relativa, tanto ecológica como económica. Se tienen experiencias al respecto, en el caso de Celestún, al oriente de la costa de Yucatán, los principales resultados indicaron que los pobladores percibieron que del manejo de recursos basado en la comunidad, a los cuales tenían acceso libre y el que seguía los cambios estacionales de la producción natural, se pasó a una explotación con orientación comercial sobre la que la comunidad ya no tiene prácticamente ninguna influencia, más que la extracción de los recursos.
2. Caracterizar a la comunidad donde se va intervenir desde el punto de vista socioeconómico. Identificar los informantes clave, la composición social y familiar, los niveles de educación e ingreso, principales actividades económicas, provisión de servicios sociales y municipales, entre otros.
3. Identificar a través de grupos focales, entrevistas y encuesta, el nivel de conocimiento de la relación sociedad-naturaleza. Conocer si los pobladores son conscientes de la relación que su comunidad ha establecido con su entorno natural, en cómo lo han impacta-

do y cómo éste influye en el desarrollo comunitario. En Celestún, se encontró una alta correlación entre bajo nivel de ingresos y alta degradación ambiental.

4. Identificar y jerarquizar la problemática ambiental local, por parte de la propia comunidad Con la ayuda de una matriz de problemas ambientales y mapas comunitarios, en Celestún se identificaron y jerarquizaron los principales problemas en la comunidad. En orden de importancia, estos se agruparon en ambientales, económicos y de salud. De los primeros, destacaron el relleno de los humedales con arena y basura, así como la quema de basura en los patios de las casas. Celestún, tenía serios problemas ambientales por la tala excesiva de manglar y el relleno del humedal con residuos sólidos urbanos.

Presente y futuro del cambio climático

La problemática que abarca el cambio climático (CC) es compleja, dinámica, multidimensional y global. Los enfoques exitosos de educación ambiental pueden recuperarse en el entendido de que no pueden funcionar igual para todos los casos. Por lo que es necesario replantear las estrategias y retomar las variadas experiencias que a lo largo de varias décadas se han desarrollado a través de la educación ambiental formal, no formal e informal. El cambio climático representa un reto para la educación ambiental. Primeramente porque apenas hace menos de una década, era reconocido científicamente que el calentamiento global era un fenómeno que verdaderamente estaba sucediendo (Informe Científico de Consenso, Tercer Informe de Evaluación del IPCC, 2001). En segundo lugar, porque la comprensión que se tiene del clima y sus variantes, sus causas y sus efectos es todavía incipiente. La temperatura es apenas una variable dentro de todo lo que conforma al clima. De ésta se sabe que la temperatura superficial media aumentó unos 0.6°C (± 0.2°C) durante el siglo XX. El incremento de la temperatura se manifestó principalmente entre 1910 y 1945; y entre 1976 y 2000; sintiéndose estos aumentos principalmente en las temperaturas nocturnas y en tierra firme. Hace sólo trece años (1996) el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático por sus siglas en inglés) comenzó a describir de manera coherente las relaciones entre las fuerzas determinantes de la emisiones y su evolución, y para añadir un contexto a la cuantificación de los escenarios, se desarrollaron cuatro líneas evolutivas diferentes.

A1. Escenario de Rápido Crecimiento Global. La familia de escenarios y línea evolutiva A1 describe un mundo futuro de crecimiento económico muy rápido; la población mundial alcanza su nivel más alto a mitad del siglo y disminuye posteriormente, produciéndose una rápida introducción de nuevas tecnologías más eficaces. Las cuestiones importantes subyacentes son la convergencia entre las regiones, la capacitación y mayores interacciones culturales y sociales, con una importante reducción de las diferencias regionales en los ingresos *per cápita*. La familia de escenarios A1 se divide en tres grupos que describen las distintas direcciones del cambio tecnológico en el sistema energético.

Los tres grupos A1 se distinguen por su énfasis tecnológico: fuentes de energía intensivas de origen fósil (A1FI), de origen no fósil (A1T) o un equilibrio entre todas las fuentes (A1B) (el equilibrio se define como la no dependencia excesiva de una fuente de energía concreta, suponiendo que se apliquen ritmos similares de mejoras en todas las formas de aprovisionamiento energético y en las tecnologías de uso final).

A2. Escenario de Crecimiento Regional. La familia de escenarios y línea evolutiva A2 describe un mundo muy heterogéneo. La cuestión subyacente es la autosuficiencia y preservación de las identidades locales. Los perfiles de fertilidad en las distintas regiones tienden a converger muy lentamente, lo cual acarrea un aumento continuo constante de la población. El desarrollo económico tiene una orientación principalmente regional y el crecimiento económico *per cápita* y el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutiva

B1. Escenario de Crecimiento Económico Global. La familia de escenarios y línea evolutiva B1 describe un mundo convergente, con la misma población mundial, que alcanza su nivel más alto a mediados del siglo para disminuir posteriormente, como en la línea evolutiva A1 pero con cambios rápidos en las estructuras económicas hacia una economía de la información y de los servicios, con reducciones en el consumo de materiales e introducción de tecnologías limpias y de recursos eficaces. En esta línea evolutiva se hace hincapié en las soluciones mundiales a la sostenibilidad económica, social y ambiental, lo que comprende una mejora de la equidad, pero sin iniciativas climáticas adicionales.

B2. Escenario de Crecimiento Poblacional. La familia de escenarios y línea evolutiva B2 describe un mundo en el que se hace hincapié en las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Se trata de un mundo cuya población mundial crece continuamente, a un ritmo menor al de la línea evolutiva A2, con niveles medios de desarrollo económico y cambios tecnológicos menos rápidos y más variados que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque el escenario también está orientado hacia la protección ambiental y la equidad social, se centra en los niveles local y regional.

Lo anterior es información fundamental al momento de planear acciones de educación ambiental, pero el acceso a la información como derecho de la sociedad civil consagrado en la reunión de Rio no es el único ni el más importante, se suman a éste, el diálogo, el desarrollo de capacidades y la evaluación de riesgos y peligros. La Estrategia Nacional para el Cambio Climático en México da información sobre los impactos que se tendrán en la zona costera debido a los efectos del cambio climático y la elevación del nivel del mar. Por ejemplo, la incidencia, frecuencia, e intensidad de los huracanes (figura 1).

Desarrollo de capacidades

Por cuanto al desarrollo de capacidades, el CECADESU de la Semarnat, como parte del Decenio de la Educación para el Desarrollo Sustentable, impulsó el desarrollo de Programas Estatales de

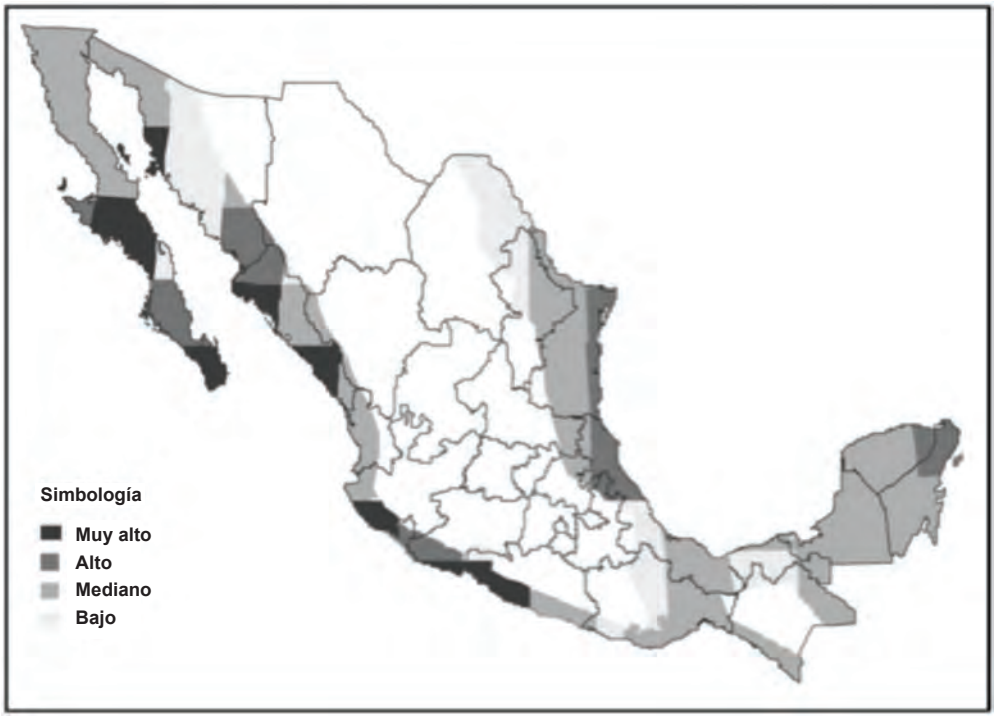


Figura 1. Zonas de riesgo y grado de vulnerabilidad a huracanes en la zona costera. (Fuente: CENAPRED, 2001, citado en Semarnat, 2007)

Educación Ambiental y elaboró la Estrategia de Educación Ambiental para la Sustentabilidad de México (La Estrategia) (Semarnat, 2006). Como parte de su política educativa, el CECADESU, otorga recursos financieros para el desarrollo de proyectos y acciones de educación ambiental, capacitación para el desarrollo sustentable, comunicación educativa y cultura ambiental y ya incluye como uno de sus seis regiones prioritarias a los mares y costas en condiciones de cambio climático para el periodo 2009-2012.

La Estrategia es muy clara en subrayar la importancia de la identificación de los principales ámbitos en los que se pueden desarrollar actividades de EA, ya que, de manera diferenciada, en éstos se encuentran los actores fundamentales tanto para la creación de planes y programas de EA, como para ser los sujetos a quienes las intervenciones de EA estarán dirigidas. Pues como puede suponerse no es lo mismo planear acciones de EA en la educación básica que en la educación superior o en las organizaciones de la sociedad civil. Así también las diferentes modalidades guardan sus especificidades que hay que tomar en cuenta a la hora de la intervención educativa. Existe una pálida tradición de documentar las acciones de EA, el mejor acercamiento para determinar el enfoque y la tesitura de su abordaje lo ofrecen los materiales elaborados.

Al momento, los materiales que ha producido la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) cubren el objetivo de brindar información al público en general. De este modo "México y el cambio climático global" de Conde (2007) narra la historia del origen del

planeta, su atmósfera y los cambios en temperatura que ha sufrido en los últimos 100 años e invita en pocos párrafos al final a realizar estudios (la academia), establecer políticas (gobierno) y discutir y acordar con los posibles afectados las estrategias para enfrentar el clima futuro. Un color similar poseen las "Cápsulas sobre Cambio Climático", que inician con describir el fenómeno y su afectación al ser humano para continuar con la propuesta de acciones a manera de doctrina y que además, dicho sea de paso, no atiende la zona costero-marina.

Dentro del libro *¿Y el medio ambiente? Problemas en México y el mundo* (Semarnat, 2007), se encuentra un capítulo sobre "Cambio Climático y el Ozono", orientado a complementar la formación ambiental de cuarto a sexto grado de la educación primaria. Este capítulo analiza desde la definición y explicación científica de lo que es el cambio climático, el efecto invernadero y su relación con las actividades humanas; hasta la revisión de seis grandes rubros de consecuencias de estos cambios, incluyendo los efectos en las zonas costeras y mares. De igual forma, el capítulo abunda en la explicación del ozono y su problemática.

Más recientemente surge el curso en línea "*Jóvenes por el cambio, por un consumo sustentable en México*", iniciado en el 2008 y dirigido a jóvenes entre 15 y 29 años de edad interesados en conocer, reflexionar y compartir ideas sobre el consumo sustentable a nivel básico. Este curso lo tomamos en cuenta por considerar que los cambios en los patrones de producción y consumo resultan en la disminución de emisiones y por ende contribuyen a contrarrestar el CC.

El grupo que firmó el Acuerdo de Coordinación ha tenido reuniones de trabajo entre la SEP–Semarnat y el Sector Energético (CFE, FIDE, Sener y CONAE) para continuar con los esfuerzos entre las partes involucradas con el fin de generar una propuesta conjunta en el marco de la educación ambiental, para incluir la dimensión de la sostenibilidad en la educación básica así como la temática del ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica en los planes y programas de estudio de educación básica.

La CONAGUA con su Programa de Cultura del Agua atiende las necesidades de educación ambiental de acuerdo con sus propios objetivos. Las poblaciones que impacta son niños, jóvenes y profesores. Los objetivos y estrategias específicas del Programa están diseñadas para garantizar que el recurso hídrico tenga la calidad adecuada para los diversos usos. Las principales acciones que integran el programa de cultura del agua son:

- Apertura, equipamiento y operación de los espacios de Cultura del Agua,
- Eventos de promoción y difusión de la cultura del agua,
- Producción de material didáctico,
- Formación y capacitación de promotores.

La operación del Programa es a través de la Subgerencia de Cultura del Agua adscrita a la Coordinación General de Atención Institucional, Comunicación y Cultura del Agua, en coordinación con las direcciones generales de los organismos de cuenca y direcciones locales, unidades administrativas que para su ejecución promueven y conciertan con los gobiernos estatales y municipales la creación de los Espacios de Cultura del Agua (ECA). Actualmente la Conagua está llevando a cabo talleres de educación ambiental para incorporar la cultura del agua dentro de los libros de texto gratuitos.

La cultura del agua no vincula las aguas blancas con las azules, dejando el ciclo incompleto e ignorando los vínculos ecosistémicos entre las cuencas, los acuíferos, los estuarios, lagunas costeras, los humedales y las aguas costeras y marinas. Es hasta las vacaciones de la semana mayor que la Conagua se pronunció para cuidar las aguas costeras.

La Conanp se suma al esfuerzo del CECADESU/Semarnat en los Planes Estatales de Educación Ambiental y diversifica las oportunidades de contribuir con las áreas naturales protegidas a través de acciones para promover la cultura de la conservación, tales como: 1) el Foro de Educación y Comunicación Ambiental; 2) el Programa Nacional e Internacional de Voluntarios; 3) las Campañas por el Orgullo; 4) la Semana Nacional por la Conservación; y 5) diseño y generación de materiales de educación ambiental. La mayor parte de estos esfuerzos están orientados a áreas terrestres

En México además de los esfuerzos anteriormente descritos, el cambio climático se ha atendido en educación ambiental con mayor énfasis hacia la reducción de emisiones contaminantes. Por ejemplo, en febrero del 2002 el Ing. Víctor Manuel Alcérreca, Premio Nacional de Medio Ambiente "Dr. Mario Molina" 2001, y actual Secretario General de gobierno del Estado de Quintana Roo, presentó la ponencia *Propuesta para la Educación Ambiental en México*, dentro del Segundo Evento Nacional sobre Prevención de la Contaminación, organizado por la Confederación Mexicana para la Producción más Limpia del Instituto Politécnico Nacional.

Hay que reconocer el esfuerzo que cada entidad federativa está realizando a través de la estructuración de su Programa Estatal de Educación Ambiental, sin embargo, las acciones vertidas en éstos y aquellos promovidos por la Semarnat a nivel nacional, se centran básicamente en el tipo de educación ambiental informal en un mayor porcentaje a la población que escucha radio y ve televisión en horarios vespertinos (de 4 a 6 pm); y no-formal casi exclusivamente para niños pequeños.

Desde el 2007 la Semarnat y la SEP firmaron el Acuerdo de Coordinación Interinstitucional que ha permitido reforzar el trabajo que realizan ambas dependencias, en la construcción de una nueva cultura ambiental. Asimismo, ha sido la base para diseñar un programa de educación orientado al desarrollo sustentable, al incorporar en los libros de texto gratuitos la importancia de proteger y conservar la biodiversidad de México. Aunque incluye temas relacionados con el CC, éste se aborda de manera general.

Ventana de oportunidades

Los referentes anteriores son aportaciones para el siguiente paso y motivo de este apartado del libro, se trata del desarrollo de capacidades individuales y colectivas. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) propone el enfoque de género al análisis del cambio climático pues reconoce que hombres y mujeres, por su condición de género enfrentan diferentes situaciones y por tanto su vulnerabilidad y su capacidad de adaptación es diferencial (PNUD, 2008). Otra perspectiva importante es la referida a los pueblos indígenas, no por su condición étnica sino por su condición social. La Unión Internacional para la Conservación

de la Naturaleza (UICN) hace esta mención pues son los pueblos indígenas los que dependen directamente de los recursos naturales de mar y tierra y por tanto serán los primeros en sufrir el impacto en la naturaleza. Por otro lado, son además las poblaciones económicamente más desprotegidas y por si estas privaciones fueran pocas, la educación es también deficiente. Para los pueblos indígenas el acceso a la información sobre cambio climático (primer derecho) con seguridad es un bien escaso y caro.

Primera oportunidad: garantizar el acceso a los materiales mismos que deben contar con contenido accesible y diferenciado para las poblaciones vulnerables

La Sagarpa (2007) a través del Instituto Nacional para el Desarrollo de Capacidades del Sector Rural (INCA rural) ha hecho un buen acercamiento. En primer término habla de la importancia de los recursos naturales, después describe "la enfermedad" que representa el cambio climático, sus síntomas y cierra con 25 mejores prácticas en el medio rural a favor del ambiente. Un segundo volumen de Sagarpa (2008) abunda con 28 consejos específicos para la agricultura sustentable

La Sagarpa y la UICN aluden al conocimiento que las comunidades rurales, indígenas y tradicionales poseen sobre la naturaleza. Existe una tradición milenaria de diálogo y relación armónica con el entorno natural y debe recuperarse y diseminarse. Las Naciones Unidas[1] documentan varias experiencias de los pueblos originarios, una relacionada con mares y costas, se ubica en Vietnam y las acciones de planta de manglares a lo largo de la costa. Desde 2003, en el III Foro Mundial del Agua en Kyoto, los pueblos indígenas declararon su derecho a sus tradiciones, su cosmovisión sobre el agua, sus prácticas consuetudinarias y sus compromisos por el uso sustentable del recurso.

En el caso de Celestún, Yucatán , Torres (2005) señala que fue con base en la percepción de la propia comunidad que se decidieron los ámbitos y modalidades de intervención y el diseño de la misma. De este modo, se incluyeron cursos de capacitación a los productores para aprender a manejar de manera integral los recursos locales, talleres escolares sobre el manejo de residuos sólidos o de otro tipo, obras de teatro comunitario para concienciar sobre la importancia del uso responsable de los recursos y campañas de reforestación de mangle y limpieza de los humedales.

[1](http://www.un.org/esa/socdev/unpii/documents/backgrounder%20climate_ESP_FORMATTED.pdf)

Segunda oportunidad: impulsar acciones sinérgicas que recuperen el conocimiento milenario de las poblaciones rurales, indígenas, originarias y tradicionales y el conocimiento científico

En animales, la tendencia a agruparse en sociedad ("sociality") evoluciona bajo la influencia de las restricciones ecológicas y pueden afectar el tamaño y la persistencia de las unidades sociales. El apareamiento, el flujo génico, las oportunidades de trabajo cooperativo también se ven modificadas. Ante una situación de cambio climático, las poblaciones humanas no son ajenas a esta influencia y sus consecuencias sociales no se esbozan en los materiales difundidos, ni en muchos de los estudios realizados. Las Naciones Unidas reconocen que las poblaciones de pescadores (la organización se refiere a las del Ártico) están preocupadas por las variaciones que sufrirán las especies animales y cómo estas alteraciones modificarán la identidad cultural y social de los pueblos originarios

Tercera oportunidad: investigar más respecto a los cambios culturales y sociales asociados al cambio climático que pueden ocurrir en los pueblos originarios y que sirvan de base para propuestas de acción

En espera de los resultados de dichas investigaciones, los materiales diseñados de ya pueden incorporar información sobre biotecnologías, fuentes de energía renovables, uso de cultivos mejorados genéticamente, técnicas para el control biológico de plagas de cultivos y las que afectan objetos y monumentos patrimoniales provocadas directa o indirectamente por el cambio climático y sus efectos. Las ecotecnologías abren un abanico de oportunidades para crear, cambiar y mejorar nuestro estilo de vida actual. La captura y almacenaje de agua de lluvia, el uso de cultivos orgánicos e hidropónicos; las cocinas, ventiladores, calentadores y deshidratadores solares así como los botiquines herbolarios serán determinantes en el abatimiento de varios de los causales del cambio climático

Aunado a la mejora de los contenidos, la educación en situación de cambio climático, debe tomar muy en cuenta que el ser humano experimenta sentimientos, deseos, creencias, actitudes. Con relación al reciclaje, tema íntimamente relacionado con el cambio climático (y en el terreno de la educación, además de los más abordados), Díaz Meneses (2009) después de estudiar a 339 personas con relación a sus sentimientos y conocimientos, concluye que es necesario poner más énfasis en aspectos emocionales que en los cognitivos pues en la investigación desarrollada mostró que el comportamiento ciudadano de reciclado es más parecido a una experiencia emocional que un intenso procesamiento de información y agrega que las emociones positivas son más fuertes que las negativas

De hecho, el tono catastrófico con el que antaño se abordaban las cuestiones ambientales, hoy en día está siendo canjeado por uno alentador. Por ejemplo, para el caso del consumo de agua, Gutiérrez Barba (2007) inicia un ejercicio con el registro de consumo de agua personal y

[2]http://www.un.org/esa/socdev/unpfii/documents/backgrounder%20climate_ESP_FORMATTED.pd

familiar, posteriormente lo plantea en términos de una situación hipotética de acarreo de agua a la vez que mediante la búsqueda de información, el sujeto (en este caso alumno de secundaria) reflexiona sobre su situación y la de otros congéneres y responde si su consumo se podría mantener a lo largo del tiempo. De esta manera se posibilita al alumno a tomar decisiones informadas y le brinda esperanza respecto al futuro a partir de las decisiones del presente. En Gutiérrez Barba *et al.* (2008), llevan al bachiller a encontrar sus propias explicaciones respecto al cambio climático mediante la técnica de los 5 por qués, planea el debate con sus colegas respecto las fuentes de emisiones de GEI y el planteamiento de sus propias acciones. Este color de la información da como resultante que el educando mire que hay soluciones y además que dichas soluciones están en sus manos.

La información debe migrar del enfoque comunicativo al enfoque dialógico en el que la figura del facilitador esté presente de forma real o virtual. Larsen *et al*. (2008) reflexionan sobre la legitimidad que se otorga a las acciones participativas. En términos de aprendizaje, transferir la acción al sujeto es determinante para modificar sus nociones, creencias e influir en sus acciones. Los materiales ahora diseñados ofrecen un buen nivel de información que podría enriquecerse con estrategias para que el usuario deliberara sobre situaciones cercanas a su cotidianeidad y propusiera acciones a su alcance para mitigar o adaptarse al cambio climático. Agregado a esto, hay que mencionar que todavía existe un rechazo al hecho de que ese cambio de clima esté sucediendo. Esto viene de un sector del público que no se rinde ante la evidencia de que las manifestaciones de ese cambio se están dando y de que la temperatura se está elevando más rápido de lo que se pronosticaba que iba a subir. Aunado al rechazo está la incertidumbre respecto a los efectos de estos cambios y sobre lo que se puede esperar con estos cambios así como la necesidad de redefinir qué es el "riesgo aceptable" y el "margen de acción" cuando se trata de eventos que pueden poner en juego la integridad de vidas y de la inversión de infraestructura.

Es bien sabido que el público sensibilizado es proclive a sumar esfuerzos para limpiar y contribuir a restaurar el ambiente y prevenir otros impactos, como incendios comunes después de los huracanes debido a la gran cantidad de madera y árboles caídos; o al rescate de especies atrapadas o lastimadas. Esta sensibilidad se construye sobre la base de relaciones dialógicas.

Cuarta oportunidad: dar tono esperanzador a los materiales elaborados y erradicar el tono catastrófico. Añadido a esto, provocar el diálogo, la reflexión y la acción asequible por parte del usuario de los materiales

Strømsø *et al*. (2009) documentan el hecho de que el recuerdo de la fuente de información, predice la comprensión de textos independientemente del género, conocimientos previos e interés en el tema. Si bien será necesario hacer más estudios, cierto es que en mercadotecnia se conoce muy bien y desde hace mucho se explota la imagen física y nominal de los famosos para orientar el consumo de bienes y servicios. En el caso del cambio climático, fortalecería la lectura y comprensión de los materiales si se acompañara con la presencia de una figura socialmente aceptada dentro de las comunidades a las que va dirigido.

Quinta oportunidad: diseñar materiales que recuperen a los personajes con ascendencia social entre la comunidad

Si bien la modalidad fundamental en las instituciones educativas es la formal, en el campo de la EA, como en otros casos, la EA no formal complementa de manera importante las actividades de EA que podrían denominarse "curriculares". En este sentido, es importante reconocer que la educación ambiental formal necesita de las experiencias y fortalezas de la educación ambiental no formal, como ya se dijo anteriormente, y que en el caso que nos ocupa es aún más necesario fortalecer la vinculación entre los diversos ámbitos y modalidades, enriqueciendo las propuestas de EA con la diversidad de visiones y de saberes

Sexta oportunidad: romper las barreras entre modalidades y hacer educación informal en los espacios formales

Los esfuerzos de educación ambiental que se están llevando a cabo en México son dirigidos específicamente para tratar de disminuir los factores e impactos que empeoran los escenarios del CC. Pero no hay hasta ahora ninguno que aborde la preparación para adaptarse ante los efectos de ese cambio en el clima.

Séptima oportunidad: orientar las estrategias educativas que posibiliten al sujeto a adaptarse a los efectos causados por el cambio climático

Hablar de las oportunidades para la educación ambiental en situación de cambio climático es bordar en vacío si no se fortalece con la formación de educadores ambientales. Este factor aplica a todos los ámbitos y modalidades, y además de ser un elemento fundamental de la situación que guarda la EA, es uno de los objetivos centrales de cualquier estrategia de EA. Es decir, la realización de actividades de EA, en este caso referidas al cambio climático, con base en los principios de este campo, como son la comprensión de complejidad de los problemas ambientales y sociales (particularmente del fenómeno del cambio climático), la importancia de las construcción colectiva, y el espíritu crítico, entre otros, necesitan de personas formadas, conscientes de su responsabilidad como educadores ambientales para favorecer las transformaciones individuales y colectivas, y un posicionamiento ante el cambio climático, pues de lo contrario, se puede correr el riesgo de la simplificación de los problemas, de sus causas y consecuencias, y de las alternativas de solución.

Así, la formación y profesionalización de los educadores ambientales se convierte en uno de los objetivos fundamentales de todo plan de EA. En este sentido, es posible afirmar que en general las personas responsables del área de educación ambiental, cuando existe, en los gobiernos municipales, tienen poca o nula formación, y frecuentemente poca experiencia en este campo. Esta situación se presenta también en las instancias estatales de la gestión ambiental, sean secretarías o direcciones, aunque en un menor grado.

En el ámbito de las instituciones de educación superior, como en el de la educación básica, guardando las debidas proporciones, el personal académico y administrativo que realiza activi-

dades de educación ambiental es mínimo, y frecuentemente estas actividades tienen poco reconocimiento institucional. La formación de profesores y estudiantes, así como de la sociedad en su conjunto, es uno de los objetivos fundamentales de las instituciones de educación superior que cuentan con planes o programas ambientales institucionales, y el número de instituciones que cuentan con este tipo de propuestas ha crecido de manera importante en los últimos 5 años en México. ¿Cuál es la situación, en este sentido, de las IES de los estados costeros de México? ¿En qué medida han contribuido a elevar el papel transformador de la EA a través de la formación, educación continua y actualización, tanto de académicos como de la sociedad en general? ¿Es el cambio climático un tema relevante en estos procesos educativos?

Es igualmente importante considerar la formación y actualización de los integrantes de las organizaciones de la sociedad civil en ea y los temas relativos al cambio climático, ya que por su naturaleza y antecedentes en nuestro País, las osc habrán de seguir jugando un papel fundamental en los procesos educativos no formales, que además deben ser reconocidos como complementarios a los procesos educativos que se realizan desde y en las instituciones educativas. En este sentido, Esteva señala, en la Estrategia de Educación Ambiental para la Sustentabilidad en México (Semarnat, 2006), que, dada la amplitud de la propuesta de cambio de la cual la educación no formal es portadora, debe ubicarse en el rango de una nueva política educativa y cultural, por lo que sus contribuciones son relevantes para impulsar cambios en la educación formal. Lo anterior es una evidencia más de la significación de la sinergia entre estos dos ámbitos educativos, de especial relevancia para el diseño e implementación de proyectos de ea ante el cambio climático.

Octava oportunidad: Enfocar los esfuerzos a formar educadores ambientales que orienten las acciones de EA y garanticen la continuidad y mejora de las acciones

Nuestro conocimiento del cambio climático es incipiente, requerimos de alianzas y acuerdos internacionales para establecer pautas comunes de acción que se potenciarán con incentivos económicos y el manejo de mercados que eventualmente también redunden en el aumento de inversión en todo el mundo para investigar sobre el CC en aras de generar la "mejor ciencia" sobre el mismo, la mejor investigación educativa y la "mejor tecnología" para abordar sus efectos; que se mejorarán los sistemas de observación y seguimiento del clima. Las alianzas no solo son estrategia sino muestra de una visión global y de largo plazo. La necesidad de ver el fenómeno del CC y sus efectos desde una perspectiva no local y atemporal, para atender a sus interconexiones globales y transgeneracionales.

Novena oportunidad: Establecer alianzas, conformar redes que permitan articular acciones y optimizar esfuerzos orientados hacia el desarrollo de una visión del CC como fenómeno complejo, global, transgeneracional

Nuestra experiencia sobre la efectividad de las acciones de EA no puede constreñirse a la sensación de los actores, es menester evaluar el impacto de las intervenciones sobre el estilo de vida, los valores ambientales y sobre la relación con los recursos. La evaluación debe abordarse desde las dimensiones cualitativa y cuantitativamente González Gaudiano y De Alba (1997) proponen los valores, las habilidades y los aspectos conceptuales para ser incluidas en las pautas de la evaluación

Décima oportunidad: establecer modelos de evaluación de la EA que incorporen los valores, las actitudes, los conocimientos de forma cualitativa y forma cuantitativa

Conclusiones

1. Los planes y programas de EA locales y regionales se deben construir a través de estudios, y con la concurrencia de procesos participativos. Sólo así hemos de fortalecer las acciones de EA y, con ello, las transformaciones sociales, que favorezcan no solo la comprensión y adaptación al cambio climático, sino los cambios individuales y colectivos de comportamiento, y de relación con la naturaleza y, como consecuencia, procesos de restitución de equilibrios entre las comunidades humanas y los ecosistemas, y nuevos modelos de civilización.
2. La educación ambiental deberá abordar los conceptos de sostenibilidad, considerando que el crecimiento económico rápido es el que mayor impacto ambiental genera. Aunque es deseable la reducción de diferencias económicas entre las regiones del planeta, el aumento de ingresos *per cápita* en las regiones más pobres, tendrán un efecto negativo a corto plazo en los usos y costumbres de consumo y producción, generando rápidamente mayor impacto al ambiente. En cuanto al énfasis tecnológico, la educación ambiental deberá generar estrategias para educar a la población a mejorar substancialmente la generación y uso de la energía y los energéticos.
3. La educación ambiental deberá hacerse extensiva a toda la población a fin de sensibilizarla en las premisas del desarrollo sostenible, de manera que eventualmente la población mundial disminuya; se haga reingeniería en las estructuras de información y comunicación, permitiendo la construcción de un mayor número de canales de acceso y disponibilidad de esa información a tiempo, y que ésta sea completa, veraz, oportuna y real. La educación ambiental ha de centrarse en habilitar a la población en la elaboración de respuestas locales a los problemas globales y regionales. Una sociedad local educada que comprenda los vínculos existentes entre los componentes naturales y sus

procesos, podrá ser sostenible eliminando prácticas nocivas o excesivamente costosas al ambiente, adoptando modelos de desarrollo y tecnologías acordes a los ecosistemas y recursos que ahí existan. Como la población local entiende que su subsistencia depende del manejo adecuado de los recursos naturales y la salud de los ecosistemas, la educación ambiental promueve el desarrollo de actitudes, aptitudes y habilidades específicas para aprovecharlos de manera sostenible, y contribuir así a su conservación.

4. Es innegable que en cualquiera de los escenarios planteados por el IPCC, es imperante la necesidad de adquirir conocimientos, actitudes, habilidades y conductas apropiadas para la preparación y adaptación ante los efectos del CC. Esto nos lleva a reconocer que la educación ambiental es la piedra angular para la construcción de cualquiera de los futuros alternativos. En el caso particular de las zonas costeras, la elevación del nivel medio del mar plantea escenarios específicos para los que la educación ambiental deberá ayudar a que la población adquiera valores y creencias ambientales que contribuyan al diseño y aplicación de un modelo económico que permita el crecimiento con el mínimo impacto ambiental.
5. Otro efecto que está vinculado con los huracanes y que tiene un alto impacto en la zona costera son las mareas de tormenta. El oleaje que resulta de estos fenómenos meteorológicos produce erosión y pérdida de línea de costa afectando ecosistemas como las playas y dunas, e infraestructura que van desde edificaciones de todo tipo, hasta muelles, puentes, carreteras, líneas e infraestructura energética y de comunicación, e interferir con el transporte marino, terrestre y aéreo. Ante esta problemática, la educación ambiental puede contribuir fomentando una cultura de prevención tanto en el público como en las autoridades que contribuya con la planeación estratégica de esa infraestructura, así como con la protección de la misma.
6. Es necesario retomar las aportaciones de la ciencia y la tecnología las cuales han desarrollado un gran número de procesos y productos innovadores que liberan una menor cantidad de gases invernadero.
7. La educación ambiental también provee la orientación apropiada para las inversiones futuras en infraestructura y proyectos productivos que en las condiciones futuras serán costo-efectivas y cumplirán con las condiciones ambientales, económicas y sociales necesarias para sobrevivir en las zonas costeras.

Literatura citada

Conde, C., 2007. México y el cambio climático global. Semarnat.

Díaz Meneses, G., 2009. Refuting fear in heuristics and in recycling promotion. *J Bus Res.,* doi:10.1016/j.jbusres.2009.02.002.

González, G. E., y A. De Alba, 1997. Evaluación de programas de educación ambiental. Experiencias en América Latina y el Caribe. CESU-UNAM, CECADESU-Semarnat, OREALC-UNESCO. 119p

Gutiérrez Barba, B.E. 2007. Ciencias I, Básicos. Biología. Editorial Santillana. ISBN 978-970-29-1822-6. México.

Gutiérrez Barba, B.E., P. Rodríguez Salinas, y F. Fernández Flores, 2008. Ecología y Medio Ambiente. Bachillerato Santillana. ISBN 978970-29-2144-8. México

Larsen, K., U. Gunnarsson-O¨ stling, 2008. Climate change scenarios and citizen-participation: Mitigation and adaptation.perspectives in constructing sustainable futures. Habitat International 1-7, doi:10.1016/j.habitatint.2008.10.007.

Leff, E., 2000. Pensar la Complejidad Ambiental. En:E. Leff (coord). La Complejidad Ambiental. México, Edición Siglo XXI/UNAM/PNUMA.

Lloyd-Smith, M., 2009 Information, power and environmental justice in Botany: The role of community information systems. *Journal of Environmental Management,* 90: 1628–1635.

Naciones Unidas, 2007. El cambio climático y los pueblos indígenas. Foro Permanente para las cuestiones indígenas de las Naciones Unidas. http: //www.un.org/esa/socdev/unpfii/documents/backgrounder%20climate_ESP_FORMATTED.pdf. consultado el 07 de abril de 2009.

Parsons, K.M., K.C. Balcomb III, J.K.B. Ford, y J.W. Durban, 2009. The social dynamics of southern resident killer whales and conservation implications for this endangered population. *Animal Behaviour,* 77: 963–971.

Sagarpa, 2007. INCA rural. 100 consejos ambientales para el campo mexicano. Vol I. El cambio climático y el sector rural.

Sagarpa, 2008. INCA rural. 100 consejos ambientales para el campo mexicano. Vol II Agricultura sustentable

Semarnat, 2006. Estrategia Nacional de educación ambiental para la sustentabilidad en México. Semarnat, México

Semarnat, 2007. ¿Y el medio ambiente? Problemas en México y el mundo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), SNAIRN-Semarnat y PNUD, México, 202 pp.

Strømsø, H., I. Braten, y M. Britt, 2009. Reading multiple texts about climate change: The relationship between memory for sources and text comprehension. Learning and Instruction xx 1-13.

Torres, R., 2003. Cultural theory and environmental decisions: The management of marine resources in the coast of Yucatan. En: Litoral 2002, The Changing COSAT, EUROCOAST/EUCC. Porto – Portugal. Ed. EUROCOAST – Portugal.

Torres, R., 2005. Contribución al manejo pesquero de la Bahía de Chetumal. En: V. H. Delgado Blas, J. S. Ortegón, Ma. M. Vázquez González, A. González Damián, J. Hernández Rodríguez (eds.), 2010. Avances de Ciencia y Tecnología en Quintana Roo. Universidad de Quintana Roo. Plaza y Váldez – UQROO México.

UICN, 2008. Los pueblos indígenas y tradicionales y el cambio climático. http://cms.iucn.org/es/sobre/union/secretaria/oficinas/sudamerica/sur_trabajo/sur_equidad/?uNewsID=8.53. Consultado el 6 de abril de 2009.

Cambio Climático en México
un Enfoque Costero y Marino

Indicadores para el cambio climático

Azuz-Adeath, I., I. Espejel, E. Rivera-Arriaga, J. L. Ferman y G. Seingier, 2010. Referentes internacionales sobre indicadores e índices. Historia y estado del arte, p. 845-858. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Referentes internacionales sobre indicadores e índices. Historia y estado del arte

Isaac Azuz-Adeath, Ileana Espejel, Evelia Rivera-Arriaga, Jose Luis Ferman y Georges Seingier

"Los indicadores son naturales en cualquier lugar, forma parte de la vida de todas las personas"

Donella Meadows, 1998

Resumen

La Red Mexicana de Manejo Integrado Costero y Marino, se ha propuesto como meta final de la elaboración del presente libro, la construcción colegiada de una propuesta de indicadores que permitan evaluar y dar seguimiento al estado y posibles respuestas ante el cambio climático de las zonas costeras y marinas mexicanas. El presente capítulo hace una revisión sobre el estado del arte en la construcción e implementación de diferentes indicadores e índices propuestos para el desarrollo sustentable y la gestión ambiental. Este capítulo da sustento teórico a los apartados que constituyen esta sección, los cuales buscan establecer una serie de indicadores y/o índices para la gestión costera y marina que consideren los impactos del cambio climático en México.

Definiciones generales y características deseables de los indicadores e índices

Tradicionalmente la comprensión, el análisis y el modelado de los sistemas dinámicos (aquellos que cambian en el tiempo) y de los sistemas complejos (aquellos que presentan interacciones no lineales y sensibilidad a las condiciones iniciales), ha empleado aproximaciones basadas en el determinismo y en formulaciones empíricas. Estos ámbitos de análisis y estudio, se han desarrollado fundamentalmente en las esferas científicas y técnicas.

La evaluación y el seguimiento del comportamiento de dichos sistemas, debe contribuir con las propuestas gubernamentales y las acciones del público en general, orientando las políticas, aportando información oportuna para la toma de decisiones y sensibilizando a la sociedad sobre fenómenos, procesos y problemas que pudieran afectarla. Uno de los mecanismos que mejor cumple esta misión es la medición periódica y la difusión de indicadores e índices.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (Linster, 1993; Nardo *et al.,* 2005; OCDE/OECD, 2001, 2003) define un **indicador** como un *parámetro (propiedad que se mide u observa), o valor derivado de otros parámetros, dirigido a proveer información y describir el estado de un fenómeno, ambiente o área, con un significado añadido mayor que el directamente asociado a su propio valor.* Por otra parte, establece que un **índice** será *un conjunto agregado o ponderado de parámetros o indicadores*.

La figura 1 (adaptada de Robinson, S/F), esquematiza el proceso de generación de información para la construcción de indicadores e índices, al igual que los ámbitos de trabajo y uso de los mismos.

Figura 1. "Iceberg" de información. (Adaptada de Robinson, C., S/F. Parks Canada Agency).

La función de los indicadores es, por una parte, la de reducir el número de mediciones y parámetros que normalmente se requerirían para dar una representación exacta de una situación y por la otra, simplificar el proceso para comunicar los resultados de las mediciones a los usuarios o tomadores de decisiones (OCDE/OECD, 2001, 2003a).

En este sentido, los indicadores deben ser **simples**, **relevantes** y **significativos**, lo cual significa que el número de indicadores debe ser reducido pero suficiente, su metodología de construcción transparente, su utilidad para la toma de decisiones evidente y su capacidad para hacer patentes cambios o avances clara (Spangenberg y Bonniot, 1998).

En la construcción de indicadores se debe tomar en cuenta **la audiencia** a la cual van dirigidos, el nivel de detalle (**escala**) que se busca representen, la existencia de **información suficiente** y con la **periodicidad adecuada** y la **relación costo/beneficio** de su medición y difusión.

Se recomienda que en el proceso de identificación y elaboración de los indicadores e índices se siga un **enfoque participativo**, de tal forma se consideren las visiones y los valores de las comunidades o regiones para las cuales se construyen; por lo tanto, los indicadores deben ser definidos de manera muy **clara** y **sin ambigüedades**, deben ser **prácticos** y **entendibles** para la audiencia que participó en su definición (Bossel, 1999).

En la construcción de índices (agregación y ponderación de indicadores) o indicadores compuestos es necesario, de acuerdo con Nardo *et al.* (2005), considerar los siguientes elementos:

- Establecer un **marco de referencia** general que permita establecer las bases para seleccionar, de un conjunto de indicadores, aquellos que formarán los índices o indicadores compuestos.
- Hacer una adecuada **selección de los datos**, de tal forma que tengan sentido analítico, que sean medibles, que tengan una amplia cobertura, que sean relevantes para describir el fenómeno que se intenta presentar y que permita considerar las interacciones con otros procesos.
- Hacer uso de herramientas estadísticas (*e.g.* análisis multivariante) para conocer la estructura interna de las variables que componen el indicador y justificar los pasos metodológicos como el proceso de agregación y de ponderación de los diferentes indicadores simples o variables de medición directa.
- La información de los indicadores deberá estar **normalizada** para que sean comparables.
- Los índices se constituyen a partir de procesos rigurosos de **agregación** y **ponderación** de los indicadores, en función de los referentes metodológicos establecidos.
- Es necesario evaluar la **robustez y la sensibilidad** de los indicadores, es decir deben representar lo que se espera y deben ser sensibles a los cambios en las variables.
- Los índices deberán ser susceptibles de **representarse de manera visual** de tal forma que contribuya a la interpretación directa del comportamiento del fenómeno bajo análisis.
- Es deseable una relación directa entre el valor del índice y el aspecto que representa (*e.g.* valores positivos o mayores del índice deberán significar mejoras y viceversa).

- Es necesario cuidar la **transparencia en la construcción**, es decir, en todo momento los índices deberán permitir regresar a la información medida o utilizada en su construcción.

Experiencias en el uso de indicadores e índices a nivel mundial y nacional

En el ámbito económico es bastante generalizado el uso de índices e indicadores, los cuales han permeado en la sociedad en general, se pueden mencionar por ejemplo: el índice de Gini, el cual fue presentado en 1912 y es empleado de manera generalizada para evaluar la desigualdad en los ingresos de un país o de la sociedad en general; el Producto Interno Bruto, el cual es un indicativo de la producción de bienes y servicios o el Ingreso per Cápita, el cual se emplea frecuentemente para estimar los niveles de riqueza de los países.

Desde la perspectiva social, en México se han adoptado, construido y evaluado de manera periódica diferentes índices e indicadores para dar seguimiento a las condiciones de vida de la población, se pueden mencionar los trabajos del Consejo Nacional de Población en la evaluación quinquenal de los niveles de marginación (Conapo, 2001a, 2004, 2006) y el cálculo del índice de desarrollo humano (Conapo, 2001b) y el seguimiento de la pobreza (alimentaria, económica y de capacidades) a nivel estado, municipio y comunidad que realiza el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2000, 2005).

Por ejemplo, en el cálculo del Índice de Marginación se emplean 9 indicadores, todos ellos expresados en términos porcentuales:

- Población analfabeta de 15 años o más.
- Población sin primaria de 15 años o más.
- Ocupantes en vivienda sin drenaje y servicios sanitarios.

Figura 2. Producto Interno Bruto *per capita* a nivel mundial. (Fuente: IMF, 2009)

- Ocupantes en viviendas sin energía eléctrica.
- Ocupantes en viviendas sin agua entubada.
- Viviendas con algún nivel de hacinamiento.
- Ocupantes en viviendas con pisos de tierra.
- Población en localidades con menos de 5 000 habitantes.
- Población ocupada con ingresos de hasta dos salarios mínimos mensuales.

En la construcción de estos indicadores se emplearon diversas variables censales como: condición de alfabetismo, nivel educativo, tipo de vivienda, existencia de drenaje, presencia de excusado o sanitario, disponibilidad de energía eléctrica, disponibilidad de agua, dormitorio, material en piso, tamaño de la localidad, población total, población mayor de 15 años, población ocupada y nivel de ingreso.

La combinación de los indicadores da como resultado un valor (Índice de Marginación) que puede tomar valores entre -1 y 1. Se han establecido 5 rangos cualitativos para describir el grado de marginación en función de la puntuación obtenida desde muy baja (-1) hasta muy alta (1) (figura 3).

En el ámbito del desarrollo sustentable y la gestión ambiental existe un importante trabajo en lo que a indicadores e índices se refiere, propiciado fundamentalmente por los resultados (*e.g*. Capítulo 40 de la "Agenda 21") de la Conferencia Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas, realizada en la ciudad de Río de Janeiro, Brasil en 1992.

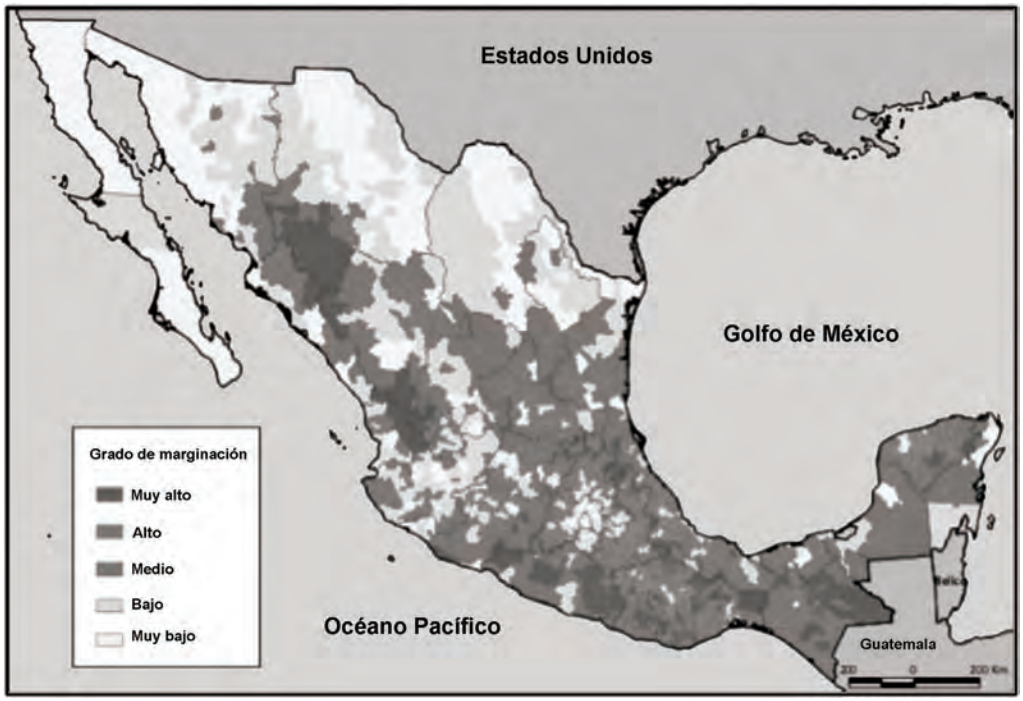


Figura 3. Grado de marginación a nivel municipal (Conapo, 2006).

El inicio formal del desarrollo de indicadores por parte del Banco Mundial se puede definir a partir de la publicación del trabajo de Serageldin en 1996. A la fecha, esta institución presenta el avance de los diferentes países a partir de la construcción de cerca de 800 indicadores de 150 economías, agrupadas en 14 regiones, dándole cobertura a prácticamente todo el mundo (WB, 2010). Dichos indicadores presentan información sobre diversos ámbitos del quehacer humano (*e.g.* agricultura, economía, salud, educación, población, desarrollo industrial, comercio, ciencia y tecnología, etc.).

Por su parte, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE/OECD), desde la década de los 90 ha definido, socializado y evaluado de manera periódica indicadores de desempeño ambiental que permiten hacer comparaciones a nivel país (OCDE/OECD, 1993, 2001), al igual que ha impulsado evaluaciones ambientales específicas para los diferentes países miembros (OECD, 1998, 2003b).

El núcleo central de indicadores ambientales y socio-económicos que maneja la OCDE, se presenta en la tabla 1.

A partir de la mencionada tabla, la OCDE ha evaluado el desempeño ambiental de los países, usando la definición de 10 "indicadores clave": Cambio climático, capa de ozono, calidad del aire, generación de residuos, calidad del agua, recurso agua, recursos forestales, recursos pesqueros, recursos energéticos y biodiversidad. En la construcción de estos "indicadores clave" no se emplean todos los parámetros reportados en la anterior tabla.

La Organización para las Naciones Unidas (ONU), ha generado diversos tipos de indicadores, desde los relacionados estrictamente con el desarrollo sustentable y humano hasta los empleados en el monitoreo de los "Objetivos del Milenio"(ONU, 2005 a 2009; UN, 1996, 2001; UNDP, 2007,2009).

La ONU propuso en 1995 desarrollar los Programas Nacionales de Indicadores para el Desarrollo Sustentable, alrededor de 15 temas generales o "indicadores núcleo", para lo cual elaboró y difundió en el ámbito mundial una guía metodológica, la cual ha sido ampliamente usada (ONU, 2001).

Los temas generales fueron 15: equidad, salud, educación, vivienda, seguridad, población, atmósfera, tierras, océanos, mares y costas, agua dulce, biodiversidad, estructura económica, patrones de consumo y producción, referentes institucionales y capacidades institucionales.

Para construir estos "indicadores núcleo" se recurrió a la medición o uso de variables, parámetros o indicadores: sociales (19), ambientales (19), económicos (18) e institucionales (6).

México, por conducto de la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (Semarnap, hoy Semarnat), participó en esta iniciativa y generó, bajo el esquema metodológico propuesto, el primer conjunto de indicadores para el desarrollo sustentable (Semarnap, 2000), con una escala de análisis nacional y cuando la información lo permitía, con desgloses a nivel de estado.

En el contexto nacional, la existencia de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental data de 1997 (INE, 1997a,b) y es con la aparición del texto "Indicadores para la Evaluación del desempeño ambiental. Reporte 2000" (INE, 2000) que formalmente se presenta in-

Tabla 1. indicadores núcleo de la OCDE, 2001.

	Indicadores	Parámetros medidos o medibles
Indicadores Ambientales	Cambio climático	Intensidad de emisiones de CO_2. Concentración de gases de efecto invernadero.
	Pérdida de la capa de ozono	Sustancias que disminuyen la capa de ozono. Ozono estratosférico.
	Calidad del aire	Intensidad de emisiones a la atmósfera. Calidad del aire urbano.
	Residuos	Generación de residuos. Reciclado de residuos.
	Calidad de agua	Calidad de agua de ríos. Tratamiento de aguas residuales.
	El recurso agua	Intensidad de uso del agua. Distribución y precio del agua pública.
	Recursos forestales	Intensidad de uso de los recursos forestales. Tierras forestales y maderables.
	Recursos pesqueros	Capturas y consumo pesquero:nacional. Capturas y consumo pesquero: regional y global.
	Biodiversidad	Especies amenazadas. Áreas protegidas.
Indicadores Socio-económicos	PIB y población	Producto Interno Bruto (PIB). Crecimiento y densidad poblacional.
	Consumo	Consumo privado. Consumo gubernamental.
	Energía	Intensidad de uso de la energía. Mezcla energética. Precios de la energía.
	Transporte	Tráfico en carreteras e intensidad vehicular. Infraestructura y densidad carretera. Precio e impuestos del combustible.
	Agricultura	Intensidad de uso de fertilizantes nitrógeno y fosfatos. Balance de nitrógeno. Densidad de plantaciones. Intensidad de uso de pesticidas.
	Gasto	Gasto en disminución y control de la contaminación. Ayuda oficial para el desarrollo.

formación actualizada, utilizando un marco de referencia general que permitirá monitorear el desempeño del país. El uso de indicadores se ha convertido en pieza calve para dar seguimiento y evaluar la efectividad y eficiencia de las políticas ambientales (*e.g.* Semarnat, 2005).

Como un primer esfuerzo de llevar el concepto de medición de indicadores al ámbito estatal, el Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CCE-CESPEDES, 2001) presenta una importante contribución sobre la medición de indicadores e índices.

No es posible concluir esta sección sin hacer una mención especial a los trabajos desarrollados por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) en lo que respecta a índices e indicadores para: especies amenazada, invasoras y vulnerables al cambio climático; plantas medicinales y aves migratorias, por mencionar algunas contribuciones. De igual forma los trabajos desarrollados por el Instituto Mundial de los Recursos Naturales (WRI) a través de su publicación periódica "Earth Trends", el trabajo seminal de Hammond y colaboradores en 1995 y el World Watch Institute (WWI) con las publicaciones "State of the World".

Referentes generales y marcos conceptuales

Con el fin de establecer criterios para la definición y aplicación de índices e indicadores, se ha recurrido fundamentalmente a los esquemas: Presión-Estado-Respuesta (PSR) y Fuerzas Generadoras-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (DPSIR). En todos los casos se emplean las siglas en ingles de estos modelos por tener una amplia aceptación.

Esquema PSR

El esquema PSR propuesto por la OCDE en 1993, considera: las presiones que el ser humano y las actividades asociadas a su desarrollo imponen sobre el entorno natural, el estado que guarda el ambiente en un cierto momento del tiempo (*i.e.* cuando se obtuvieron los datos) y las respuestas que propone o instrumenta la sociedad para corregir posibles desequilibrios, para disminuir las presiones o para mejorar el estado del ambiente. A continuación la figura 4 presenta de manera gráfica el esquema PSR.

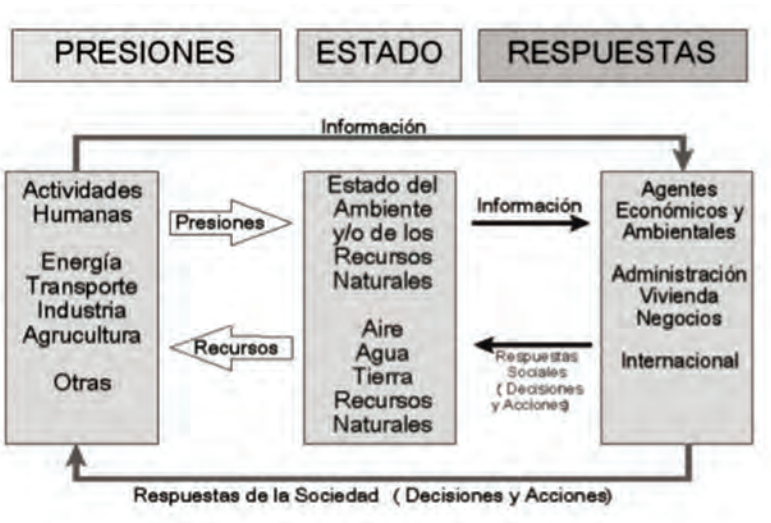


Figura 4. Esquema del marco de referencia Presiones-Estado-Respuestas (Fuente: OCDE/OECD, 1993).

Este esquema impulsado en la década de los 90, fundamentalmente por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, ha permitido entre otras cosas: armonizar el manejo y presentación de información, medir el desempeño y progreso en temas ambientales, monitorear la integración de políticas y realizar comparaciones internacionales de manera efectiva.

Esquema DPSIR

El esquema Fuerzas generadoras (D), presiones (P), estado (S), impactos (I), respuestas (R) ha sido ampliamente utilizado en la Unión Europea desde los años 90, fundamentalmente en la evaluación del desempeño ambiental de los países miembros (EEA, 2010).

Este modelo parte del hecho de que el desarrollo humano (actividades económicas y sociales) ejercen una presión sobre el ambiente, como consecuencia de la cual, el estado del ambiente se modifica (salud, disponibilidad de recursos, biodiversidad), pudiendo impactar en la salud humana, en los ecosistemas y en los bienes materiales, produciéndose una respuesta de la sociedad (decisiones y acciones) tendiente a modificar las fuerzas generadoras originales, las presiones, los cambios en el ambiente y los impactos registrados. La figura 5 presenta de manera gráfica el esquema DPSIR.

Para vincular los diferentes elementos del esquema DPSIR se han propuesto diversas estrategias de medición: indicadores de eco-eficiencia y de emisiones D-P; modelos de dispersión y medidas de tendencia P-S; indicadores de respuesta y relaciones causales S-I; Análisis de riesgo, estimaciones costo/beneficio y esquemas acción-inacción I-R; Indicadores de efectividad de las respuestas para R-D, R-P, R-E y R-I.

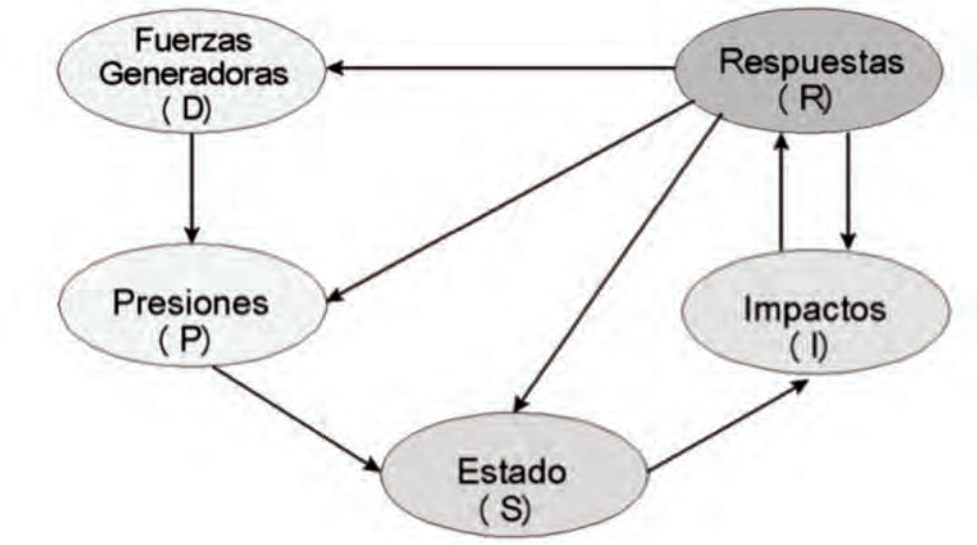


Figura 5. Esquema del marco de referencia DPSIR
(Fuente Smeets y Wetering, 1999).

En el contexto europeo, usando el referente DPSIR, Smeets y Wetering (1999), propusieron una tipología simple para la caracterización de indicadores ambientales:

- **Indicadores descriptivos**. Tratan de responder a la pregunta ¿qué le está sucediendo al ambiente y al ser humano bajo los esquemas de desarrollo actuales?
- **Indicadores de desempeño**. Estos indicadores comparan las condiciones actuales contra especificaciones de referencia (*i.e.* condiciones deseables).
- **Indicadores de eficiencia.** Estos indicadores brindan información sobre la eficiencia de los productos y de los procesos, en términos de los recursos usados, de la energía consumida y de los desechos generados, respecto a algún nivel de referencia deseable o legal.
- **Indicadores generales de bienestar**. Estos indicadores dan información global sobre los cambios en el bienestar humano o los logros en términos del proceso de desarrollo sustentable.

Recientemente la comunidad europea propuso una serie de indicadores que pudieran ser empleados con fines de pronóstico, para elaborar proyecciones a futuro o para la creación de escenarios deseable. Se han propuesto 11 temas generales los cuales incorporan 51 indicadores (EEA, 2008).

Otros esquemas

Canadá, ha elaborado diversos tipos de indicadores con base en el "Modelo de Capital", el cual es una visión más economista que las anteriores y considera 4 tipos de capital (NRTEE-TRNEE, 2003):

- **Producción de Capital**. Se fundamenta en los bienes que proveen de beneficios a sus usuarios a lo largo del tiempo, lo cual ayuda a producir otros bienes y servicios. La producción de capital incluye: equipo, edificios, maquinaria e infraestructura.
- **Capital Natural**. Las bases del capital natural que proveen de materiales y servicios para mantener la actividad económica. Estos bienes pueden tener un valor económico o no.
- **Capital Humano**. Comprenden los conocimientos, habilidades, competencias y otros atributos de los individuos que facilitan la creación de bienestar social, económico y personal.
- **Capital Social**. Se basa en las relaciones, redes y normas que facilitan la acción colectiva y la cohesión social, teniendo un alto significado para la medición de la calidad de vida.

Los indicadores generados y aplicados en el ámbito del desarrollo sustentable y el medio ambiente, a nivel nacional en Canadá, bajo esta aproximación son los siguientes:

1. Capital Natural y Humano:
   - Tendencias en la calidad del aire,
   - Calidad del agua,

- Emisiones de gases de efecto invernadero,
- Cobertura vegetal,
- Extensión de humedales y,
- Nivel educativo de la población en edad laboral.

Por otra parte, la generación de indicadores en Australia ha seguido una aproximación más lineal y menos rígida en el sentido de definir un referente general. El monitoreo del comportamiento del ambiente se realiza de manera regular a partir del análisis del estado y tendencias de las siguientes variables (ver los reportes del estado del ambiente en GA, 2010):

- Atmósfera,
- Biodiversidad,
- Costas y océanos,
- Asentamientos humanos,
- Aguas interiores,
- Tierra,
- Patrimonio natural y cultural,
- Territorio Antártico Australiano.

Limitaciones generales de los indicadores

Los indicadores e índices tienen como propósito agregar información clave para que la difusión del conocimiento sobre los fenómenos y procesos que ocurren en los sistemas en los cuales participa el ser humano sea más eficiente y efectiva. Algunas limitaciones podrían ser:

- Presenta cuando mucho una explicación limitada del fenómeno.
- Son discrecionales pues solo evalúan parcialmente el fenómeno y en función de a quién se dirige la información.
- Dependen de la cantidad y de la calidad de la información existente.
- Los procesos de ponderación empleados en la generación de índices muchas veces son arbitrarios, tiene un carácter empírico o se fundamentan en percepciones.
- Los indicadores e índices tiene un carácter más descriptivo que explicativo de los fenómenos sociales, económicos y ambientales.
- Su construcción requiere un mínimo de coordinación entre las instancias que poseen bases de datos y accesibilidad de las mismas.
- En general se presentan desequilibrios entre la calidad y cantidad de los indicadores descriptivos, los de desempeño y los de eficiencia.
- Muchas veces se construyen de manera desvinculada respecto a los objetivos explícitos de las políticas públicas.
- En su construcción no siempre participan grupos multidisciplinarios.
- El costo de su elaboración depende de manera directa de la escala y cobertura que se quiera manejar.

Conclusiones

Si bien la experiencia internacional en la creación y empleo de indicadores e índices es basta, las experiencias específicas sobre zona costera y marina y cambio climático son limitadas. Esta es un área de oportunidad para realizar un trabajo colegiado trascendente por parte de la Red Mexicana para el Manejo Integrado Costero-Marino.

La construcción de indicadores e índices para la gestión costera y marina en México que consideren los efectos del cambio climático, deberá adoptar un marco de referencia general que permita identificar su funcionalidad: descriptivos, de desempeño, de eficiencia o de sustentabilidad general.

Los indicadores generados deberán ser simples, económicos en su construcción, suficientes en número, adecuados, relevantes, significativos, con una visión de gran escala y de largo plazo.

Por lo tanto, se deberá establecer claramente la escala de utilidad de la información que representan y la periodicidad requerida en su actualización.

Cuando corresponda deberán armonizarse con mediciones, umbrales o valores deseables establecidos de manera legal o en referentes nacionales o internacionales.

Como una primera aproximación deberán permitir hacer comparaciones cuando menos con otros países y entre litorales a nivel nacional.

Literatura citada

Bossel, H., 1999. Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications. A Report to the Balaton Group, International Institute for Sustainable Development (IISD), 123 p.

CCE-CESPEDES, 2001. Índice de Sustentabilidad Ambiental. México 2001. Consejo Coordinador Empresarial (CCE) y Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES). 220 p.

Conapo, 2001a. Índices de Marginación 2000. Consejo Nacional de Población, 197 p.

Conapo, 2001b. Índices de Desarrollo Humano, 2000. Consejo Nacional de Población, 131 p.

Conapo, 2004. Índice Absoluto de Marginación 1990-2000. Consejo Nacional de Población, 102 p.

Conapo, 2006. Índices de Marginación, 2005. Consejo Nacional de Población, 334 p.

CONEVAL, 2000. Mapas de Pobreza por Ingresos 2000. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, Parte I y II. [http://www.coneval.gob.mx/coneval2/htmls/publicaciones/HomePublicaciones.jsp]

CONEVAL, 2005. Mapas de Pobreza por Ingresos y Rezago 2005. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, Parte I y II. [http://www.coneval.gob.mx/coneval2/htmls/publicaciones/HomePublicaciones.jsp]

EEA, 2008. Catalogue of forward-looking indicators from selected sources A contribution to the forward-looking component of a shared environmental information system (SEIS/Forward). EEA Technical Report No. 8/2008, European Environmental Agency, Luxembourg, 204 p.

EEA, 2010. European Environmental Agency. [http://www.eea.europa.eu]

GA, 2010. Gobierno Australiano. Australia State of the Environment (varios años). Departamento del Ambiente, Agua, Patrimonio y Artes. [http://www.environment.gov.au/soe/publications/index.html]

Hammond, A., A. Adriaanse, E. Rodenburg, D. Bryant, y R. Woodward, 1995. Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development. World Resources Institute, 42 p. + anexos.

IMF, 2009. World Economic Outlook Database, April 2009. International Monetary Found [http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2009/01/weodata/index.aspx]

INE, 1997a. Avances en el Desarrollo de Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental en México 1997. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnap).

INE, 1997b. Indicadores Ambientales para la Región Fronteriza 1997, Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnap), 67 p.

Linster, M., 1993. OCDE Work on Environmental Indicators. p. 167-190. In: Expert Workshop on Environmental Compliance and Enforcement Indicators. INECE-OECD.

Meadows, D., 1998. Indicators and Information Systems for Sustainable Development. A Report to the Balaton Group. The Sustainable Institute, Vermont, 78 p.

Nardo, M., M. Saisana, A. Saltelli, y S. Tarantola, 2005. Handbook on Constructing Composite Indicators: Metodology and User Guide. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE/OECD), Statistics Directorate, STD/DOC (2005)3, 108 pp.

NRTEE-TRNEE, 2003. Environment and Sustainable Development Indicators of Canada. National Round Table on the Environment and the Economy 2003, Otawa, 54 p.

OECD/OECD, 1993. OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews. A Synthesis Report by the Group on the State of the Environment, Paris. 35 p.

OECD/OECD, 1998. Environmental Performance Reviews. Mexico. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD/OECD), 207 p.

OECD/OECD, 2001. OECD Environmental Indicators. Towards Sustainable Development. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD/OECD), 156 p.

OECD/OECD, 2003a. OECD Environmental Indicators. Development, measurement and uses. Reference Paper. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD/OECD,), 37 p.

OECD/OECD, 2003b. OECD Enviromental Performance Reviews: Mexico 2003. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD/OECD), 239 pp.

ONU, 2005 a 2009. Objetivos de Desarrollo del Milenio. Reportes anuales del 2005 al 2009. Organización de las Naciones Unidas. Información en línea en la página: [http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/reports.shtml]

Serageldin, I., 1996. Sustainability and the Wealth fo Nations: First steps in an Ongoing Journey. The World Bank.

Semarnap, 2000. Indicadores de Desarrollo Sustentable en México. INEGI-INE-Semarnap, 203 p.

Semarnat, 2005. Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México: 2005. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), 337 p. + CD.

Smeet, E., y R. Wetering, 1999. Environmental Indicators: Typology and overview. Technical Report No. 25, European Environment Agency (EEA), Copenhagen, 19 p.

Spangenberg, J.H., y O. Bonniot, 1998. Sustainability Indicators. A Compass on the Road Towards Sustainability. Wuppertal Paper No. 81, Wuppertal Institute, 34 p.

UN, 1996. Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies, Naciones Unidas (UN), New York.

UN, 2001. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies, Naciones Unidas (UN), New York, 319 p.

UNDP, 2007. Human Development Report 2007/2008. Fighting Climate Change: Human solidarity in divided world. United Nations Development Programme (UNDP), New York, 384 p.

UNDP, 2009. Human Development Report 2009. Overcoming Barriers: Human mobility and development. United Nations Development Programme (UNDP), New York, 217 p.

WB, 2010. World Development Indicators 2010. The World Bank (CD).

World Resources Institute (WRI), [http://www.wri.org/]

World Watch Institute, (WWI), [http://www.worldwatch.org/]

Seingier, G., I. Espejel y J. L. Fermán, 2010. Selección de índices sociales, económicos y ambientales para la construcción de modelos de evaluación y de monitoreo del contexto costero mexicano, p. 859-872. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Selección de índices sociales, económicos y ambientales para la construcción de modelos de evaluación y de monitoreo del contexto costero mexicano

Georges Seingier, Ileana Espejel y José Luis Fermán

Resumen

Se presenta una propuesta de sistema de base de datos con los cuales construir índices que permitan establecer el estado básico de la zona costera mexicana a partir de información estadística existente y de fácil acceso. Las diferentes combinaciones que pueden hacerse con este sistema fueron presentados como tesis doctoral del primer autor y el modelo que representa la vulnerabilidad socioambiental de las costas mexicanas ante escenarios de cambio climático se presenta como un capítulo aparte en la sección iii de este libro (p. 669-688) . El propósito del capítulo es presentar un resumen técnico enfocado a la selección de indicadores, al diseño de índices y a la construcción de modelos que se proponen como la base para la evaluación y monitoreo de fenómenos costeros ante escenarios de cambio climático en el país. Dichos índices interdisciplinarios se construyeron a partir de fuentes de información provenientes de los censos nacionales, los cuales se eligieron porque existen a nivel nacional y son actualizados cada cinco o diez años por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (inegi). Se sugiere que el Sistema de Información Geográfica sea parte del propuesto por la Semarnat (2007) denominado Sistema Ambiental Nacional de Información de Costas y Océanos (sanico) y que tiene como objetivo general el proporcionar una herramienta para evaluar de distintas maneras la sustentabilidad de las costas mexicanas.

Introducción

La calidad más que la cantidad de la información es fundamental para la planeación costera, por lo que los planes costeros dependerán de la disponibilidad de datos. Se ha encontrado que para el análisis de cambio climático en las costas son raros los estudios que proporcionan conjuntos de datos interdisciplinarios para una misma entidad espacial costera y la mayoría de los esfuerzos que tienen datos descriptivos de la zona costera disponibles manejan modelos o índices de monitorización de manera sectorial con temas como contaminación del agua, calidad del aire, biodiversidad, y/o densidad de población (Canadá: Boyd, 2001; Australia: Ward *et al*., 1998; Europe: EEA, 2006; América Latina: CIAT-World Bank-UNEP, 2000).

Por esta razón, es necesario emprender procesos que integren datos intersectoriales (componentes económicos, sociales y ambientales) de las costas mexicanas, además de tratarlos de manera integrada tanto temporal como espacialmente, para la formulación de modelos que faciliten la gestión de los planes y programas integrales de desarrollo costero ante escenarios de cambio climático.

La problemática de la modelización de cualquier fenómeno se relaciona con la elección de la información representativa del mismo. Lo anterior se resuelve al expresar las condiciones o tendencias del dicho fenómeno a través de indicadores, los cuales se eligen en función de la representatividad que tengan del fenómeno a evaluar (EEA, 1999), y se caracterizan por tres aspectos: 1) cuantifican la información de forma tal que su significado se manifiesta rápidamente, 2) sintetizan la información sobre un fenómeno en general complejo para facilitar la comunicación del resultado y 3) en consecuencia, son un instrumento eficaz para transmitir información de manera simple dentro del proceso de toma de decisión (Cendrero, 1997).

Los modelos se construyen a través de una agregación "piramidal" de la información en niveles: los indicadores de primer orden se combinan para generar indicadores de segundo orden (o sub índices), los cuales se combinan para producir indicadores de tercer orden, o índices. Todos ellos, indicadores, subíndices e índices, deben ser normalizados o estandarizados con el fin de resolver la problemática de manejar datos en unidades diferentes y para obtener cantidades adimensionales. Así, los datos entre cero y uno son comparables según el método descrito por Nijkamp *et al.* (1990). El número de indicadores utilizados para formar un modelo es definido por el propósito del modelo y por la disponibilidad de datos (Caraveo, 2001).

Los modelos más aceptados para la evaluación de la sustentabilidad se basan en los conceptos de causalidad, donde un estado se modifica por causa de la aplicación de una fuerza. El modelo desarrollado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) agrega un componente de respuesta a los anteriores para obtener el llamado modelo P-E-R, de presión-estado-respuesta, donde Presión se refiere a las fuerzas antropogénicas (cambio de uso de suelo, proyecciones demográficas) que actúan sobre el medio natural; donde Estado se refiere a la condición del ambiente (naturalidad, biodiversidad, grado de transformación del suelo); y donde Respuesta se liga a las respuestas de la sociedad para compensar pérdidas o daños relacionados a un cambio de calidad del estado, como son las políticas públicas, uso de nuevas tecnologías, o actitud social, entre otros (OCDE 1991, 1993).

Una variación del modelo anterior incluyen una componente de fuerzas motrices o causas externas como pueden ser: la presión demográfica, demanda internacional, etc.; así como otro componente de impactos relacionados con un cambio en la calidad del estado que afecte directamente a las personas, por ejemplo: enfermedades, contaminación del agua, pérdida de valor de bienes, erosión, etc. Este modelo se conoce DPSIR (por sus siglas en ingles de Driving Forces, Pressure, State, Impact, Response) utilizado y recomendado por la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA, 1999).

Los modelos desarrollados en el presente trabajo se basan en los esquemas anteriores y se enfocan en los componentes de Estado y de Presión. Sin embargo, se interpreta como la respuesta el bienestar de la sociedad (figura 1). Este componente se relaciona con el concepto de calidad de vida, mencionado en ocasiones como concepto de desempeño (García Aguilera, 2004) o de equidad (Kusters Viale, 2009). Además, se agrega la componente natural de la presión (peligrosidad), la cual está al día con los temas de cambio climático, que implican aumento del nivel del mar y aumento de la frecuencia de los eventos hidrometeorológicos en las costas y que significan impactos tanto en el medio ambiente natural como en la sociedad.

Área de estudio

Se delimitó la zona de estudio de acuerdo a la definición operativa del concepto de zona costera como los limites político-administrativos sobre los que se pueden aplicar leyes y reglamentos (INE, 2000). La porción de territorio analizada en el presente trabajo abarca los 169 munici-

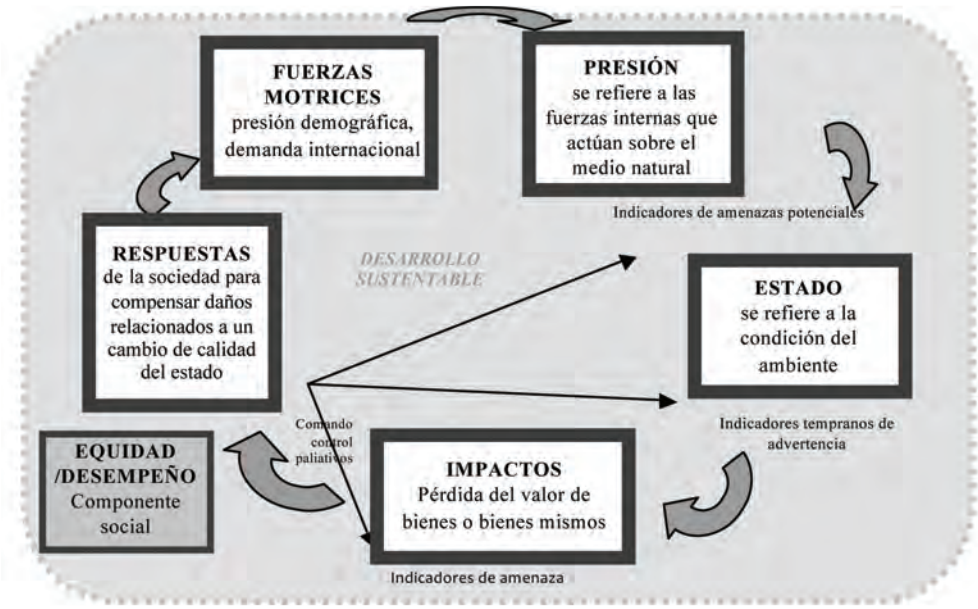


Figura 1. Marco conceptual desarrollado a partir de OCDE (1991) y Oñate *et al.* (2002).

pios costeros del país, definidos como municipios con frente de mar y contiene 19 municipios colindantes a una laguna, canal o río con influencia marina directa tanto del Océano Pacífico que del Golfo de México (figura 2). Representan una superficie total de 416 465 km^2, que corresponde al 21% de la superficie total del país.

Metodologia

Para la selección de los indicadores, subíndices e índices, se consideraron, en parte, las estrategias de evaluación descritas por Kurtz *et al.* (2001). Consisten en aplicar lineamientos y marcos de evaluación técnicos, divididos en cuatro fases, que evalúan: la relevancia conceptual, la factibilidad de la implementación, la variabilidad de la respuesta, así como la interpretación y la utilidad del indicador bajo evaluación (US EPA, 2000).

Los modelos se diseñaron para permitir caracterizar y comparar una serie de variables que influyen en el grado de sustentabilidad y consideran la vulnerabilidad socio-ambiental ante escenarios de cambio climático a lo largo de la costa, las cuales se presentan a continuación:

- el estado, o condición, tanto del ambiente (cobertura natural, o de dunas) como de la sociedad (densidad, calidad de vida), así como,
- las fuerzas, o presiones, naturales (cambio climático) y antropogénicas (proyecciones demográficas), que actúan sobre los mismos; esquematizado en la figura 3.

Figura 2. Ubicación de los 169 municipios con respecto a la extensión de los 17 estados.

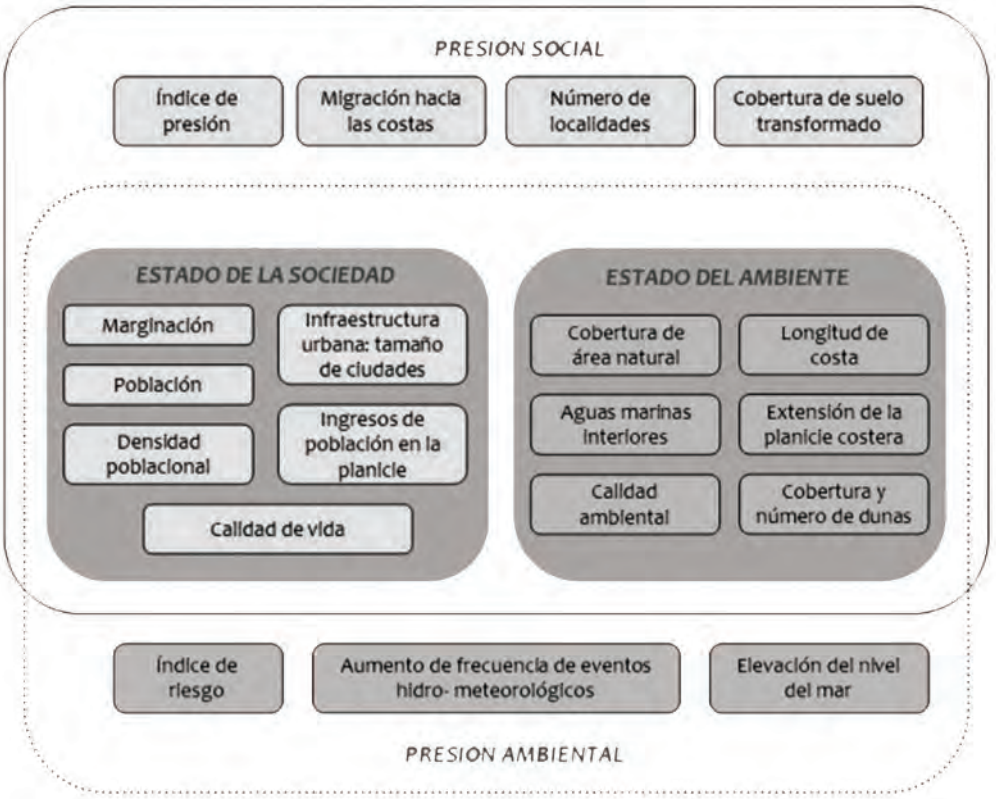


Figura 3. Ubicación de índices dentro del esquema conceptual de estado/presión, tanto del ambiente como de la sociedad (Seingier, 2009).

La construcción de la herramienta para evaluar la sustentabilidad y/o vulnerabilidad socio-ambiental de las costas mexicanas consistió en demostrar el potencial del desarrollo de modelos de multicausalidad y multiefecto comparativamente al usar los datos censales.

La problemática de la disponibilidad de datos, la cual se hace más crítica al hacer un análisis para una zona muy extensa (lo largo de la costa mexicana) además de pretender contemplar datos naturales, sociales, y económicos, se resolvió con el uso de información producida a nivel nacional, a través de las siguientes bases de datos oficiales de los censos y los inventarios forestales nacionales:

- Datos socio-económicos:
  – INEGI (Censo General de Población y vivienda 2000, Conteo 2005),
  – Proyecciones de Conapo para 2030,
  – Conapo (índice de marginación por localidad y por municipio 2000).
- Datos ambientales
  – Inventario nacional forestal (Cobertura y uso de suelo 1976, 2000),
  – Registro de eventos hidroclimatológicos (NOAA, 2009).

- Cartografía:
  – INEGI - Marco geoestadístico nacional (límites municipales),
  – INEGI – Cartografía 1:250,000 (línea de costa, aguas marinas interiores),
  – INEGI – Censo (coordenadas de localidades),
  – Imágenes propias o de Google Earth (verificaciones).

Los modelos se construyen a través de una agregación "piramidal" de la información en niveles: los indicadores de primer orden se combinan para generar indicadores de segundo orden (o sub índices), los cuales se combinan para producir indicadores de tercer orden, o índices (figura 4).

Todos ellos, indicadores, subíndices e índices, deben ser normalizados con el fin de resolver la problemática de manejar datos en unidades diferentes, para obtener cantidades adimensionales y resolver el problema de manejar datos en unidades diferentes. Así, los datos entre cero y uno son comparables según el método descrito por Nijkamp *et al.* (1990):

$$B_j = \frac{(X_j - min\, X_j)}{(max\, X_j - min\, X_j)}$$

Donde B_j es el valor del dato normalizado, X_j es el valor del dato a normalizar, $min\, X_j$ es el valor mínimo de los datos y $max\, X_j$ es el valor máximo de los datos.

Los modelos resultantes son de carácter comparativo, ya que muestran una clasificación del componente o fenómeno evaluado, entre el valor mínimo obtenido del índice considerado y su valor máximo obtenido, ambos siendo únicos. Los valores resultantes de los índices no son absolutos, en el sentido que no representa el valor máximo del fenómeno observado, más bien el valor máximo del universo muestreado (por ejemplo de los 169 municipios); no representa

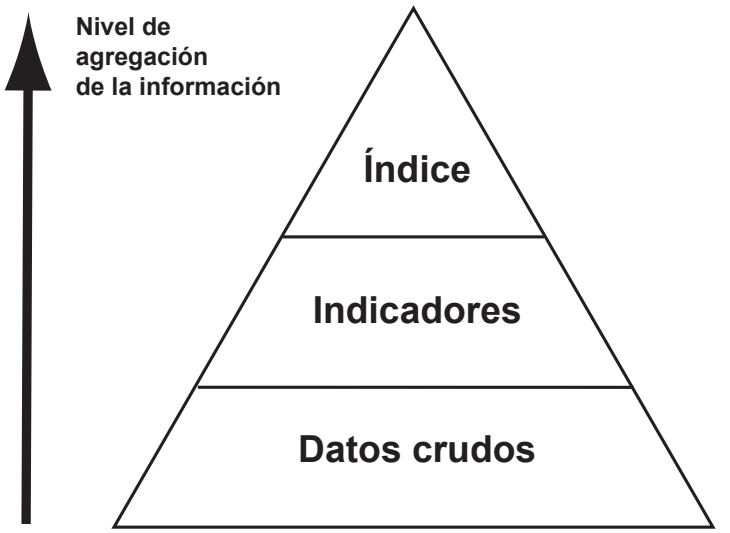


Figura 4. Nivel de agregación de la información (Cendrero, 1997).

un máximo pero una comparación entre todos los valores; y de allí los resultados se interpretan como si un municipio (o otra unidad de evaluación) es "más" sustentable que otro (o en situación de "más" riesgo que otro), sin poder afirmar que en un municipio no haya situación de riesgo, pero más bien que hay municipios con un situación de "más " riesgo que otros y por lo tanto proporciona una herramienta de comparación entre territorios similares. El modelo permite priorizar la atención requerida por ciertos municipios, a través de la clasificación del valor del índice, e identificar la problemática, a través de la caracterización del sistema (valores de los diferentes índices), de acuerdo a los criterios del modelo considerado, que sea de riesgo o de sustentabilidad, dentro de un contexto costero nacional.

Para comparar resultados y evaluar su relevancia se consideraron tres espacios diferentes incluidos los unos en los otros: 1) el municipio costero en su entidad (total de 169), 2) la planicie costera, definida como el territorio entre el nivel del mar y la curva de los 200 metros de altitud y 3) la franja costera definida como una zona delimitada por una distancia de dos kilómetros (figura 5).

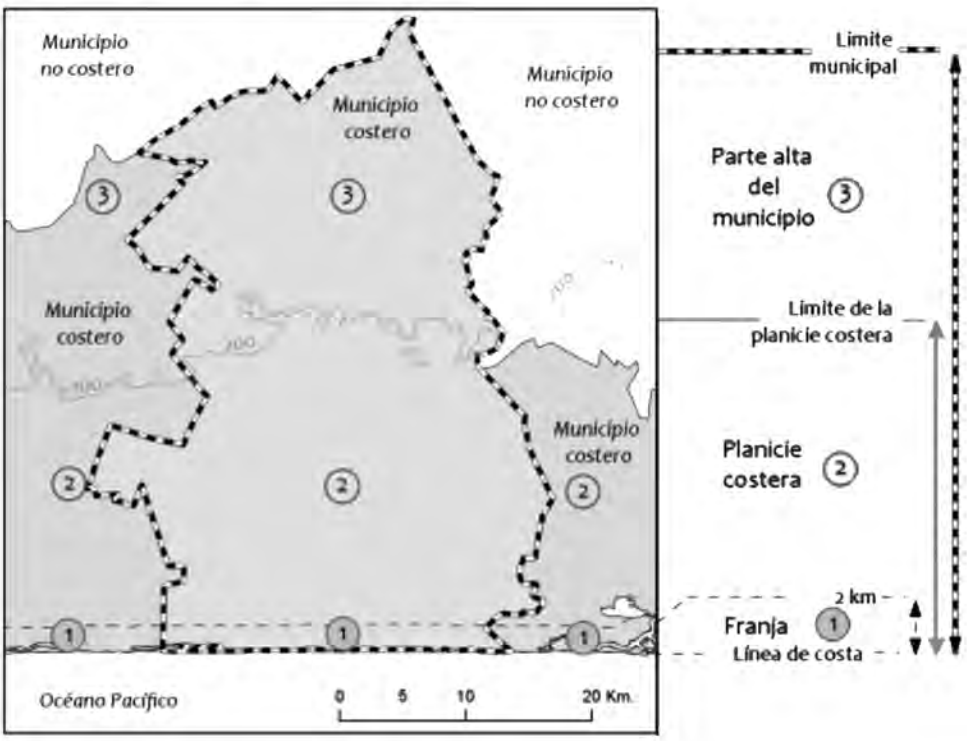


Figura 5. Ilustración de los conceptos territoriales asociados a la zona costera y a los municipios costeros: 1) franja costera, 2) planicie costera, y 3) parte alta del municipio. Ejemplo del municipio de Mapastepec, Chiapas (Seingier, 2009).

Estado del Arte

La estructura conceptual y los diferentes componentes elegidos para evaluar cada modelo se esquematiza en la figura 6. En la parte central del esquema se ve la unión de los tres ámbitos (ambiental, social y económico) siendo el punto de concurrencia de los cuatro modelos.

Los indicadores utilizados para la construcción de los modelos fueron seleccionados entre variables existentes o derivadas de los censos mencionados. Una síntesis de estos resultados se presenta de manera agrupada por su proveniencia en la tabla 1.

Con la combinación de estos indicadores se lograron construir varios modelos. Esto implicó el uso del mismo indicador en varios modelos (por ejemplo el índice de marginación), pero combinado con otros indicadores, o calculado para una unidad espacial diferente (municipio, región florística, planicie costera, franja de dos kilómetros, etc.).

Detalles más específicos de los indicadores (unidades de medición, fecha de relevancia de los datos, unidad de evaluación perpendicular como paralela a la costa para la cual el índice fue calculado, periodicidad de la disponibilidad, detalles técnicos de los cálculos y de las combinaciones), así como los resultados de la aplicación a la costa mexicana pueden ser consultado en Seingier *et al.* (2009a, 2009b).

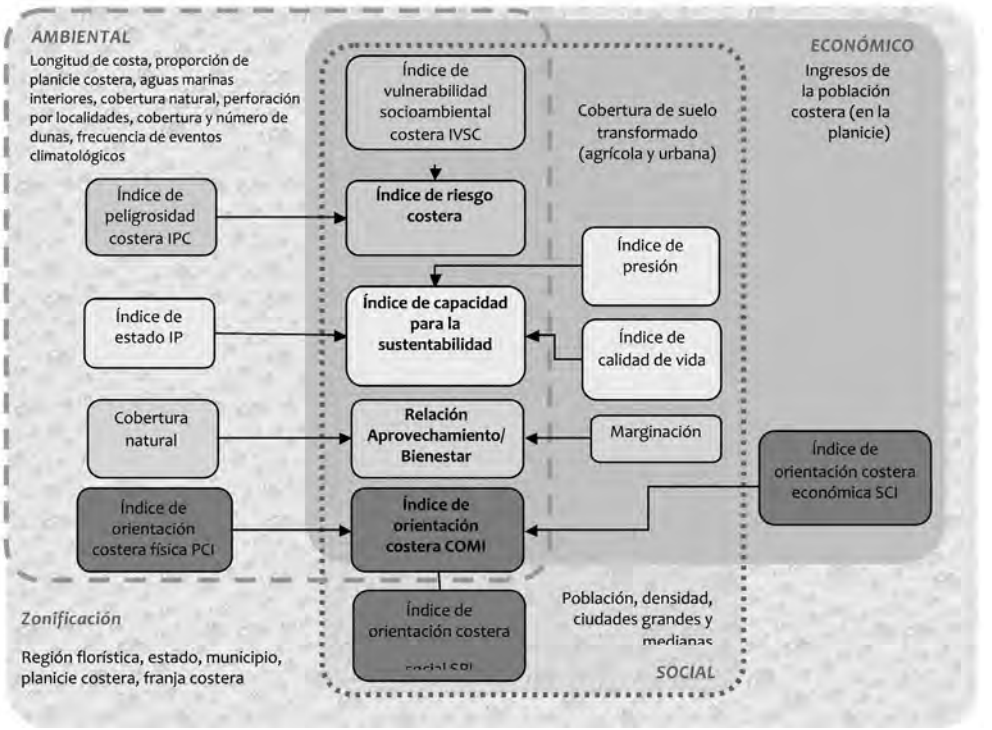


Figura 6. Ubicación de los modelos con respecto a la componente ambiental, social y económica (modificada de Seingier, 2009).

Tabla 1. Indicadores utilizados, y su aportación en los diferentes modelos.

Indicadores existentes seleccionadas	Fenómeno representado, (sub)índices	Ámbito evaluado
Censo de población, censos económicos, censos de Conagua, datos derivados de los mismos.		
Número de habitantes (municipal, por localidades).	Índice de presión (índice de población), crecimiento de la población.	Estado de la sociedad (M1), Presión social (M4).
Densidad poblacional e n la planicie.	Índice de vulnerabilidad.	Estado de la sociedad (M2).
Ubicación de las localidades, repartición espacial de la población (proporción de los habitantes en la planicie, en una franja costera).	Componente social del índice de orientación costera municipal, distribución de la población, Índice de vulnerabilidad.	Estado de la sociedad (M2 Y M3).
Numero de localidades.	Perforación o fragmentación por localidades, Índice de estado (Índice de perforación por localidad).	Estado del ambiente (M1 Y M4).
Tamaño de las localidades, proporción de ciudades medianas y grandes del municipio que estén en la planicie costera.	Componente social del índice de orientación costera municipal, Tipos de infraestructura urbana y de relaciones sociales según tamaño.	Estado de la sociedad (M3).
Ingreso por localidad, por municipio (Porcentaje de la población que gane cierta cantidad de salarios mínimos).	Componente económica del índice de orientación costera municipal, situación económica de la población costera.	Estado de la sociedad (M3).
Proporción de habitantes que trabajan en el sector minero (mayormente asociado al petróleo en los municipios costeros) o turístico.	Subíndice cualitativo de la actividad económica de la población.	Estado de la sociedad (M3*).
Presencia y tipo de puertos.	Componente económica del índice de orientación costera municipal.	Estado de la sociedad (M3*).
Número de plantas de tratamiento relacionado al número de habitantes.	Contaminación de la zona costera.	Estado del ambiente (M3*).
índice de marginación por localidad, municipal.	Índice de vulnerabilidad, Índice de desempeño, bienestar de la población.	Estado de la sociedad (M1, M2 y M4).

Nota: M1 a 4 indica el modelo en el cual se utilizó (M1 corresponde al primer modelo).
M3* corresponde a índices que están en proceso de incorporación al tercer modelo de orientación costera.

Tabla 1 (continuación). Indicadores utilizados, y su aportación en los diferentes modelos.

Indicadores existentes seleccionadas	Fenómeno representado, (sub)índices	Ámbito evaluado
Censos de recursos naturales, inventarios nacionales forestales.		
Proporción de suelo transformado (cobertura que no sea natural, o específicamente agrícola, o urbano).	Índice de presión (índice de suelo transformado, de uso urbano). Disminución de la cobertura natural.	Presión social (M4), Estado del ambiente (M1). Índice de vulnerabilidad (M2).
Cobertura natural.	Índice de estado, índice de cobertura natural.	Estado del ambiente (M4)
Perdida de superficie de la cobertura de dunas, y número de polígonos de dunas.	Disminución cuantitativa y cualitativa de la cobertura de un ecosistema clave de la zona costera.	Estado del ambiente (M1).
Historial meteorológico		
Frecuencia y intensidad de eventos meteorológicos.	Índice de peligrosidad, subíndice de peligrosidad climatológica.	Presión del ambiente (M2).
Cartografía nacional		
Longitud de la línea de costa municipal.	Índice de peligrosidad (subíndice de peligrosidad física).	Estado del ambiente (M2).
Porcentaje del área municipal en la planicie, en una franja costera.	Componente física del índice de orientación costera municipal, Índice de peligrosidad (subíndice de peligrosidad física).	Estado del ambiente (M2 y M3).
Número de aguas marinas .interiores	Índice de peligrosidad (subíndice de peligrosidad física), componente física del índice de orientación costera municipal.	Estado del ambiente (M2 y M3).
Ratio longitud de línea de costa/ área municipal.	Componente física del índice de orientación costera municipal.	Estado del ambiente (M3).

Nota: M1 a 4 indica el modelo en el cual se utilizó (M1 corresponde al primer modelo).
M3* corresponde a índices que están en proceso de incorporación al tercer modelo de orientación costera.

Lecciones aprendidas

El uso de datos ambientales y/o socioeconómicos provenientes de censos oficiales (censos de población, e inventarios forestales) en el cálculo de los diferentes índices, reduce considerablemente los problemas de disponibilidad de datos y tiene dos grandes ventajas: la extensión espacial para una fecha dada y la recurrencia temporal. En efecto, proporciona información homogénea, espacio y temporalmente, para todo el territorio nacional. Además, esta misma información se genera por las instancias gubernamentales de manera recurrente a intervalos constantes de cinco o diez años y con metodologías comparables y documentadas, lo que permitirá a futuro actualizar y comparar los resultados.

Esta disponibilidad periódica de información interdisciplinaria para la totalidad de la zona costera, asegura poder obtener valores de los índices para fechas futuras, y permite proponer el uso de los resultados del presente trabajo como puntos de referencias en el tiempo, caracterizando un estado cero, con base al cual se podrá observar la evolución de los índices y determinar las tendencias, dando seguimiento a las políticas de planeación de la zona costera.

Sugerencias y recomendaciones

Las diferentes combinaciones de los índices resultaron relevantes para estimar la situación de México en términos de variables relacionadas con la sustentabilidad de su zona costera.

De esos ensayos de modelos costeros, se ejemplificó el potencial de desarrollo de modelos, y el de hacer análisis a nivel de toda la costa mexicana al usar los datos censales. La misma base de datos nos permite proponer algunos ejemplos a futuro como seguimiento del presente trabajo.

- Encontrar nuevos arreglos espaciales para hacer el análisis (regionales, locales, municipios contiguos, etc.).
- Posibilidad de un análisis más desglosado, por ejemplo por tipos de vegetación si hablamos de la naturalidad, o por los diferentes componentes del índice de marginación (salud, educación, y/o ingreso) al considerar la definición de la calidad de vida.
- Actualización de los datos a intervalos de tiempo recurrentes (a cada generación de datos censales).

También a futuro, se tendrá que evaluar la disponibilidad de datos en la parte marina para poder integrar modelos equivalentes a los desarrollados aquí, para la contraparte terrestre de la franja costera.

Los diferentes modelos desarrollados, así como los ejemplos a futuro citados anteriormente, ofrecen las bases para desarrollar un centro de información para los actores de las costas mexicanas, por ejemplo la Asociación Nacional de Municipios Costeros de México (ANMCO, 2010), y orientar las prioridades de generación de información relevantes para resolver las problemáticas propias a este espacio como pretende el Observatorio de los Mares y de las Zonas Costeras "Jacques-Yves Cousteau" (2010) y otros observatorios marinos existentes en sitios puntuales de la costa.

Un ejemplo de la relevancia del presente trabajo en el diseño y actualización de los ordenamientos costeros del país, sería la incorporación de rubros prioritarios como el riesgo costero, en este caso porque son el instrumento preventivo con el que cuenta México para hacer frente a los impactos previsibles del cambio climático, y hasta podría ser un ejemplo de una componente de un ordenamiento costero nacional.

Para lograr todo lo anterior, es necesario dar a conocer los resultados y metodologías descritos en este libro, para crear la conciencia necesaria y fomentar la voluntad de resolución de la problemática. En este sentido, es importante:

- Que se conozca el diagnostico actual del país,
- Que se construyan alianzas entre conjuntos de espacios costeros municipales aquellos que comparten características, problemáticas y/o prioridades costeras similares, que puedan permitir el acercamiento de los tomadores de decisiones y,
- Que se difundan las lecciones aprendidas.

El presente trabajo se propone como esquema de evaluación y monitoreo del desarrollo sustentable de las costas mexicanas.

El modelo presentado está basado, al igual que la Política Ambiental Nacional para el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas (PANDSOC, 2009), en un enfoque multidisciplinario, usa la mejor información disponible, y se crea con el fin de orientar, comunicar y articular la investigación, la generación de conocimiento y su intercambio, para proponer soluciones para la problemática relativa a la sustentabilidad del espacio costero mexicano, presionado cada día más, tanto por el desarrollo humano como por fenómenos como el cambio global.

Literatura citada

ANMCO, 2010. Asociación Nacional de Municipios Costeros, A.C. "Por El Desarrollo sustentable de los Municipios Costeros". http://www.anmco.org/

Boyd, D.R., 2001. Canada vs. the OECD. University of Victoria (BC). Eco-Chair of Environmental Law and Policy.

Caraveo, L.M., 2001. La construccion regional del desarrollo sustentable y la educación superior. Articulo de divulgación. Pulso Diario de San Luis, San Luis Potosí, Mexico.

CIAT-World Bank-UNEP, 2000. Developing Indicators Lessons Learned from Central America. Toolkit developed jointly by International Center for Tropical Agriculture (CIAT), the World Bank, and the United Nations Environment Programme (UNEP).

Cendrero, A., 1997. Riesgos naturales e impacto ambiental. p. 23-84. En: Fundación Universidad-Empresa (ed.). La interpretación de la problemática ambiental, enfoques básicos II. Madrid.

Comisión Nacional de Agua (Conagua), 2007. Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, estadística por año 2005-2007. http://www.cna.gob.mx

Conapo, 2000. Estimaciones de Conapo con base en el XII Censo General de Población y Vivienda, 2000

Córdova y Vázquez, A., F. Rosete Vergés, G. Enríquez Hernández, y B. Fernández de la Torre, 2006. Ordenamiento ecológico marino: visión temática de la regionalización. Instituto Nacional de Ecología, Semarnat. México D.F.: 226 p.

Córdova, A., F. Rosete, G. Enríquez Hernández, y B. Fernández de la Torre, 2009. Ordenamiento ecológico marino. Visión integrada de la regionalización. INE-Semarnat, México.

European Environmental Agency (EEA), 1999. Environmental indicators: Typology and overview. Technical report No 25. European Environment Agency. EEA, Copenhagen. Prepared by: Edith Smeets and Rob Weterings. 19 p.

European Environmental Agency (EEA), 2006. The changing faces of Europe's coastal areas. EEA Report No 6/2006. EEA, Copenhagen, 112 p.

García Aguilera, M.A., 2004. Modelo de manejo utilizando indicadores de Presión y Estado, para el aprovechamiento sustentable de alga cochayuyo (*Durvillaea antarctica*): comunidades indígenas de la zona sur de la comuna de Tirua, VIII Región del Bio-Bio, Chile. Especialidad en Administración de Recursos Marinos. Tesis. Facultad de Ciencias Marinas.

Instituto Nacional de Ecología (INE), 2000. Estrategia ambiental para la gestión integrada de la zona costera de México, Propuesta. Logros y Retos para el desarrollo sustentable 1995-2000. México, DF, 40 p.

INEGI, 1970. IX Censo General de Población 1970.

INEGI, 2000. XII Censo General de Población 2000.

INEGI, 2005. II Conteo de Población y Vivienda 2005.

INEGI, 2009. Censo Económico. 2009

Kurtz, J.C., L.E. Jackson, y W.S. Fisher, 2001. Strategies for evaluating indicators based on guidelines from the Environmental Protection Agency's Office of Research and Development. *Ecological Indicators,* 1: 49–60.

Kusters Viale, D., 2009. Modelo de sustentabilidad de municpios costeros: caso de estudio region noroeste de Mexico. Maestría en Manejo de Ecosistemas y Zonas Áridas. Tesis. Facultad de Ciencias.

Moreno-Casasola P., I. Espejel, S. Castillo, G. Castillo-Campos, R. Duran, J.J. Pérez Navarro, J.L. León de la Luz, I. Olmsted y J. Trejo Torres, 1998. Flora de los ambientes arenosos y rocosos de las costas de México. p. 177-264. En: G. Halffter (ed.) Diversidad Biológica de Iberoamérica Vol. II. Acta Zoológica Mexicana, nueva serie. Volumen especial. CYTED Programa Iberoamérica de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. INECOL AC. Xalapa.

Moreno-Casasola, P., E. Peresbarbosa Rojas, y A.C. Travieso-Bello, 2006. Estrategia para el manejo costero integral: El enfoque municipal. Instituto de Ecología, A. C., Gobierno del Estado de Veracruz, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México. 477 p.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2005. Historical North Atlantic and East-Central North Pacific Tropical Cyclone Tracks, 1851-2004. NOAA Ocean Service, Coastal Services Center (CSC). Online: http://www.csc.noaa.gov/hurricane_tracks

Nijkamp, P., Rietveld, P. y H. Voogd, 1990. Multicriteria evaluation in physical planning. Elsevier Science LTD. The Netherlands. 219 p.

Observatorio de los Mares y de las Zonas Costeras "Jacques-Yves Cousteau", 2010. http://www.obsmarmexfra.org/

Oñate, J.J., Pereira, D., Suárez, F., Rodríguez, J.J. y Cachón, 2002 Evaluación ambiental estratégica: la evaluación ambiental de políticas, planes y programas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Organization of Economic Cooperation and Development (OCDE), 1991. Environment in Latin America Internacional Center of Research on Womne (ICRW), Washington D.C.

Organization of Economic Cooperation and Development (OCDE), 1993. Core set of indicators for environmental performance reviews. Environmental Monograph #83. OCDE Paris, France.

Partida Bush, V., 2008. Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades, 2005-2050 (Documento Metodológico). Consejo Nacional de Población. Primera edición: 15 de enero de 2008. .

Política Ambiental Nacional par el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas (PANDSOC), 2009. www.semarnat.gob.mx.

Rivera Arriaga, E., GJ. Villalobos, I. Azuz, y F. Rosado, 2004. El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, Semarnat, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo. 654 pp.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), INEGI e IG (UNAM), 1968-1986. Serie I, Uso de Suelo y Vegetación.

Semarnat, INEGI e IGg(UNAM), 1993. Serie II, Uso de Suelo y Vegetación.

Semarnat, INEGI e IGg(UNAM), 1994. Inventario Nacional Forestal 1994.

Semarnat, INEGI e IGg(UNAM), 2000. Inventario Nacional Forestal 2000.

Semarnat, 2007. Estrategia Nacional para el Ordenamiento Ecológico del Territorio en Mares y Costas. Política Ambiental Nacional par el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas. Colección Legal. México, DF. 28p

Seingier, G., 2009. Desarrollo sustentable de las costas mexicanas: escenario de evaluación y monitoreo. Tesis doctoral. Programa de Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada.

Seingier, G., I. Espejel, y J.L. Ferman, 2009a. Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. Investigación ambiental. *Ciencia y política pública*, [Online] 1:1.

Seingier, G., I. Espejel, J.L. Fermán, y O. Delgado, 20010. Vulnerabilidad de las poblaciones costeras ante la peligrosidad natural, enfoque estatal y municipal. p. 669-688. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche. CETYS. Gobierno del estado de Campeche. 944 p.

Seingier, G., I. Espejel, y J.L. Ferman, (en correcciones). Design of an integrated evaluation index of municipal coastal orientation. Cross-comparison of Mexican municipalities. Ecological Indicator.

Seingier, G., I. Espejel, J.L. Ferman, G. Montaño Cira, I. Azuz Adeath, y G. Aramburo Vizcarra, (enviado). Mexico's coasts: half-way to sustainability. Ocean and coastal management.

United States Environmental Protection Agency (US EPA), 2000. In: L.E. Jackson, J.C. Kurtz, W.S. Fisher, (eds.), Evaluation Guidelines for Ecological Indicators. EPA/620/R-99/005, US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Research Triangle Park, NC.

Ward T., E. Butler, y B. Hill, 1998. Environmental indicators for national state of the environment reporting – Estuarios and the Sea, Australia: State of the Environment (Environmental Indicator Reports), Department of the Environment, Canberra.

Azuz-Adeath, I., J.L. Fermán, I. Espejel, E. Rivera-Arriaga y G. Seingier, y C. Vázquez González, 2010. Antecedentes del proceso de construcción de indicadores para la gestión costera y marina ante el cambio climático de la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino, p. 873-900. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Antecedentes del proceso de construcción de indicadores para la gestión costera y marina ante el cambio climático de la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino

Isaac Azuz-Adeath, José Luis Fermán, Ileana Espejel, Evelia Rivera-Arriaga, Georges Seingier y Cesar Vázquez González

Resumen

La construcción de indicadores e índices multisectoriales y multidisciplinarios, relacionados con el impacto del cambio climático sobre las zonas marinas y costeras, es una experiencia novedosa en el ámbito nacional que debe ser abordada de manera urgente y generalizada por las instancias vinculadas a estos espacios territoriales. El presente capítulo describe la experiencia de la Red Mexicana de Manejo Integral Costero-Marino en la definición de una serie de temas y en la elaboración de algunos indicadores que pudieran ser integrados en un esquema más general de uso nacional. Este capítulo describe el proceso colegiado que se siguió para definir los temas principales que deberían guiar la creación de los indicadores, así como algunos ejemplos de indicadores específicos propuestos por participantes individuales. La información vertida en los diferentes capítulos de este libro al igual que el proceso que aquí se describe, establecieron la pauta para la construcción del esquema general que se presenta en el capítulo final de esta obra.

Antecedentes y Estructura

Durante el primer Taller de Trabajo de la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino desarrollado en la ciudad de San Francisco de Campeche, Campeche, en el 2008, se acordó en el contexto de la elaboración y edición del presente libro, el incorporar una sección específica sobre indicadores para la gestión marina y costera ante el cambio climático, en el cual, no tan solo se presentaran indicadores ya existentes y validados, sino que se construyera de manera colegiada un capítulo específico con una propuesta de la Red.

El contar con dicha estructura conceptual permitiría, entre otras cosas:

- Establecer las condiciones de la información existente en el país para la construcción de los indicadores necesarios para evaluar el impacto del cambio climático sobre las zonas costeras y marinas (*i.e.* datos existentes, datos necesarios, datos existentes de manera puntual, datos existentes por región, litoral o a nivel país, escalas espaciales de cobertura y estructura temporal de los datos, etc.).
- Delimitar claramente los fenómenos asociados al cambio climático que pudieran tener repercusiones de largo plazo en la gestión costera y marina del país.
- Analizar la posibilidad de dar seguimiento a escala regional (*e.g.* por litoral o estado) de los cambios en las zonas costeras y marinas que sean una respuesta a las modificaciones asociadas al cambio climático.
- Monitorear y analizar la efectividad y eficiencia de las respuestas tanto gubernamentales como sociales, establecidas en diferentes políticas públicas y acciones sociales.
- Evaluar la capacidad de trabajo multisectorial e interdisciplinario de los miembros de la Red.

La construcción de esta sección ha tenido 4 momentos o etapas claramente diferenciadas:

a) Un primer momento en el que algunos autores de capítulo de las diferentes secciones de este libro, presentaron de manera implícita o explícita indicadores asociados al tema específico que trataron.

b) Un segundo momento en el que los diferentes autores de capítulo propusieron indicadores bajo un esquema genérico preestablecido por los coordinadores de la sección.

c) Un tercer momento durante el Segundo Taller de la Red (Noviembre de 2009), en el que se desarrolló un ejercicio de colaboración grupal con más de 70 participantes divididos en 4 mesas temáticas, en el cual se propusieron áreas del conocimiento y procesos específicos para los que se deberían construir indicadores.

d) Un cuarto momento en el que se integró la información y se generó la propuesta de indicadores para el manejo costero y marino ante el cambio climático de la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino.

En este sentido, el presente capítulo forma un *continuum* con sus precedentes (*i.e.* estado del arte de los indicadores e índices para el desarrollo sustentable y la gestión ambiental y experiencias mexicanas en el uso de indicadores e índices en el ámbito marino-costero) y es pilar en la elaboración del capítulo final de esta sección (*i.e.* propuesta de indicadores de la Red).

Los coordinadores de esta sección agradecemos profundamente el trabajo presencial y las contribuciones recibidas por medios electrónicos de los integrantes de la Red y de todos los interesados que participaron en esta experiencia. Asimismo expresamos nuestro reconocimiento por el trabajo desarrollado por los coordinadores de mesas en el ejercicio de planeación estratégica, durante el II Taller de la Red Mexicana de Manejo Integral Costero-Marino.

Indicadores e índices presentes en capítulos específicos

En el capítulo de Yañez-Arancibia y Day (p. 1-22), se presenta una clara descripción de la importancia ecosistémica del complejo: cuenca baja-humedales-delta-lagunas costeras-estuario y pluma estuarina sobre la plataforma continental y la importancia que su conocimiento tiene para la acertada gestión costera. La visión global de este capítulo permite intuir algunos de los índices básicos o modelos que se podrían construir a partir de la definición de indicadores específicos:

- Vulnerabilidad natural e inducida por el cambio climático en lagunas costeras y estuarios.
- Costos por riesgo y desastres sobre los ecosistemas costeros y sus recursos naturales.
- Propuestas de mitigación para proteger los recursos naturales de la zona costera ante los impactos del cambio climático.

En el capítulo de Sánchez-Montante (p. 23-32) y en el de Azuz (p. 33-60), se pone de manifiesto la importancia de los procesos de interacción océano-atmósfera en la evaluación del impacto del cambio climático global sobre las zonas costeras y marinas.

- Se desprenden las siguientes propuestas de indicadores de la Red: cambios respecto a algún valor promedio del contenido de calor oceánico, del nivel medio del mar, de las precipitaciones y modificaciones en los patrones de circulación oceánica y de la frecuencia, intensidad y zonas de impacto de tormentas costeras.
- Se desprenden las siguientes propuestas de indicadores de la Red: cambios o anomalías de la temperatura superficial del mar, de la temperatura máxima registrada en los estados costeros y de fenómenos de largo plazo como las oscilaciones del Atlántico, del Pacífico y de "El Niño".

En el capítulo de Arcos-Espinoza *et al.* (p. 61-72), se presentan los cambios proyectados de las escorrentías globales respecto al valor promedio del periodo 1961-1990, reportados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2001), de igual forma se muestra el cambio relativo de la escorrentía anual a gran escala (IPCC, 2008). Los autores proponen una proyección de los caudales medio, de estiaje y de grandes avenidas esperados, para los ríos más importantes de las regiones hidrológicas del Golfo de México.

- Se desprende la siguiente propuesta de indicador de la Red: cambios registrados de la escorrentía anual respecto a algún valor de referencia, para las distintas regiones hidrológicas y para los principales ríos del país.

Ospina-Noreñaet *et al.* (p. 73-88), presentan los resultados obtenidos de modelar y pronosticar los patrones de temperatura y precipitación esperados para las diferentes regiones hidrológicas del Golfo de México. Los autores presentan los valores del Índice de Lang referidos al periodo 1977-2000, las zonas climáticas definidas por el mismo (modificado por Urbano, 1995) y el grado de presión del recurso hídrico (disponibilidad natural *vs* extracción total).

- Se desprende la siguiente propuesta de indicador de la Red: cambios registrados en la presión del recurso hídrico de manera anual a nivel nacional, de región hidrológica, de estado, de municipio e incluso de localidad.
- Se desprende la siguiente propuesta de indicador de la Red: cambios registrados en la caracterización de zonas climáticas a partir de los cambios anuales en el índice de Lang a usando la modificación de Urbano (1995) a nivel de región hidrológica, de estado y municipio.

El capítulo de Carranza (p. 89-100) relacionado con los factores que afectan los procesos costeros, permite intuir la necesidad de definir indicadores o índices relacionados con los siguientes temas:

- Crecimiento poblacional
- Efecto del crecimiento de la mancha urbana y obras de infraestructura sobre la retención de sedimentos
- Vertimiento de contaminantes al mar
- Aumento del nivel del mar

El capítulo de Ortiz (p. 101-124), presenta una serie de indicadores de acuerdo con el marco de referencia establecido en los capítulos precedentes (índices en el texto del autor) que permiten construir un índice para evaluar la vulnerabilidad de la geomorfología costera (específicamente de las costas de barrera) ante el impacto de fenómenos hidrometeorológicos.

- Se desprende la propuesta de índice global de la Red: Vulnerabilidad física de las costas de barrera. Para la construcción de dicho índice general se involucrarían los siguientes índices particulares, construidos a partir de diversos indicadores explicados en la contribución de Ortíz (cuidado con la diferencia en el manejo de la nomenclatura):
  - Emplazamiento espacial de la barrera.
  - Dimensiones morfográficas y morfométricas de la barrera.
  - Composición y organización espacial de las unidades naturales de la barrera.
  - Llanuras costeras-Planicie de cordones.
  - Asimilación antrópica.

El capítulo de Escofet *et al.* (p. 159-180) presenta un análisis de vulnerabilidad orientado a la gestión litoral a partir del uso de hábitat, en el que identifican una "vulnerabilidad natural o intrínseca" en las playas marinas, una "vulnerabilidad ecológica" en los playeros, y una potencial "vulnerabilidad institucional" en el proceso de gestión.

Sobre esa base, Escofet y Monti desarrollaron el Indicador de Estado "Vulnerabilidad de base frente a la elevación marina" y el Indicador de Presión "Vulnerabilidad inducida frente a la elevación marina", que se presentan en la última sección de este capítulo.

Los capítulos de Padilla-Souza *et al.* (p. 181-204), De la Lanza *et al.* (p. 205-230), Yañez-Arancibia *et al.* (p. 231-262) y Herrera *et al.* (p. 421-436) , analizan el impacto que el cambio climático global pudiera tener sobre algunos elementos de la diversidad biológica y los medios ambientes costeros, a partir del estudio de especies, ambientes y regiones específicas. Se desprende del análisis de dichos documentos que la Red necesita elaborar indicadores e índices específicos para monitorear los siguientes elementos:

- Arrecifes coralinos.
- Humedales en general y en particular marismas y manglares.

El capítulo de Lara (p. 277-288), pone de manifiesto la importancia del estudio de la diversidad y ecología microbiana marina y su relación con los efectos potenciales del cambio climático. A partir de dicho documento y dado el impacto potencia sobre la salud humana y del ecosistema que pudiera tener, se considera importante que la Red tome en cuenta para la elaboración de indicadores y su posible incorporación en índices más generales algunos elementos relacionados con:

- Diversidad bacteriana marina.
- Virus marinos.
- Actomicetos marinos.
- Hongos marinos.

El capítulo de Haces (p. 289-304) presenta un referente de análisis para el fenómeno del cambio climático y expone de manera explícita diferentes indicadores e índices.

Se desprende la siguiente propuesta para la Red:

- Evaluación del indicador de aridez.
- Evaluación del indicador de sequedad.
- Evaluación del Índice de Lang.

Los capítulos de Solana-Sansores (p. 305-318), Flores-Nava (p. 319-334), Flores-Hernández *et al.* (p.437-452), Arreguín-Sánchez (p. 453-464), Solana-Sansores y Compeán-Jiménez (p. 465-472), Bazzino (p. 473-482), Lluch-Belda (p. 483-492), Zárate-Noble y Solana-Sansores (p. 493-498), Lluch-Cota y Lluch-Cota (p. 505-518) y González-Peláez y Lluch-Cota (p. 519-532), abordan diferentes aspectos relacionados con el impacto del cambio climático en diversas especies pesqueras y en la acucultura. A partir de la lectura de dichos documentos, se hace evidente la necesidad de que la Red incorpore indicadores o índices que permitan evaluar, cuando menos, los siguientes rubros:

- Modificaciones en los fenómenos oceanográficos de escala regional y en las propiedades físico-químicas del agua, particularmente de los ambientes costeros.
- Modificaciones en el ciclo hidrológico de las zonas costeras.
- Modificaciones en los aportes de nutrientes y sedimentarios.
- Aspectos económicos relacionados con la pesca.
- Aspectos sociales de la pesca y la acuacultura.
- Modificaciones en la distribución de las especies comerciales.
- Modificaciones en las relaciones ecológicas de las especies.

- Modificaciones en los regímenes de pesca.
- Adaptaciones y vulnerabilidad de especies particulares.
- Efectos en las operaciones pesqueras y en las instalaciones portuarias.

El capítulo de Barrada (p. 335-346) describe la importancia que representa el cambio climático para las actividades agropecuarias y forestales en los estados costeros de México. Resulta particularmente importante, por las implicaciones económicas y sociales que estos sectores tienen, que la red incorporara indicadores o índices que permitieran monitorear el impacto potencial del cambio climático sobre ellos. Se proponen las siguientes temáticas relacionadas con los sectores agropecuario y forestal:

- Cambios en el ciclo hidrológico.
- Cambios en el comportamiento de los fenómenos meteorológicos extremos.
- Cambios en las temperaturas máximas y mínimas.
- Cambios en las fronteras agropecuarias y forestales.
- Adecuación de las políticas públicas.
- Vulnerabilidad y viabilidad de las especies agrícolas y forestales.
- Aparición o expansión de plagas y enfermedades.

Los capítulos de Azuz *et al.* (p. 347-360), Sosa-Ferreira y Campos-Cámara (p. 361-380) y Fraga *et al.* (p. 381-406), tratan el tema del cambio climático y el turismo. Por la importancia económica del sector y por los impactos que produce y recibe en las zonas costeras, es necesario propiciar la elaboración por parte de la Red de indicadores o índices que aborden cuando menos los siguientes aspectos:

- Contribuciones regionales del sector turismo al cambio climático.
- Impactos regionales sobre el sector turístico de zonas costeras atribuibles al cambio climático.

El capítulo de Treviño *et al.* (407-420) aborda el tema del impacto del cambio climático sobre las vías de comunicación y el transporte. Resulta sumamente importante para la Red establecer indicadores sobre esta temática debido a los altos costos económicos que resultan de su protección, mantenimiento y rehabilitación, pero también de su carácter estratégico para el desarrollo y la comunicación del país. Se desprende la siguiente propuesta de indicadores para la Red:

- Costo de protección, mantenimiento y rehabilitación de la red carretera, portuaria, ferroviaria y urbana asociado a los efectos del cambio climático (mitigación).
- Índice de vulnerabilidad ante el cambio climático de los principales corredores de la red carretera nacional que se ubique o pase por estados costeros.
- Índice de adaptación ante el cambio climático de los principales corredores de la red carretera nacional que se ubique o que pase por estados costeros.

Dichos índices deberán contemplar indicadores que involucren aspectos económicos, ambientales e institucionales (modificaciones en los criterios y normas de construcción).

Los trabajos de González-Turrubiates (p.591-606), Posada-Vanegas y Vega-Serratos (p. 607-622), Sosa-Ferreira (p. 623-638) y Seingier *et al.* (p. 669-688), abordan diferentes aspectos

de la vulnerabilidad y el impacto del cambio climático sobre las zonas costeras. La mayoría de estos artículos está centrado en la elaboración de propuestas metodológicas para la elaboración de índices e indicadores, por lo cual se remite al autor directamente a su lectura.

Se desprende la siguiente propuesta de indicadores para la Red:

- Índice de riesgo costero.
- Índice de peligrosidad costera.
- Índice de vulnerabilidad socioambiental costera.
- Índice de riesgo por inundaciones.
- Índice de riesgo físico por inundaciones.
- Índice de vulnerabilidad prevaleciente.

Los trabajos de Beck *et al.* (p. 559-590), Barba *et al.* (p.639-654), y Figueroa (p. 655-668), presentan diferentes aspectos del cambio climático, su impacto y posibles acciones de mitigación sobre los habitantes y el patrimonio cultural de las zonas costeras y marinas. Este es quizá el apartado donde se requiere un mayor trabajo por parte de la Red, para generar índices e indicadores que integren y permitan monitorear estos factores. Se propone el trabajo sobre las siguientes temáticas:

- Patrimonio urbano y dinámica poblacional.
- Patrimonio cultural, etnografía y tradiciones.
- Patrimonio arqueológico y antropológico (costero, marino superficial y sub-acuático).

Los trabajos de Rivera-Arriaga y Azuz (p. 737-772), Chica-Ruíz (p. 773-788) y Vidal (p. 789-810), plantean diversos aspectos de la gobernanza en las zonas costeras y marinas del país y la influencia del cambio climático sobre ellas. Se desprende la necesidad de elaborar índices e indicadores que contemplen las acciones en los siguientes ámbitos:

- Instrumentos de planeación federales, estatales y municipales.
- Organización y acciones sociales.
- Instrumentos legales y regulatorios del ámbito federal, estatal y municipal.
- Evaluación de capacidades en los ámbitos federal, estatal y municipal.

Finalmente, los trabajos de Muños y Martínez (p. 811-822), y Gutiérrez *et al.* (p. 823-842), ponen de manifiesto la necesidad de desarrollar indicadores que permitan evaluar el proceso de formación de recursos humanos ante los retos que plantea el cambio climático. Se reconoce que esta área de desarrollo deberá trabajarse de manera exhaustiva y que los resultados obtenidos se deberán traducir a políticas públicas en todos los niveles de gobierno, para que las acciones que se deriven sean realmente efectivas a largo plazo. Se desprenden las siguientes temáticas de análisis:

- Procesos de educación formal.
- Procesos de educación, concientización y sensibilización informal.

Construcción individual de indicadores bajo un formato preestablecido

La metodología de trabajo con la que se construyó este apartado se describe a continuación. Por medios electrónicos se les hizo llegar a los diferentes integrantes de la red una pequeña descripción de lo que se esperaba lograr y la mecánica de su desarrollo, la propuesta incluía la siguiente información.

Objetivos

Para lograr construir dicho capítulo de manera colaborativa, el presente ejercicio tiene los siguientes objetivos:

a) Construir una serie de indicadores básicos asociados a la temática particular de cada capítulo del libro.

b) Construir una serie de índices que agrupen indicadores básicos.

c) Representar por medio de un sistema de información geográfica (GIS) los índices y/o indicadores pertinentes.

d) Construir un modelo útil para la gestión costera y marina a partir de la integración de índices.

Mecánica de trabajo

1) Los autores de capítulo deberán proponer de 1 a 3 indicadores, siguiendo el formato anexo.

2) Los autores de capítulo deberán enviar dichos indicadores a los coordinadores en fechas definidas

3) Durante el II Taller de Trabajo de la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino (Campeche, Cam., del 03 al 05 noviembre del 2009) se presentarán los indicadores generados.

4) Durante el II Taller de Trabajo de la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino (Campeche, Cam., del 03 al 05 noviembre del 2009) se presentará una propuesta de integración y se presentarán los índices generados (propuesta).

5) Posterior a la reunión de Campeche, se trabajará en la elaboración de mapas de los indicadores e índices pertinentes (GIS) y se hará una propuesta de modelo.

6) La estructura final del capítulo se circulará entre los participantes para su validación.

Marco Conceptual (síntesis)

El uso de indicadores en la gestión ambiental ha demostrado ser una buena herramienta para suministrar y presentar información, al igual que como un elemento de seguimiento y monitoreo del impacto de la instrumentación de políticas públicas.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE/OECD, 2000, 2003) define un indicador como un parámetro (propiedad que se mide u observa), o valor derivado de otros parámetros, dirigido a proveer información y describir el estado de un fenómeno, ambiente o área, con un significado añadido mayor que el directamente asociado a su propio valor. Por otra parte, establece que un índice será un conjunto agregado o ponderado de parámetros o indicadores.

La función de los indicadores ambientales es, por una parte, la de reducir el número de mediciones y parámetros que normalmente se requerirían para dar una representación exacta de una situación y por la otra, simplificar el proceso de comunicación por medio del cual, los resultados de las mediciones se comunicarían a los usuarios o tomadores de decisiones (OCDE/OECD, 2000, 2003).

La tabla 1 resume algunos de los criterios que se deben tener en cuenta a la hora de crear o utilizar indicadores (OCDE/OECD, 2003).

El marco de referencia conceptual más comúnmente empleado en el manejo de indicadores es el modelo **presión-estado-respuesta (p-e-r)**:

- Indicadores de Presión: Describen las presiones que se dan sobre el medio ambiente.
- Indicadores de Estado: Describen el estado que guarda el medio ambiente.
- Indicadores de Respuesta: Describen las respuestas de la sociedad y los gobiernos.

Tabla 1. Criterios a seguir a la hora de crear o utilizar indicadores.

Criterios	Características deseables
Relevantes para las políticas públicas y para los usuarios.	Que den una visión representativa de las condiciones ambientales.
	Que sean simples, fáciles de interpretar y que permitan mostrar tendencias temporales.
	Que tenga un umbral o valor de referencia contra el cual compararse.
	Que sean sensibles a los cambios ambientales y a las actividades humanas.
	Que permitan realizar comparaciones entre diferentes regiones.
	Que se puedan desarrollar a nivel nacional, regional, estatal o municipal.
Robustos y consistentes desde el punto de vista analítico.	Que teóricamente estén bien fundamentados con bases científicas y técnicas.
	Que se basen en estándares o consensos sobre su validez.
	Que directamente puedan ser asociados a modelos o sistemas de información geográfica.
Medibles	Que los datos del indicador se puedan obtener fácilmente.
	Que los datos del indicador puedan ser obtenidos a un bajo costo.
	Que los datos sean confiables y estén documentados de manera correcta.

Traducción y adecuación a partir de OCDE/OECD, 2003.

Formato para la construcción de indicadores para la gestión costero/marina ante el cambio climático

Nombre del Indicador y símbolo propuesto:	Clave:
Autor(es):	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición):	
Forma analítica del indicador (fórmula):	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?):	
Carácter del indicador: Nacional ( ) Estatal ( ) Regional ( ) Municipal ( ) Local ( )	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.):	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera):	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente):	
Rengo de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación:	
Rango: de a → Aceptable/Bueno/Verde	
Rango: de a → Neutro/Regular/Amarillo	
Rango: de a → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado ( ) Respuesta ( )	
Observaciones o comentarios:	

Los objetivos originales de la propuesta resultaron ser muy ambiciosos y no fue posible ni construir índices generales, ni presentarlos por medio de sistemas de información geográficos ni establecer de manera colegiada ningún modelo global.

Algunos de los problemas detectados para la consecución de los objetivos originales, tuvieron su origen en:

- Inexistencia de series de tiempo largas (que permitieran visualizar los posibles impactos del cambio climático) para extensas zonas del litoral del país.
- Problemas para establecer con claridad bajo algún esquema de priorización, las variables que deben ser medidas para monitorear el impacto del cambio climático sobre las zonas costeras y marinas.
- Divergencia en las escalas de actuación de los indicadores propuestos.
- Inexperiencia en la construcción de indicadores multidisciplinarios.
- Falta de tiempo para consensuar el proceso de normalización/estandarización y ponderación de los datos con el fin de elaborar índices generales.
- Sesgos profesionales o vacíos sectoriales o disciplinarios en el grupo de trabajo.
- Escases de referentes internacionales o nacionales que contribuyan a la evaluación integral de las regiones marinas y costeras.
- Carencia de espacios institucionales y apoyos económicos para desarrollar un proyecto de esta envergadura.

A pesar de esta experiencia, la cual por si misma aporta varias enseñanzas, se logro construir una serie de indicadores específicos (los cuales se presentan en el siguiente apartado) y una propuesta general de indicadores de la Red (ver siguiente capítulo).

Resultados de la Etapa de interacción a distancia (indicadores específicos)

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Superficie protegida de ecosistemas costeros con distribución restringida (SUPECODIR)**	Clave:
Autor(es):): Juan E. Bezaury Creel	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): - cobertura del ecosistema o ambiente a nivel nacional, estatal, regional o municipal (ha) - cobertura del ecosistema o ambiente por unidad de protección (ha) - el indicador se expresará como el % del protegido del total nacional etc. protegido.	
Forma analítica del indicador (fórmula): Medición directa por medio de Sistema de Información Geográfica.	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): Porcentaje de la superficie de los ecosistemas o ambientes (arrecifes y comunidades coralinas, humedales costeros, manglares, marismas salobres, pastos marinos, islas marinas, islas costeras interiores, sitios de agregación reproductiva) existentes a nivel nacional etc., bajo algún instrumento de protección legal o social (área natural protegida, área de refugio para flora y fauna acuática, norma oficial mexicana, instrumento de regulación pesquera, ordenamiento ecológico del territorio, sitio Ramsar, reserva privada o social, etc.).	
Carácter del indicador: Nacional ( ) Estatal ( ) Regional ( ) Municipal ( ) Local ( )	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.):	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): Variable para cada tipo de ecosistema o ambiente. Habrá necesidad de ir construyendo paulatinamente las líneas de base (*e.g.* Por un lado Conabio ya cuenta con la información de base con la superficie de los manglares a nivel nacional de excelente calidad, al mismo tiempo que para los pastos marinos no existe ni siquiera una estimación aventurada de su cobertura).	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): el indicador se expresará como el % protegido del total nacional, o desagregados a nivel de % del total Estatal Regional o Municipal.	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de 75 a 100 → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de 50 a 74 → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de 0 a 49 → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado (X) Respuesta ( )	
Observaciones o comentarios: se utilizaría la mejor información disponible en el momento de utilizar el indicador, actualizando los indicadores previos conforme se obtengan líneas de base más precisas. Este indicador contempla exclusivamente la existencia de una herramienta que permite su conservación, sin evaluar la efectividad de la misma, por lo que se complementa con el indicador: Efectividad en la protección de ecosistemas costeros con distribución restringida (EFECODIR).	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Existencia de Atlas de Riesgo Municipal**	Clave:
Autor(es):): Fernando Rosete	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): Número de municipios costeros con atlas de riesgo, EARM, unidades	
Forma analítica del indicador (fórmula): (# Mpios costeros con atlas de riesgo en el estado x/# total de municipios costeros en el Edo. x) * 100	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): el porcentaje de municipios costeros de un Estado que cuentan con atlas de riesgo municipal.	
Carácter del indicador: Nacional ( ) Estatal (X) Regional ( ) Municipal ( ) Local ( )	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.):	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): CENAPRED, Sedesol y Protección Civil de cada estado de la República Mexicana.	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): no aplica.	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de 65 a 100 → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de 35 a 65 → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de 0 a 35 → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado ( ) Respuesta (X)	
Observaciones o comentarios:	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Existencia de mapas de vulnerabilidad de la población**	Clave:
Autor(es):): Fernando Rosete	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): número de localidades con mapas de vulnerabilidad de la población, EMVP, unidades	
Forma analítica del indicador (fórmula): (# localidades con mapas de vulnerabilidad en el Mpio. x /# total de localidades del Mpio. x) * 100.	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): el porcentaje de municipios costeros de un Estado que cuentan con atlas de riesgo municipal.	
Carácter del indicador: Nacional ( ) Estatal ( ) Regional ( ) Municipal (X) Local ( )	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): anual.	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): CENAPRED, Sedesol y Protección Civil de cada estado de la República Mexicana y del municipio en particular.	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): no aplica.	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de 65 a 100 → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de 35 a 65 → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de 0 a 35 → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado ( ) Respuesta (X)	
Observaciones o comentarios:	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Índice de marginación de Conapo**	Clave:
Autor(es):): Fernando Rosete	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): Índice de marginación, IM, unidades	
Forma analítica del indicador (fórmula):	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?):	
Carácter del indicador: Nacional ( ) Estatal ( ) Regional ( ) Municipal (X) Local ( )	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): lustro.	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): Conapo	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): no aplica.	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de a → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de a → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de a → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado (X) Respuesta ( )	
Observaciones o comentarios:	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Áreas con OET costero decretado**	Clave:
Autor(es):): Fernando Rosete	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): número de OET en zonas costeras decretados, AOETCD, unidades.	
Forma analítica del indicador (fórmula): (área con OET decretado en Ha /área total de la región, estado o municipio) * 100	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): el porcentaje de superficie de una región, un estado o un municipio con OET en zona costera decretados.	
Carácter del indicador: Nacional (X) Estatal (X) Regional (X) Municipal (X) Local ( )	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): anual.	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): Semarnat (DGPAIRS), gobiernos estatales (área de ecología y/o medio ambiente) y gobiernos municipales (área de ecología y/o medio ambiente).	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): no aplica.	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de 65 a 100 → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de 35 a 65 → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de 0 a 35 → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado ( ) Respuesta (X)	
Observaciones o comentarios:	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Nivel de riesgo de la población municipal (3 valores, muy alto, alto y medio)**	Clave:
Autor(es):): Fernando Rosete	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): ubicación de la población respecto a su nivel de riesgo, NRPM, individuos.	
Forma analítica del indicador (fórmula): (población municipal con riesgo muy alto [alto o medio] /población total del municipio) * 100	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): el porcentaje de la población total del municipio en diferentes niveles de riesgo (3: muy alto, alto y medio).	
Carácter del indicador: Nacional ( ) Estatal ( ) Regional ( ) Municipal (X) Local ( )	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): anual.	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): Sedesol, CENAPRED, Protección Civil del Estado, Protección Civil del Municipio.	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): no aplica.	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de 0 a 35 → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de 35 a 65 → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de 65 a 100 → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado (X) Respuesta ( )	
Observaciones o comentarios:	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **% de superficie de vegetación natural modificada en ANP**	Clave:
Autor(es):): Fernando Rosete	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): porcentaje de la superficie de las ANP con vegetación natural modificada, SVNMANP, hectáreas.	
Forma analítica del indicador (fórmula): (superficie vegetación modificada en el ANP/superficie total del ANP) * 100 Donde n es la cantidad de años entre la fecha 1 y la 2	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): La cantidad de superficie que cambia de la cubierta de vegetación natural en las ANP.	
Carácter del indicador: Nacional (X) Estatal (X) Regional (X) Municipal (X) Local (X)	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): lustro, o cada que exista información disponible actualizada a nivel nacional.	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): INEGI, Conafor, Conanp.	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): no aplica.	
Rengo de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de 0 a 10 → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de 10 a 30 → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de 30 a 100 → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado (X) Respuesta ( )	
Observaciones o comentarios:	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Cambio de vegetación natural en ANP**	Clave:
Autor(es):): Fernando Rosete	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): tasa de cambio de vegetación natural en ANP, TCVNANP, hectáreas.	
Forma analítica del indicador (fórmula): (superficie vegetación natural fecha 1/superficie veg. Nat. Fecha 2)1/n – 1 Donde n es la cantidad de años entre la fecha 1 y la 2	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): la cantidad de superficie que cambia de la cubierta de vegetación natural en las ANP.	
Carácter del indicador: Nacional (X) Estatal (X) Regional (X) Municipal (X) Local (X)	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): lustro, o cada que exista información disponible actualizada a nivel nacional.	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): INEGI, Conafor, Conanp.	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): no aplica.	
Rengo de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de 0.0 a 000.1 → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de 000.1 a 00.1 → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de 00.1 a 0.1 → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado (X) Respuesta ( )	
Observaciones o comentarios:	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **RECICLADO, Σ Ri, i= 1 a n**	Clave:
Autor(es):): Propuesta para revisión, retomada por Miguel Ángel Haces Zorrilla	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): RECICLADO, en porcentaje (%), adimensional, relaciona de una o varias actividades humanas. Mide la eficiencia en volver a usar, reutilizar o restituir los recursos usados para producir un insumo o producto terminado en el total o sus partes en un primer ciclo. Se relaciona con la sustentabilidad.	
Forma analítica del indicador (fórmula): RECICLADO i = (masa, peso o unidades producidas)i/ (masa, peso o unidades en ciclos reutilizados.) Rt = Reciclado del lapso t Rt= Σ (Ri /Pi) { Σ (f(vi)) = sumatoria de las variables indizadas; Pi = producción ciclo i; Suma Ri = suma de los ciclos de reutilización del recuso i RT = Σ Rt { RT = Reciclado Total de un sector o insumos de un sector o de un producto	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): cantidad de masa, peso o unidades de un ciclo económico reutilizados, en un número de ciclos durante un lapso. El período depende de la actividad económica, desde instantes, hasta vidas humanas.	
Carácter del indicador: Nacional (X) Estatal (X) Regional (X) Municipal (X) Local (X)	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): instantes hasta vidas humanas. Se sugiere: Nacional sexenal; Estatal y Municipal Anual; Sector organizado: por semestre o tetramestre, familiar: aplicación de encuestas por tetramestre. En particular se debe contemplar el tamaño del sector y el carácter del indicador: El indicador puede ser parcial de una actividad industrial, o global del sector.	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): datos de las Cámaras, autoridades y particulares, y revistas especializadas. Usualmente varios años.	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): igual o mayor al crecimiento económico o poblacional o ambos. Criterio o lógica de sustentabilidad. Informe Brundtland, 1972.	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación por período Rt: Rango: de Rt >Crecimiento económico → Sustentabilidad probable asegurada /Verde Rango: de Rt > Crecimiento población → Sustentabilidad probable/Amarillo Rango: de Rt < Crecimiento poblacional ó Crecimiento económico → Sustentabilidad imposible/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado (X) Respuesta ( )	
Observaciones o comentarios: Adaptar el concepto legal de la LEGEPA para su Utilización enfocada a visualizar la aplicación para determinar la sustentabilidad por actividades de un sector. Aplicar el criterio en actividades por sectores: económicos, sociales, culturales, políticos administrativos. Se pretende tipificar la sustentabilidad de la comunidad con miras a contemplar, al menos, las principales actividades que permiten la sustentabilidad de todas las demás.	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Coeficiente de sequedad: CS**	Clave:

Autor(es):): Propuesta para revisión sugerida por Miguel Ángel Haces Zorrilla

Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición):
- Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición):
  CS = Rn/ Rip
- CS = Coeficiente de sequedad
- Rn = Radiación solar neta
- Rip = Radiación solar necesaria para evaporar la lamina anual precipitada

Relaciona la energía solar incidente entre la energía requerida para evaporar la lámina de agua precipitada. Se relaciona con la sustentabilidad. .

Forma analítica del indicador (fórmula):
RESTITUCIÓN i = (Energía ¿que llega a la atmósfera? / (energía requerida para evaporar la lamina precipitada anual)

CS= Rn/Rnl: { CS = Coeficiente de sequedad; Rn = Energía solar incidente; Rni = Energía requerida para evaporar la lamina anual precipitada

Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): balance de energías durante un lapso. El período depende de la actividad económica, desde instantes, hasta períodos de vidas humanas.

Carácter del indicador: Nacional (X) Estatal (X) Regional (X) Municipal (X) Local (X)

Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): instantes hasta vidas humanas. Se sugiere balances Nacional por años o estaciones, Estatal y Municipal por estaciones y mensual, Puntual por mes, con mediciones según la NOM. Usualmente se toma en períodos de 10 minutos, permanentemente en las estaciones climatológicas: Para Países estados y municipio, anual; para municipios y comunidades menores, mensual.

Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): Datos de las estaciones de medición de las industrias, Estaciones meteorológicas oficiales, universidades y revistas especializadas. Datos obtenidos durante períodos, según necesidades de proyectos, usualmente varios años.

Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): igual o mayor a uno, asegura el suministro de agua a la sociedad. Lógica de sustentabilidad. Informe Brundtland, 1972.

Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación:
Rango: de CS > = 2 Crecimiento económico → Sustentabilidad probable asegurada /Verde
Rango: de CS > Crecimiento población → Sustentabilidad probable/Amarillo
Rango: de CS < Crecimiento poblacional → Sustentabilidad imposible/Rojo
ó Crecimiento económico

Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado (X) Respuesta ( )

Observaciones o comentarios: Adaptar el concepto legal de la LEGEPA para su Utilización enfocada a visualizar la aplicación para determinar la sustentabilidad por actividades de un sector.
Aplicar el criterio en actividades por sectores: económicos, sociales, culturales, políticos administrativos.
Se pretende tipificar la sustentabilidad de la comunidad con miras a contemplar al menos las principales actividades que permiten la sustentabilidad por todas sus actividades.

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Porcentaje de área costera degradada**	Clave:
Autor(es):): Alfredo Ortega-Rubio, Azuz-Adeath Isaac, Patricia Muñoz-Sevilla, Evelia Rivera-Arriaga	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): Total de Área Intacta entre el Total de Área Degradada.	
Forma analítica del indicador (fórmula): AI/AD	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): el porcentaje de degradación .	
Carácter del indicador: Nacional (X) Estatal (X) Regional (X) Municipal (X) Local (X)	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): década, sexenio, anual, mensual.	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): fotografías aéreas, imágenes de satélite.	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): de 0 % a 100 %.	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de 0 % a 10 % → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de 11 % a 30 % → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de 30 % a 100 % → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión (X) Estado (X) Respuesta (X)	
Observaciones o comentarios: este indicador evalúa directamente el Grado de Conservación y de Integridad de un Ecosistema Costero.	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Programas de educación ambiental (PA)**	Clave:
Autor(es):): Blanca E. Gutiérrez Barba, Shafia Sucar, Felipe Martínez, Ricardo Torres	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): número de programas de educación ambiental implementados.	
Forma analítica del indicador (fórmula): AI/AD	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): cantidad de programas de educación ambiental implementados	
Carácter del indicador: Nacional (X) Estatal (X) Regional (X) Municipal (X) Local (X)	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): anual.	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): no hay antecedente.	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): información gubernamental.	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de 2 a → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de 1 a → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de 0 a → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado ( ) Respuesta (X)	
Observaciones o comentarios:	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Esfuerzos de vinculación**	Clave:
Autor(es):): Blanca E. Gutiérrez Barba	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): - número de convenios (NC) adimensional - monto de los convenios ($) en miles de pesos - número de organismos participantes (OP) adimensional	
Forma analítica del indicador (fórmula): OP*$*NC	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): las acciones de vinculación, el involucramiento de las organizaciones y la importancia de la acción (se toma el monto del financiamiento como "quasi" de la importancia de las acciones).	
Carácter del indicador: Nacional (X) Estatal (X) Regional (X) Municipal (X) Local (X)	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): anual.	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): no hay antecedente.	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): información institucional.	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de 2 a → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de 1 a → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de 0 a → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado (X) Respuesta (X)	
Observaciones o comentarios: dado que no se tiene antecedentes, no se puede establecer el rango de valores que establezcan criterios de desempeño. Sin embargo si es posible establecer que lo deseable es una tendencia al aumento del valor del indicador.	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Vulnerabilidad de Base Frente a Elevación Marina (VBFEM)**	Clave:
Autor(es):): Escofet y Monti	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): Playas Progradables Sin Objetos Expuestos Tangibles Antrópicos (PPSin)[número]; Playas No Progradables (PNP) [número]; Playas Progradables Con Objetos Expuestos Tangibles Antrópicos (PPCon) [número]	
Forma analítica del indicador (fórmula): # PPSIN – (# PNP + # PPCON) / 100	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): mide la vulnerabilidad natural de las playas frente a la elevación marina.	
Carácter del indicador: Nacional (X) Estatal (X) Regional (X) Municipal (X) Local (X)	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): mensual a semestral.	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): cartografía y campo.	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): no existe.	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de 0 a positivo → Menos Vulnerable Rango: de 0 a 0 → Neutro Rango: de 0 a negativo → Más Vulnerable	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado (X) Respuesta ( )	
Observaciones o comentarios: El trabajo de campo es indispensable .	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Vulnerabilidad Inducida frente a Elevación Marina (VIFEM)**	Clave:
Autor(es):): Escofet y Monti	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): Playas Progradables Sin Objetos Expuestos Tangibles Antrópicos (PPSin) [número]; Playas Progradables Con Objetos Expuestos Tangibles Antrópicos (PPCon) [número].	
Forma analítica del indicador (fórmula): # PPSIN – # PPCON / 100	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): mide el grado en que el desarrollo urbano puede inducir un aumento de la vulnerabilidad natural frente a la elevación marina, por convertir en segmentos no progadables, lo que naturalmente podría progradar.	
Carácter del indicador: Nacional (X) Estatal (X) Regional (X) Municipal (X) Local (X)	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): mensual a semestral.	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): cartografía y campo.	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): no existe.	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de 0 a positivo → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de 0 a 0 → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de 0 a negativo → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión (X) Estado ( ) Respuesta ( )	
Observaciones o comentarios: El trabajo de campo es indispensable.	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Tasa de Deforestación (D)**	Clave:
Autor(es):): Este es un indicador que se maneja a nivel internacional.	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): Vegetación y uso de suelo año inicial (D1) Vegetación y uso de suelo año de análisis (D2) Número de años entre 1 y 2..	
Forma analítica del indicador (fórmula): D = (D2 – D1) / n	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): cobertura vegetal en una superficie específica.	
Carácter del indicador: Nacional (X) Estatal (X) Regional (X) Municipal (X) Local ( )	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): anual, quinquenal. etc.	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): carta de vegetación y uso actual de suelos series II y III INEGI	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente):	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de <260,000 ha/año → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de =260,000ha/año → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de >260,000ha/año → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión (X) Estado (X) Respuesta ( )	
Observaciones o comentarios: es posible incorporar este indicador a un GIS fácilmente-arroja información atribuible a diversos factores que impacta en la desaparición de los bosques.	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Riesgo de la Infraestructura (IRI)**	Clave:
Autor(es):): I. Azuz-Adeath.	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): distancia de la infraestructura a la "playa" (Lp) [m]; alto de la infreaestructura (h){m}	
Forma analítica del indicador (fórmula): IRI= (h) (A)/Lp	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): lo expuesto de la infraestructura turística en función de lo ancho de la misma, lo alto y la distancia que los separa de la playa.	
Carácter del indicador: Nacional ( ) Estatal ( ) Regional ( ) Municipal ( ) Local (X)	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): episódico	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): medición directa	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): por definir	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de a → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de a → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de a → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado (X) Respuesta ( )	
Observaciones o comentarios: este indicador puede ser considerado también como un elemento de bloqueo del paisaje costero por infraestructura. Su definición requiere análisis más detallados.	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Naturalidad del Paísaje Costero (NPC)**	Clave:
Autor(es):): I. Azuz-Adeath.	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): longitud de la línea de costa (Lc) [km]; número de estructuras presntes (#E)[-]; superfice promedio ocupada por la infraestructura (SupProm)[km]	
Forma analítica del indicador (fórmula): NPC = Lc * 1 - #E* (SupProm)	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): el área que se encuentra libre de infraestructura en promedio en una superficie de Lc* 1 000 m.	
Carácter del indicador: Nacional (X) Estatal (X) Regional (X) Municipal (X) Local (X)	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): municipal (3 años), estatal y nacional (6 años)	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): medición directa	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): por definir	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de a → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de a → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de a → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión ( ) Estado (X) Respuesta ( )	
Observaciones o comentarios: este indicador puede ser considerado también como un elemento de bloqueo del paisaje costero por infraestructura.	

Nombre del Indicador y símbolo propuesto: **Riesgo del Turista(RT)**	Clave:
Autor(es):): I. Azuz-Adeath.	
Variables, datos o parámetros que involucra el indicador (nombre, símbolo y unidad de medición): longitud de la línea de costa (Lc) [km]; número de estructuras presentes (#E)[-]; superfice promedio ocupada por la infraestructura (SupProm)[km]; % ocupación hotelera (OH) [%]; probabilidad de impacto ciclónico (PIC) [.]	
Forma analítica del indicador (fórmula): RT = #E* (SupProm) * (OH) * (PIC)	
Descripción cualitativa del indicador (¿qué mide?): el porcentaje de turistas que se ubican en infraestructura costera en riego de sufrir un impacto ciclónico	
Carácter del indicador: Nacional (X) Estatal (X) Regional (X) Municipal (X) Local (X)	
Periodicidad con la que se puede/debe calcular el indicador (*e.g.* década, sexenio, anual, mensual, etc.): anual.	
Fuente de obtención de las variables, datos o parámetros del indicador (indicar desde cuándo existe información y con qué periodicidad se genera): medición directa y datos INEGI	
Umbral o valor de referencia del parámetro (indicar fuente): por definir	
Rango de valores cuantitativos del parámetro, que permiten establecer criterios cualitativos de calificación: Rango: de a → Aceptable/Bueno/Verde Rango: de a → Neutro/Regular/Amarillo Rango: de a → Inaceptable/Malo/Rojo	
Clasificación del indicador: Presión (X) Estado (X) Respuesta ( )	
Observaciones o comentarios: este indicador puede ser considerado también como un elemento de bloqueo del paisaje costero por infraestructura.	

Resultados del ejercicio de planeación estratégica (Temática de los indicadores)

De manea colegiada se establecieron los siguientes temas prioritarios para cada una de las 5 mesas de trabajo, sobre los cuales se deberán generar indicadores:

Elementos Ambientales para tomadores de decisiones	
Tema	**Descripción**
1	Procesos costeros.
2	Ecosistemas marinos.
3	Vegetación.
4	Agua.
5	Cuencas.
6	Meteorología.
Economía y uso de espacios marinos y costeros	
Tema	**Descripción**
1	Azolvamiento y clima marítimo.
2	Operación y protección portuaria.
3	Movimiento de carga.
4	Economía pesquera.
5	Bienes públicos.
6	Costos ambientales.
7	Erosión y crecimiento de playas.
8	Planeación.
9	Inundaciones.
10	Pesquerías.
Habitantes y patrimonio	
Tema	**Descripción**
1	Vulnerabilidad territorial costera.
2	Adaptación de las poblaciones costeras.
3	Composición y tendencias demográficas.
4	Riesgos derivados del cambio climático.
5	Estrategias o políticas de mitigación o adaptación.
6	Marginación y deterioro ambiental.
7	Ordenamientos costeros.
8	Superficies protegidas de ecosistemas costeros escasos.
9	Efectividad de manejo de los ecosistemas.

Formación de recursos humanos	
Tema	**Descripción**
1	Vinculación academia, gobierno, sector productivo y sociedad civil.
2	Formación ambiental profesional.
3	Investigación científica, tecnológica y educativa.
4	Inversión en formación y capacitación de recursos humanos.
5	Difusión y problemática ambiental.
6	Ciudadanía y medio ambiente.
7	Participación de universidades públicas y privadas.
Gobernanza	
Tema	**Descripción**
1	Planeación a largo plazo que trascienda tiempos políticos y años fiscales.
2	Adecuación del marco legal a la complejidad de los ecosistemas costeros y sus usos y la eficiencia en su planeación.
3	Fortalecimiento de las capacidades institucionales y ciudadanas.
4	Educación e investigación.

Como resultado de este ejercicio de planeación participativa, adicionalmente se generó la siguiente declaratoria:

San Francisco de Campeche, Campeche a 4 de Noviembre del 2009.

El trabajo realizado por la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino en relación con las zonas costeras y marinas mexicanas ante los efectos del cambio climático ha conducido a la siguiente

D E C L A R A C I Ó N D E C A M P E C H E

Para afrontar los retos que plantea el cambio climático es necesario incrementar la GOBERNANZA, fortaleciendo las capacidades institucionales y ciudadanas; realizando una planeación de largo plazo que trascienda los tiempos políticos y años fiscales; adecuando el marco legal a la complejidad de los ecosistemas marino-costeros y sus usos, e incrementando la eficiencia en la aplicación de dicho marco legal.

También resulta prioritario proteger a los HABITANTES Y SU PRATRIMONIO, para lo cual es necesario incrementar el porcentaje de áreas que cuenten con ordenamientos costeros decretados; evaluar la vulnerabilidad territorial costera y la capacidad de adaptación de sus pobladores y sobre todo, buscar disminuir la marginación y el deterioro ambiental.

La ECONOMÍA Y LOS USOS DE LOS ESPACIOS COSTEROS Y MARINOS, solamente podrán conducir a un desarrollo duradero si se realiza una adecuada planeación: del desarrollo urbano y regional, de la instalación de vías de comunicación y del manejo de residuos, tratando de disminuir en todo momento los costos ambientales.

Los ELEMENTOS AMBIENTALES QUE LOS TOMADORES DE DECISIONES deberán considerar para conocer el impacto del cambio climático sobre las zonas costeras del país son fundamentalmente: los procesos costeros, los ecosistemas marinos y las cuencas.

Todos estos aspectos no se podrán lograr si no se hace una importante inversión en la FORMACIÓN Y CAPACITACIÓN DE RECURSOS HUMANOS, fortaleciendo los procesos de vinculación entre la academia, el gobierno, los sectores productivos y la sociedad civil.

Conclusiones

México requiere urgentemente instrumentar programas y estrategias que permitan monitorear (con un enfoque de largo plazo y bajo metodologías comunes) las variables más importantes para poder evaluar el impacto del cambio climático en sus zonas marinas y costeras.

El trabajo de la Red Mexicana para el Manejo Integrado de la Zona Costera y Marina permitió establecer 36 temas clave sobre los que es necesario trabajar a profundidad para generar indicadores, los cuales pudieran contribuir con las políticas públicas y acciones sociales derivadas del fenómeno del cambio climático.

Se propusieron 19 indicadores puntuales o específicos, de los cuales, de acuerdo con la propia clasificación otorgada por sus autores, 1 da información sobre la presión que recibe el medio, 10 describen el estado que guarda el ambiente, 3 permiten evaluar respuestas sociales o institucionales y 4 permiten evaluar cuando menos dos rubros de los antes mencionados.

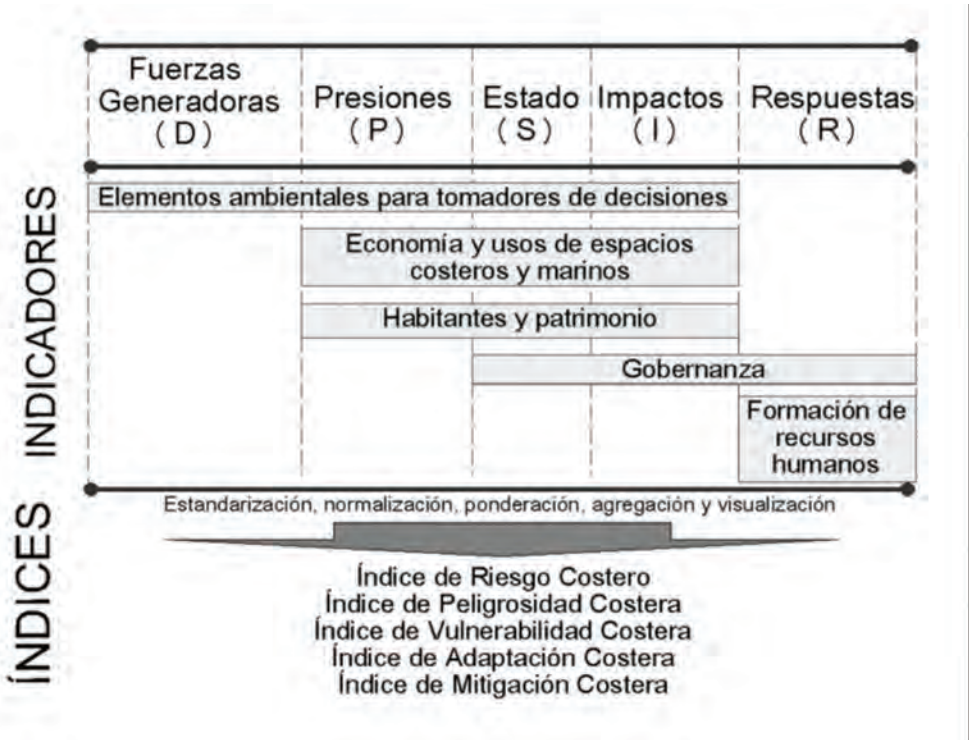
A partir del análisis de los diferentes capítulos que componen este libro, se pudieron identificar una serie de propuestas de indicadores o índices, presentados de manera explícita por parte de los autores o bien manejados de manera implícita en la explicación de sus postulados o en el análisis de sus observaciones.

Este material contribuyó a la construcción del capítulo final de esta sección en dónde se presenta la propuesta de medición de indicadores de la Red Mexicana para el Manejo Integral Costero y Marino para evaluar el fenómeno del cambio climático sobre las zonas costeras y marinas.

Esta propuesta de indicadores de la Red Mexicana para el Manejo Integrado Costero-Marino se debe insertar en un marco conceptual más amplio. Los diferentes capítulos de este libro pueden contribuir a identificar indicadores sobre las fuerzas generadoras (D), las presiones que estas ejercen (P), el estado del ambiente (S), los impactos que sufre o puede sufrir (I) y las respuestas que da la sociedad en general para contrarrestarlas (R).

A partir de esta información será necesario construir índices generales que permitan, de una manera efectiva y eficiente, hacer un monitoreo rutinario del estado que guardan las zonas costeras y marinas con un enfoque de largo plazo, para darlo a conocer entre la sociedad, y de esta forma contribuir a tomar las acciones y medidas adecuadas y a establecer políticas públicas claras y en casos procedentes incidir en la definición de instrumentos legales y regulatorios.

A continuación se presenta un referente conceptual que puede servir de guía para la continuidad de este trabajo.



Literatura citada

OCDE/OECD, 2000. Frameworks to Measure Sustainable Development. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE/OECD), París, 164 p.

OCDE/OECD, 2003. OECD Environmental Indicators. Development, Measurement and Use. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE/OECD), París, 37 p.

Azuz-Adeath, I., M. C. Arredondo-García, I. Espejel, E. Rivera-Arriaga, G. Seingier y J. L. Fermán., 2010. Propuesta de indicadores de la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino, p. 901-940. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

Propuesta de indicadores de la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino

Isaac Azuz-Adeath, María Concepción Arredondo-García, Ileana Espejel, Evelia Rivera-Arriaga, Georges Seingier y Jose Luis Fermán

Resumen

A partir del trabajo colaborativo de la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino, se proponen una serie de indicadores que permitirán evaluar el impacto del cambio climático sobre las áreas costeras y marinas mexicanas. Los indicadores propuestos se consideran los mínimos necesarios para poder monitorizar desde una perspectiva ecosistémica el comportamiento de las zonas costeras y marinas en el mediano y largo plazo, considerando escalas espaciales de evaluación que van desde el ámbito nacional hasta el municipal. Para poder evaluar y validar esta serie de indicadores es necesario realizar un importante esfuerzo de coordinación institucional para la medición de las diferentes variables involucradas en el cálculo de los indicadores específicos. La propuesta establece tanto la frecuencia de medición mínima como los ambientes específicos de obtención de la información. En los capítulos precedentes, se propone un marco de referencia general, para que una vez que sean calculados los indicadores, puedan ser integrados en índices generales. Asimismo se presentan algunos casos de estudio de los cuales se pudieran retomar los esquemas de representación visual de los indicadores e índices.

Introducción

El interés y la necesidad de un desarrollo sustentable, al igual que la preocupación frente a las amenazas que pesan sobre el ambiente y el manejo de los recursos naturales, han llevado a que los planificadores, tomadores de decisión y los organismos no gubernamentales principalmente, examinen los medios de los que se dispone para evaluar y vigilar la evolución y tendencias en el estado del ambiente, en el uso de los recursos naturales y en los procesos de desarrollo (Winograd *et al.,* 1995). Es así como el diseño de indicadores ambientales recibe desde la década pasada una atención especial por parte de los investigadores y académicos de todo el mundo.

El concepto de indicador proviene del verbo latino *indicare*, que significa revelar o señalar, aplicado a la sostenibilidad, se concreta en un conjunto de parámetros especialmente diseñados para obtener información específica, según objetivos predeterminados, de algún aspecto considerado prioritario, de la relación sociedad-naturaleza. Sin embargo, algunos analistas han usado los términos "indicador" e "índice" de manera indistinta, para referirse a cualquier estadístico o conjunto de estadísticos que de manera intuitiva den alguna medida general del desempeño, generación o evolución de fenómenos de interés. Otros analistas han desarrollado, de manera particular, definiciones y sistemas de clasificación para tipos y usos de índices, sobre la estructura de los índices y para los esquemas de los procesos donde se emplean.

El análisis del medio marino y costero, desde el punto de vista de su gestión, ha evolucionado de la medición puntual exhaustiva de variables específicas, la identificación de temas claves de atención prioritaria y la generación de indicadores para el monitoreo de aspectos estrictamente disciplinarios, hasta la generación de indicadores e índices integrales para la evaluación de la dimensión ambiental, social, económica e institucional de las áreas marinas, costeras, y su interacción con las actividades antropogénicas que ocurren en las regiones terrestres adyacentes, en diferentes escalas espaciales, desde el ámbito local hasta el global pasando por los niveles regionales y nacionales (*e.g.* EEA, 1996, 1998, 2003, 2007; van Buuren *et al*., 2002; Belfiore *et al.*, 2003; IOC-UNESCO, 2006).

En la actualidad es relativamente común para los científicos analistas, enfatizar el comportamiento de variables específicas y cruzarlas con las escalas temporales y espaciales asociadas a problemas ambientales, para advertir las dificultades que estos problemas representan para las instituciones políticas encargadas de su manejo.

Esto, conlleva una disyuntiva espacial: los problemas ambientales no respetan las fronteras políticas y los críticos se quejan de que los gobiernos tienen problemas para responder en las escalas espaciales y temporales pertinentes (Meadowcroft, 2000).

Las escalas espaciales se relacionan, indiscutiblemente, con la delimitación territorial del poder político, son las áreas físicas sobre las cuales, la estructura política mantiene el poder.

En la tabla 1, se presenta las diferentes escalas de planeación posibles, el tipo de indicador que es posible establecer y el uso que estos pueden tener.

Desde una perspectiva histórica, en una primera etapa, la construcción de indicadores para la gestión ambiental adolecía de profundidad y representatividad temática en lo que a zonas marinas y costeras se refiere. Por ejemplo, para abordar el tema de "Océanos, Mares y Costas" las

Tabla 1. Escalas de planeación y niveles de los indicadores (Modificado de Winograd *et al*., 1995)

Escalas	Nivel de indicadores	Usos
Global	Índices Indicadores agregados	Seguimiento de temas prioritarios y áreas de problemas, negociación y diseño de políticas y acciones.
Nacional	Índices Indicadores agregados Indicadores simples	Identificación y seguimiento de áreas de problemas, negociación y diseño de estrategias y acciones.
Regional	Índices Indicadores agregados Indicadores simples	Identificación de temas prioritarios y áreas de problemas, diseño de estrategias y acciones. Análisis de causas, efectos y respuestas potenciales.
Local	Indicadores simples Datos o mediciones directas	Identificación de temas prioritarios. Análisis, seguimiento y prueba de acciones y respuestas.

Naciones Unidas (UN-CSD, 2001) proponían exclusivamente dos sub-temas: zonas costeras y pesquerías. Para el caso de las zonas costeras utilizaban como indicadores: a) concentraciones de algas en zonas costeras y b) porcentaje de la población total viviendo en las áreas costeras; para el caso de las pesquerías proponían solamente un indicador: a) captura anual de las especies más representativas.

Por otra parte, la identificación de elementos y temas para analizar los procesos de planeación y gestión marino-costera, se enfocaron fundamentalmente en la evaluación de los Planes y Programas para el Manejo Costero Integral (PMCI), centrándose la mayoría de las veces en la dimensión institucional (*e.g.* Cicin-Sain y Knecht, 1998; Kay y Alder, 2005; Cicin-Sain *et al*., 2005).

En lo que respecta al cambio climático global, la atención inicial se centró en las emisiones de sustancias que disminuían la capa de ozono atmosférico y los procesos de generación de gases de efecto invernadero (UNEP, 1989; UN, 1992 y 1998). Entre las diferentes acciones propuestas en el Convenio Marco para el Cambio Climático, la creación del Panel Intergubernamental de Expertos ha producido algunos de los mayores resultados. Los trabajos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) pusieron de manifiesto, entre otras cosas, los importantes efectos que estos cambios globales tendrían sobre los ambientes marinos y costeros (IPCC, 1990; 1995; 2001; 2007).

La mayoría de los indicadores ambientales propuestos en la última década han tomado en cuenta el efecto del cambio climático (*e.g.* EEA, 2006; 2008), básicamente en función de: el aumento acelerado del nivel del mar, los cambios en los patrones de temperaturas, vientos, precipitaciones e inundaciones, la acidificación de los océanos y el posible aumento de la intensidad y frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos (*e.g.* IPCC, 2007).

En el ámbito nacional, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2005), siguiendo el esquema Presión-Estado-Respuesta, propuso como indicadores para los ecosistemas costeros y oceánicos (tabla 2).

Tabla 2. Indicadores para los ecosistemas costeros y oceánicos (Semarnat, 2005).

Indicadores de Presión	Indicadores de Estado	Indicadores de Respuesta
Captura pesquera nacional.	Especies mexicanas marinas en riesgo.	Áreas naturales protegidas federales en zonas marinas.
Esfuerzo pesquero nacional.		Actividades de inspección y vigilancia de los recursos pesqueros.
Captura de fauna de acompañamiento.		Ordenamientos ecológicos decretados en zonas marinas y costeras.
Superficie afectada por las redes de arrastre.		
Producción nacional de camarón.		
Producción nacional acuícola en entidades costeras.		
Fugas y derrames de hidrocarburos, descarga de contaminantes y agua congénita en zonas marinas.		
Pozos exploratorios y en desarrollo perforados en zonas marinas.		
Crecimiento poblacional de la zona costera.		
Turistas en destinos costeros.		
Carga marítima transportada y pasajeros transportados.		
Especies invasoras en ecosistemas marinos y costeros nacionales.		
Variación en la temperatura del agua marina.		

Por su parte, la Estrategia Nacional de Cambio Climático (Semarnat, 2007), identifica cinco regiones prioritarias de atención para las cuales el aumento acelerado del nivel del mar pudiera provocar afectaciones significativas, y analiza el impacto del aumento en los fenómenos meteorológicos y sequía sobre las actividades turísticas. Propone en el área de investigación y desarrollo el "Diseño de Sistemas de Información, Evaluación y Monitoreo de la Situación Ambiental de Océanos y Costas". El Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012 (PECC, 2009), presenta dos objetivos relacionados con los océanos y zonas costeras, ambos asociados a mantener: la integralidad y las capacidades de disminución de riesgo de estas áreas. Ninguno de los dos documentos mencionados presenta de manera explícita indicadores.

La aplicación de indicadores socioeconómicos y ecológicos de manera integrada, se ha utilizado básicamente en la planeación del suelo y mar, tanto en áreas protegidas (ANP), como en la elaboración de Ordenamientos Ecológicos (OE) regionales y locales y mapas de riesgo y vulnerabilidad, en zonas costeras y marinas de México.

El marco conceptual del uso de indicadores que actualmente sugiere la Semarnat para la planificación y manejo de la zona costera, está basado en el modelo de indicadores para la sustentabilidad de la OCDE (Presión-Estado-Respuesta y ahora de Fuerzas Motrices-Estado-Impacto-Respuesta).

El primer Ordenamiento Ecológico Marino, desarrollado y decretado en el Golfo de California, está basado en este modelo (DOF, 2006). En ordenamientos sectoriales de esta misma zona se utilizó el modelo de indicadores en el proyecto denominado escalera náutica (Espejel *et al.,* 2004). En OE de menor escala se aplicó en un valle vitivinícola con influencia costera (Espejel *et al.*, 1999), en los municipios costeros de Campeche (Rivera-Arriaga *et al.*, 2006) y en otros corredores costeros regionales (entre muchos otros, Múgica *et al.*, 2000; Arredondo *et al*., 2007; Euan-Avila *et al.,* 2007).

Los primeros OE del país que utilizaron variables tipo indicadores socioambientales como vulnerabilidad y riesgo, fueron financiados por la OEA a través del Instituto Nacional de Ecología (INE) de la Semarnat (Bojórquez-Tapia, 1993). El primero se realizó en Cancún, Quintana Roo y ha sido actualizado varias veces (Vidal, 2010), el de la Paz y Los Cabos en Baja California Sur en 2008, en Nayarit (Moreno-Casasola *et al.*, 1990; Bojórquez-Tapia *et al*., 1997), y en la franja costera del noroeste de México, entre Tijuana y Ensenada (Gómez-Morín *et al*., 1993 a y b) posteriormente, en su actualización con un municipio nuevo (Bringas-Rábago *et al.,* 2002) y de nuevo en proceso de actualización (IMIP, 2010)

El uso de indicadores se ha aplicado en ANP marinas (Fermán-Almada *et al.*, 1997), y ha dado como resultado el primer plan de manejo decretado para una ANP marina en México. También se aplicó en una ANP de un desierto costero (Espejel *et al.*, 2006).

El uso de indicadores multiescalares para medir la vulnerabilidad de la costa, se encuentran en las tesis de doctorado, de carácter metodológico, de García-Gastelum (2006) y Arredondo-García (2006), sintetizadas en (Espejel *et al*., 2007).

Se ha propuesto el uso de indicadores para la definición de áreas con potencial de conservación en la zona costera (Alvarado, 2000), para objetivos tan específicos como la conservación de ciertos tipos de vegetación como las dunas (Espejel *et al.*, 2004), el matorral costero (Espejel *et al.,* 2001), o el uso de un indicadores fáciles de medir para la zona costera del continente americano (Escofet y Espejel, 2004).

Asimismo, se ha incursionado en el uso de indicadores que incluyen la percepción social y que se integran, de otra manera, en la planeación y certificación de playas recreativas (Espejel *et al.,* 2007; Cervantes *et al.,* 2008 a y b). También han sido empleados para evaluar los niveles de vulnerabilidad y riesgo ante fenómenos como la erosión (Azuz-Adeath, 2002).

Hay estudios importantes a nivel nacional para establecer las características socio-económicas de las zonas costeras el país (Juárez, 2000; Sánchez-Gil *et al.*, 2004) y sobre la dinámica de crecimiento poblacional por localidades y municipios costeros (Gutiérrez de MacGregor y González Sánchez, 1999; Padilla Sotelo, 2000; Azuz y Rivera, 2009). Es importante mencionar el trabajo de Gabriel-Morales y Pérez-Damián (2006) como uno de los pocos estudios que incorpora indicadores de instrumentos de gobernanza en material ambiental.

Ante escenarios de cambio climático, y en el marco de medir la vulnerabilidad de sitios costeros, se pueden encontrar trabajos disponibles en la red. Destacan los de riesgos oceanográficos que han afectado ciudades costeras y que más recursos han recibido del FONDEN (*e.g.* Wilma y Stan) (Sara-Gutiérrez *et al.,* 2007 y Juárez Gutiérrez *et al*., 2006). Otros analizan el alcance de los huracanes y el riesgo de las poblaciones aunque no sea en sitios costeros, como sucede en el centro de la península de Yucatán (Frausto *et al*., 2006). Cabe destacar todos los estudios que hay para el diseño de los atlas de riesgo, en este caso para ciudades costeras: entre otros, el de las costas chiapaneca y colimense (Atlas Estatal Digital de Chiapas, 2006; Ayuntamiento de Manzanillo, 2004). Dentro de los atlas hay que mencionar los esfuerzos del Instituto Nacional de Salud Pública (CRISP, 2009) en sus estudios sobre vulnerabilidad social con el usos de indicadores locales, por ejemplo para construir un índice de sismicidad ligado a los asentamientos humanos y un índice de inundación a partir de un evento meteorológico extremo (Ramsey *et al*., 2009) y también los de sequía (Hernández *et al*., 2000).

Las aproximaciones más recientes con estudios a nivel nacional aparecen en Seingier *et al*., (2009) y en diversos capítulos de este libro.

Indicadores para el cambio climático, el desarrollo sustentable y la gestión integrada de las zonas costeras y marinas de México

A partir de los esquemas metodológicos descritos en las secciones y capítulos precedentes, se ha propuesto un esquema conceptual para la construcción de indicadores de la Red. Los indicadores que aquí se presentan se inscriben en la conjunción de los indicadores previamente establecidos sobre desarrollo sustentable, cambio climático y gestión de zonas marinas y costeras.

Estos indicadores propuestos buscan establecer el estado básico de las zonas marinas y costeras, su posible evolución y los cambios que estas experimenten ante diferentes acciones tendientes a mitigar o adecuarse ante los impactos del cambio climático en la búsqueda de estados superiores del desarrollo sustentable.

En la construcción de estos indicadores se ha buscado tener el conjunto mínimo de elementos que permitan responder a la pregunta ¿cuáles serán los impactos del cambio climático sobre las zonas marinas y costeras de México? (figura 1)

Desde el punto de vista de la clasificación de los indicadores generados y de acuerdo con los referentes internacionales expuestos, se han propuesto las siguientes categorías:

a) Indicadores para la evaluación de los servicios ambientales
   – Fuente
   – Soporte
   – Sumidero

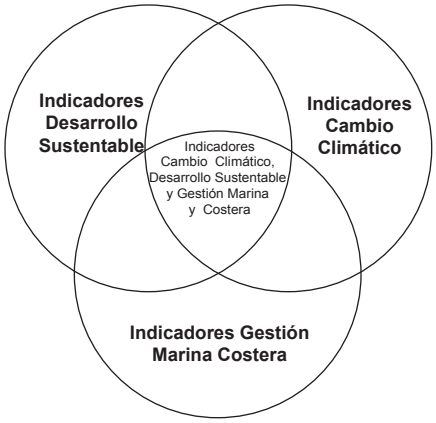


Figura 1. Esquema conceptual para la construcción de los indicadores de la Red Mexicana de Manejo Integrado Costero-Marino.

2) Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental
   – Fuerza motriz o presión
   – Estado o impacto
   – Respuesta

Es importante resaltar que varios indicadores pueden caer en dos o más categorías de las antes mencionadas.

A continuación se presenta el número de indicadores asociados a cada dimensión descrita (figura 2).

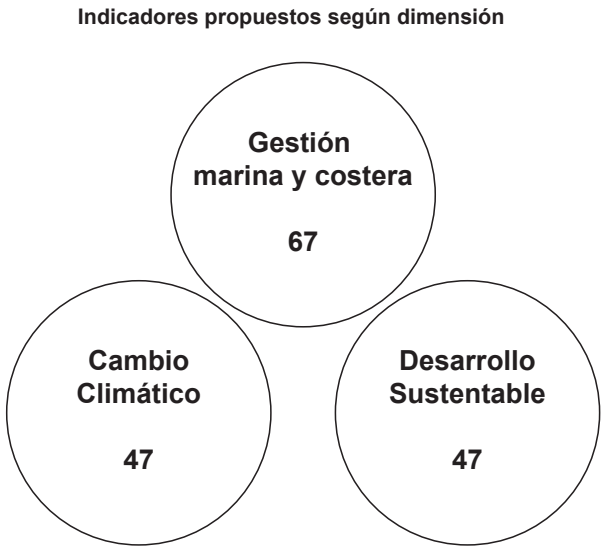


Figura 2. Número de indicadores generados según dimensión.

De acuerdo con la tipología sugerida para la evaluación de los servicios ambientales y del desempeño ambiental, las figuras 3 y 4 muestran los resultados globales obtenidos, es decir, el número de indicadores propuestos que caen en cada una de las clasificaciones establecidas.

Desde el punto de vista gráfico, se han establecido dos mecanismos de clasificación visual de los indicadores propuestos. El primero de ellos emplea diferentes tipos de figuras (*i.e.* doble margen, resaltado y sombreado), para visualizar los indicadores de acuerdo con la clasificación de sus servicios ambientales.

El segundo tipo emplea diferentes niveles de sombra para diferenciar los diferentes elementos del desempeño ambiental.

La figura 5 es una guía que deberá seguirse cuidadosamente en la interpretación de los diagramas de los indicadores individuales.

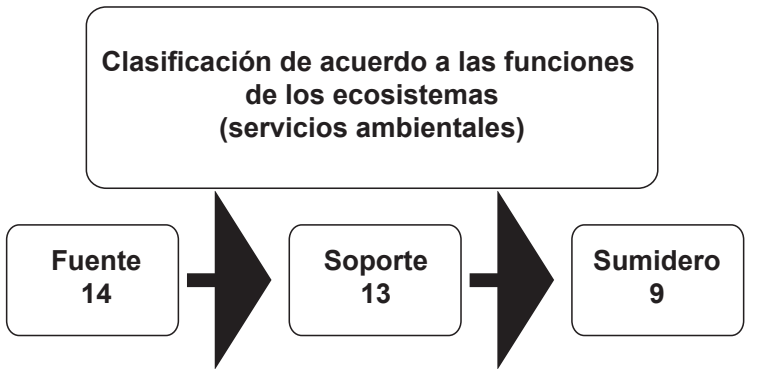


Figura 3. Clasificación de los indicadores propuestos de acuerdo son los servicios ambientales que brindan los procesos que se miden o describen.

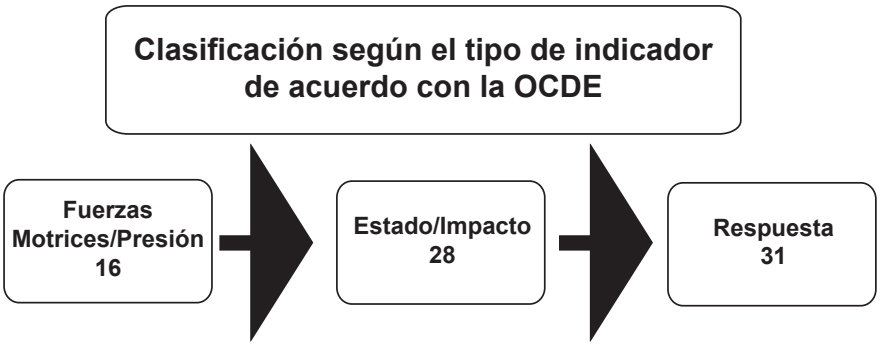


Figura 4. Clasificación de los indicadores propuestos de acuerdo con el marco de referencia establecido por la OCDE.

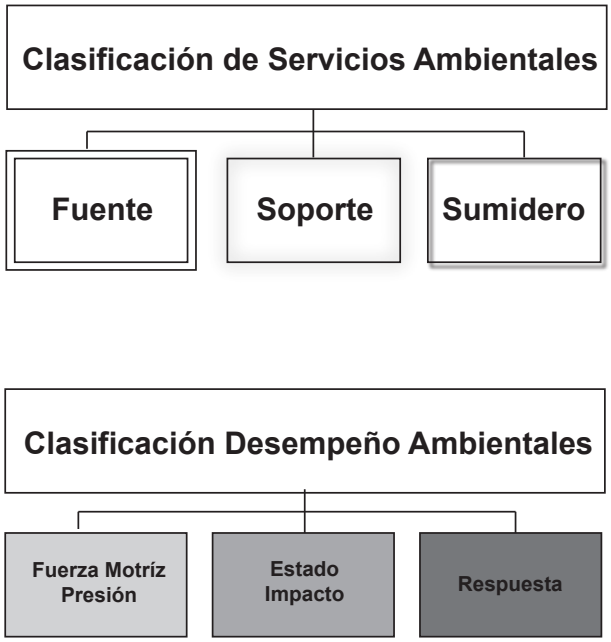


Figura 5. Esquemas gráficos/visuales de clasificación de indicadores.

Estructura global de la propuesta de indicadores para la gestión marina y costera ante el cambio climático de la Red

Las figuras 6 a la 11 presentan de manera detallada los indicadores correspondientes a cada sub-tema y su clasificación correspondiente.

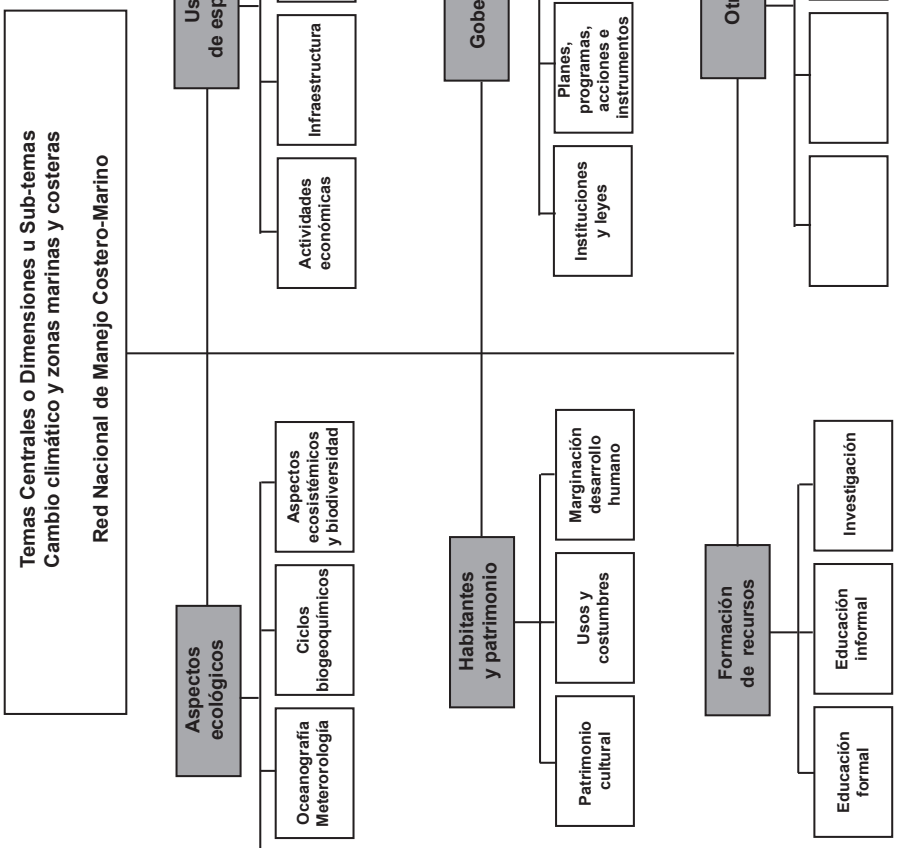


Figura 6. Diagrama general de los temas (dimensiones) y subtemas propuestos para la creación de indicadores de la Red. (Nota: en este nivel No aplica la clasificación propuesta en la figura 5).

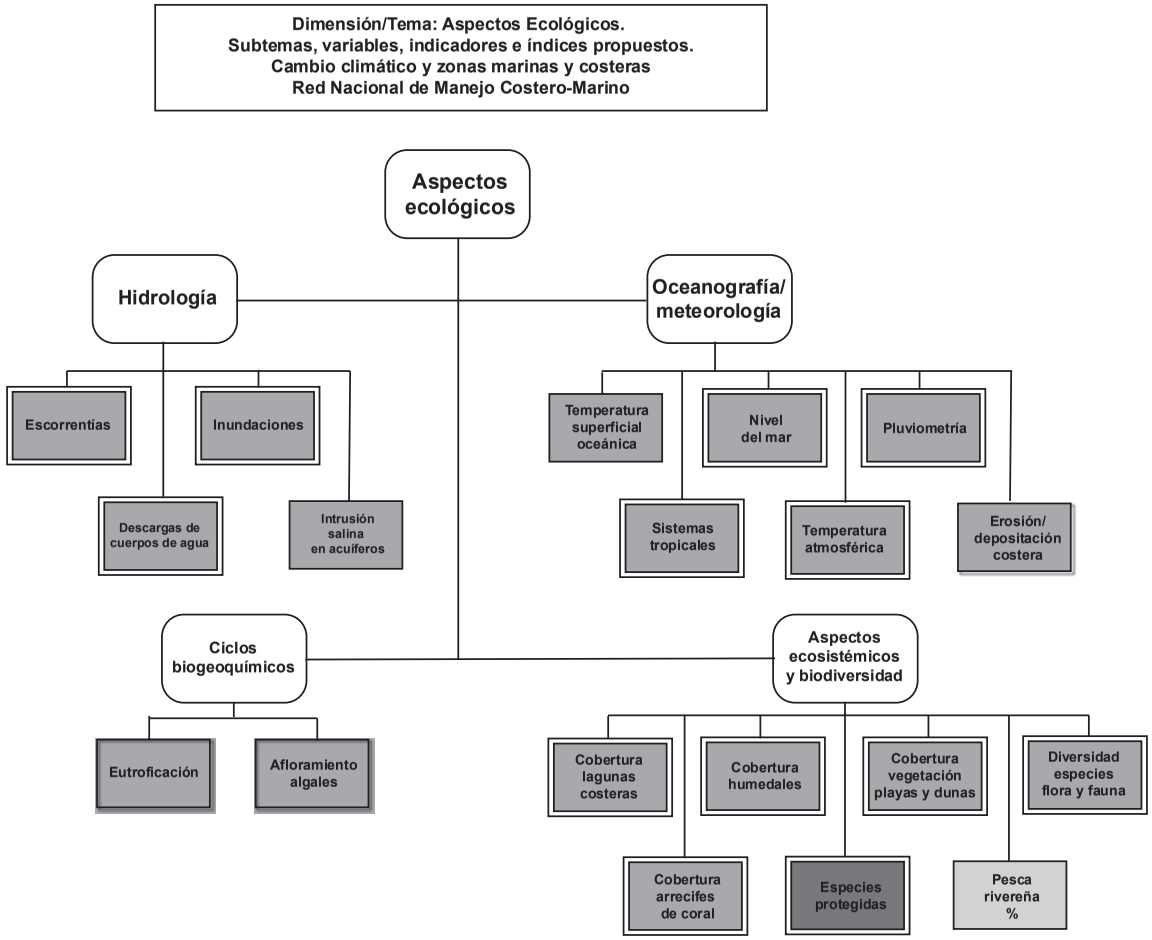


Figura 7. Indicadores propuestos para la dimensión "Aspectos Ecológicos" y sus correspondientes clasificaciones.

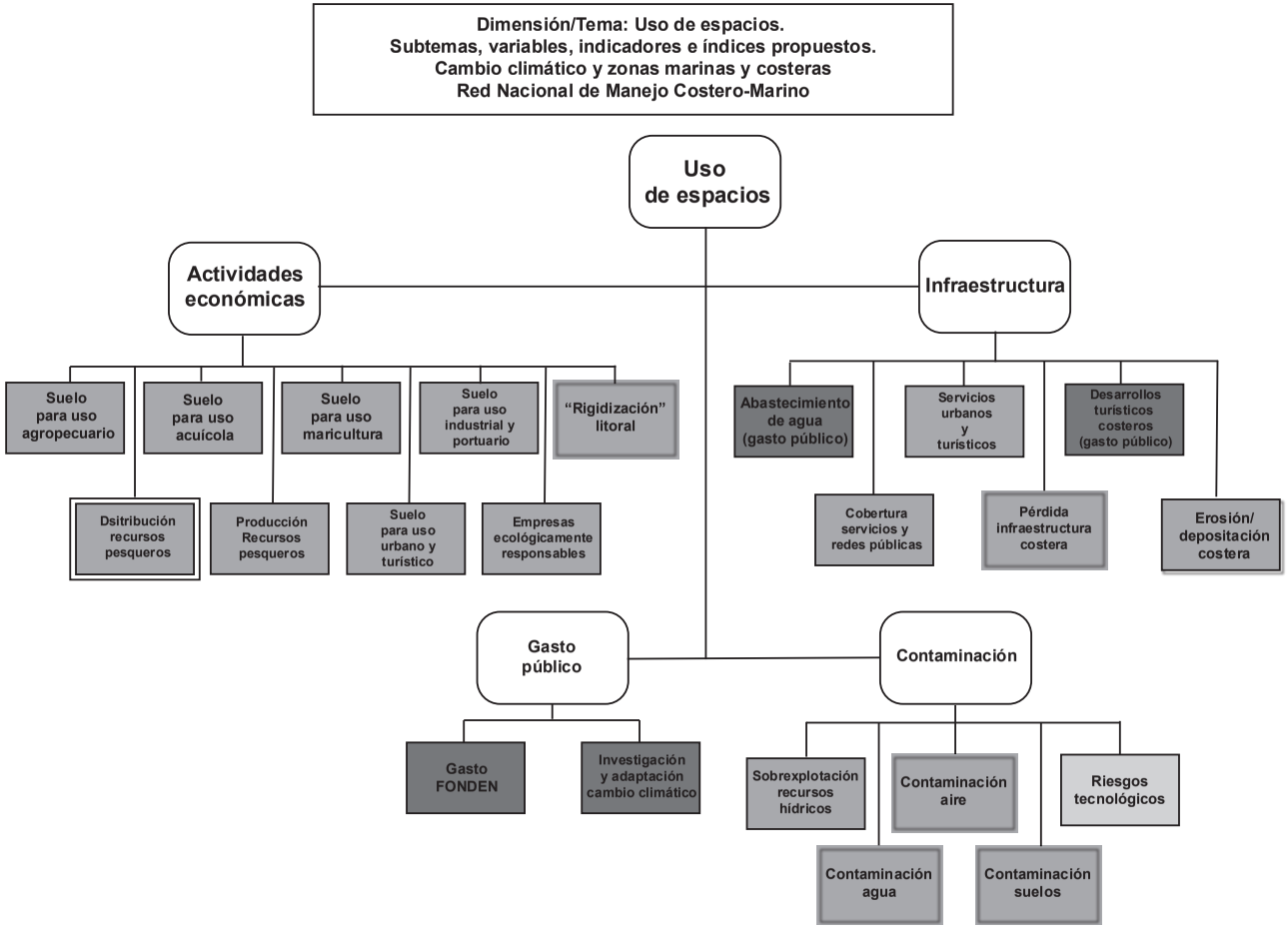


Figura 8. Indicadores propuestos para la dimensión "Uso de Espacios" y sus correspondientes clasificaciones.

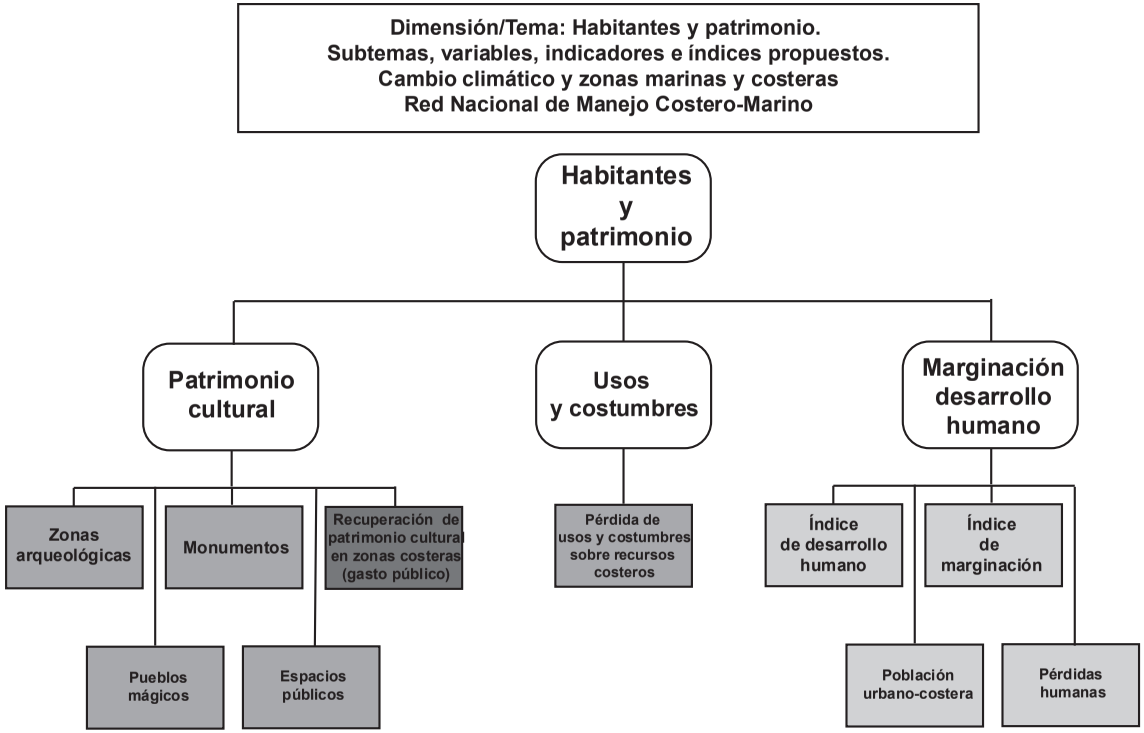


Figura 9. Indicadores propuestos para la dimensión "Habitantes y Patrimonio" y sus correspondientes clasificaciones.

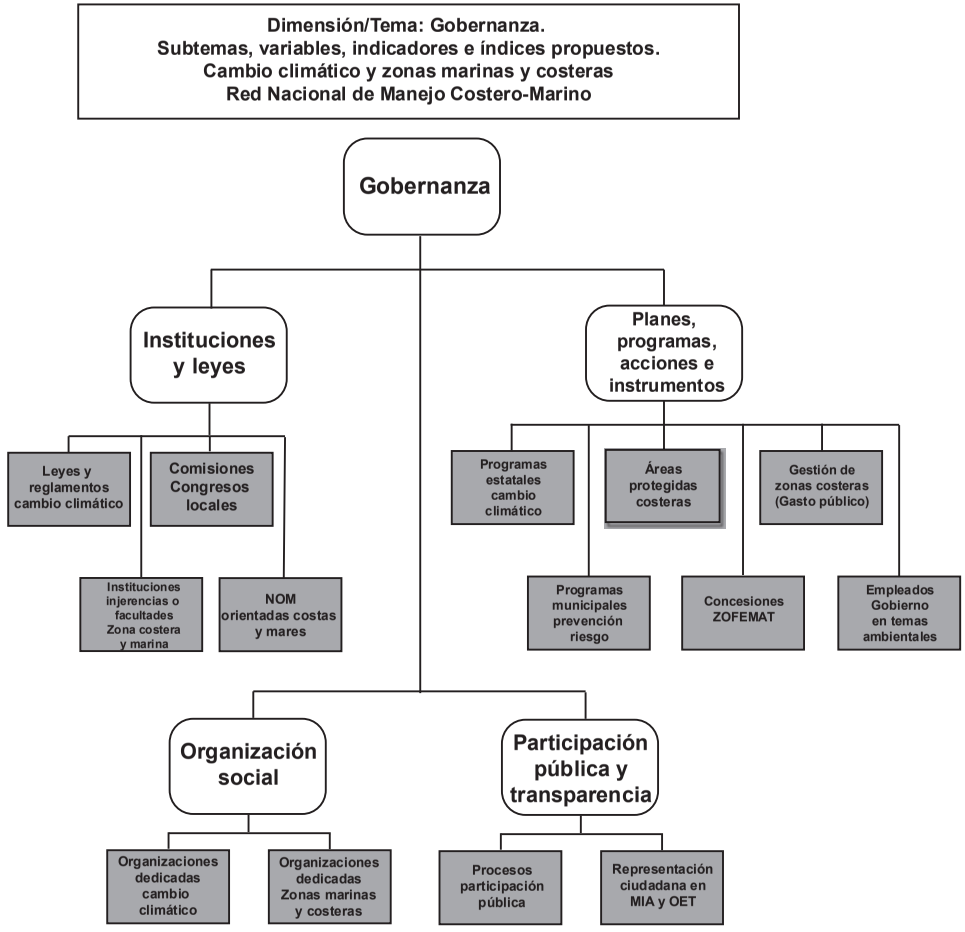


Figura 10. Indicadores propuestos para la dimensión "Gobernanza" y sus correspondientes clasificaciones.

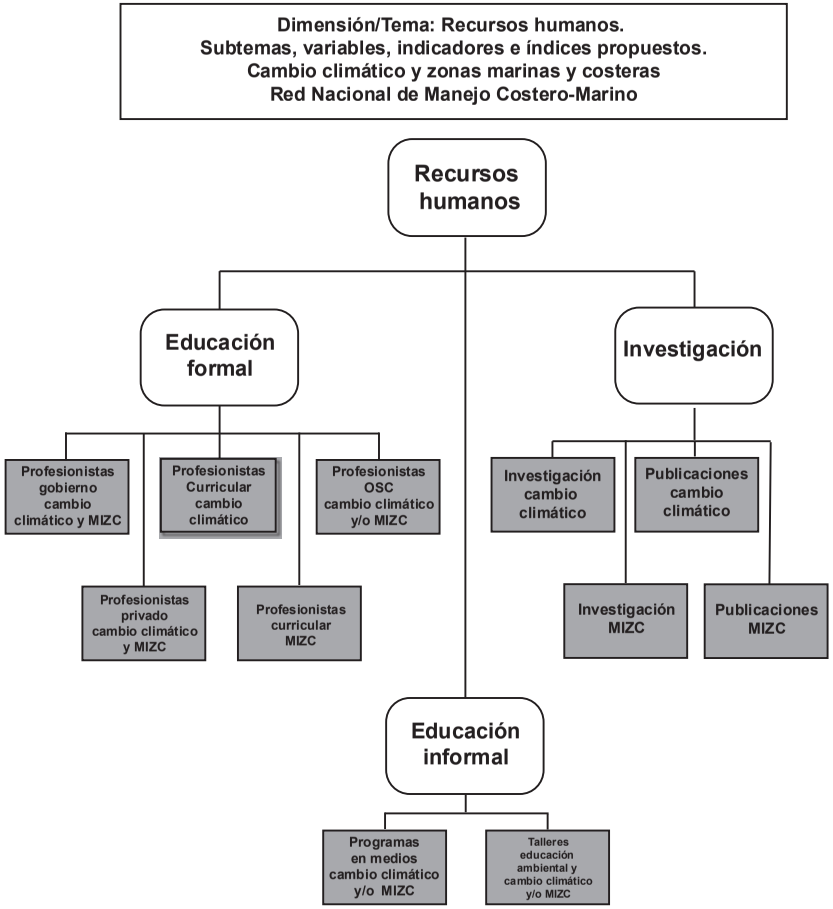


Figura 11. Indicadores propuestos para la dimensión "Formación de Recursos Humanos" y sus correspondientes clasificaciones.

Descripción de indicadores de acuerdo con su clasificación de desempeño

Indicadores de desarrollo sustentable (aspectos ecológicos)

Se proponen nueve indicadores de los cuales uno es referente a la calidad del acuífero y otro a la cantidad de sedimentos en la costa; el resto son de corte ecológico y toman aspectos de biodiversidad y temas ecosistémicos, que pueden entremezclarse porque están incluidos o separarse porque hay bases de datos disponibles como son las de Conabio y los inventarios forestales de INEGI. Los indicadores de erosión y calidad de agua están disponibles para aquellos sitios donde hay problemas en las comunidades locales. Algunos ecosistemas, especialmente algunas lagunas costeras y humedales han sido profusamente estudiados en sitios específicos. Para análisis de indicadores con escalas temporales, también están disponibles estudios a nivel nacional de manglares y humedales y está en proceso uno de dunas costeras. Los indicadores de pesca se actualizan en las cartas pesqueras. Por otro lado hay bases de datos regionales de estudios marinos que permitirían hacer comparaciones temporales y espaciales para medir el desarrollo sustentable de los mares y costas mexicanos (tabla 3).

Indicadores de desarrollo sustentable (uso de espacios)

Se identificaron veinte indicadores disponibles a nivel nacional, regional o puntual que pueden medir el impacto del uso actual en las costas y mares. Ocho indicadores tienen que ver con actividades económicas prevalecientes en la costa como es la construcción de infraestructura, el aumento o disminución de usos costeros como son agrícola y pecuario, acuícola y de maricultura, urbano, portuario y de turismo. Asimismo, se proponen cinco indicadores económicos que pueden obtenerse de las cuentas públicas e inversiones locales, regionales o nacionales en el desarrollo costero mexicano las cuales también podrían ser comparativas en escalas temporales. También de corte económico pero denominadas como gasto público se sugieren dos indicadores que pueden medir el grado de sustentabilidad de una región costera donde se espera menos gasto en atención a desastres y la ejecución de programas preventivos y de adaptación. Finalmente, se sugieren cinco indicadores relacionadas a la calidad de agua, suelo y aire y los riesgos a los que está sujeta la población por accidentes que pudieran sufrir infraestructuras como nucleoeléctricas, gasoducotos, termoeléctricas, etc. (tabla 4).

Tabla 3. Indicadores de desarrollo sustentable (aspectos ecológicos).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Intrusión salina de acuíferos.	EH4	Aumento del nivel de salinización de los acuíferos respecto a algún nivel de referencia.	Salinidad (ups).
Erosión/Acreción costera.	EOM6	Cambios en la línea de costa asociados al transporte de sedimentos.	Erosión/acreción (m^3/año) y/o posición línea de costa (m).
Cobertura de lagunas costeras..	EAB1	Cambios en la cobertura superficial del espejo de agua de las lagunas costeras.	Cambios superficiales (km^2/ 5 años).
Cobertura de humedales.	EAB2	Cambios en la cobertura de los tipos de vegetación de las zonas inundables costeras.	Superficie de vegetación (m^3/año).
Cobertura de vegetación de playas y dunas.	EAB3	Cambios en la cobertura de los tipos de vegetación de las zonas no inundables costeras.	Superficie de vegetación (m^3/año).
Cobertura de arrecifes de coral.	EAB4	Cambios en la cobertura de los arrecifes coralinos.	Superficie de arrecifes de coral (km^2/año).
Cambio en la diversidad de especies de flora y fauna nativas.	EAB5	% de especies de flora nativa respecto al total y % de especies de fauna nativa respecto al total.	Porcentajes y cambios porcentuales (% / 5 años).
Especies con estatus de protección.	EAB6	Cambio en el número de especies bajo algún estatus de protección.	% de especies protegidas respecto al total (%/año).
Porcentaje de pesca ribereña.	EAB7	% de la flota pesquera ribereña respecto al total de embarcaciones pesqueras.	% de flota pesquera ribereña respecto al total de embarcaciones (%/5 años).

Indicadores de desarrollo sustentable (habitantes y patrimonio)

Para este tema se sugieren diez indicadores con datos disponibles en las bases del INAH, de los municipios, de la Conapo y el INEGI. La mitad de los indicadores hacen referencia al patrimonio cultural ancestral y moderno de México. Uno de los indicadores implica la escala temporal y se refiere a usos y costumbres. Los demás indicadores sugeridos se obtienen de los censos y de los datos municipales cuando hay desastres costeros. Dentro de estos cuatro indicadores algunos permiten comparaciones a nivel mundial (tabla 5).

Tabla 4. Indicadores de desarrollo sustentable (uso de espacios).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
"Rigidización" del litoral.	U31	Porcentaje de línea de costa transformada.	Línea de costa total del municipio entre línea de costa transformada (cada 10 años).
Cambio de suelo: uso agropecuario.	UE2	Cobertura de uso de suelo agropecuario sobre cobertura natural.	Superficie de uso agropecuario, superficie de vegetación natural, superficie municipal (cada 10 años).
Cambio de suelo: uso acuícola.	UE3	Cobertura de uso acuícola sobre cobertura natural.	Superficie de uso acuícola, superficie de uso natural, superficie municipal (cada 10 años).
Cambio de suelo: uso maricultura.	UE4	Cobertura de área concesionada para maricultura .	Superficies concesionadas (Ha) (cada 5 años).
Cambio de suelo: uso industrial y portuariom	UE5	Cobertura de uso suelo industrial y portuario sobre cobertura natural.	Superficie de uso suelo industrial y portuario, sobre uso natural y superficie municipal (cada 10 años).
Cambios en la producción pesqueram	UE7	Cambio en esfuerzo pesquero por área de pesca.	Toneladas por unidad de esfuerzo (anual).
Cambio de suelo: uso urbano y turístico.	UE8	Cobertura de uso suelo urbano y turístico sobre cobertura natural.	Superficie uso suelo urbano y turístico sobre uso natural y superficie municipal (anual).
Empresas ecológicamente responsables.	UE9	% de empresas "ambientalmente responsables".	% de empresas ambientalmente responsables (anual).
Gasto público para infraestructura de abastecimiento agua potable.	UI1	% gasto publico en infraestructura para el abasto de agua (plantas de tratamiento, desaladoras, etc).	No de instalaciones por tipo y capacidad por municipio (anual).
Cobertura de servicios y redes públicas.	UI2	Cobertura de servicios sanitarios y redes públicas para el tratamiento de aguas y residuos.	% de cobertura por tipo de servicios por municipio (5 a 10 años).
Infraestructura servicios urbanos y turísticos.	UI3	Diversidad de instalaciones (marinas, parques, etc).	No de instalaciones por tipo y capacidad por municipio (5 a 10 años).
Pérdidas/Daño infraestructura costera de protección y abrigo.	UI4	Pérdidas de infraestructura por evento meteorológico.	Millones de pesos por perdidas de Infraestructura / evento meteorológico (3 a 6 años).

Tabla 4 (continuación). Indicadores de desarrollo sustentable (uso de espacios).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Gasto público para desarrollos turísticos costeros.	UI5	% Gasto público destinado < al desarrollo turístico costero.	% de inversión para desarrollo turístico en la costa /gasto público total para desarrollo (3 a 6 años).
Gasto del FONDEN.	GP1	Incremento en el gasto FONDEN por municipio.	Millones de pesos por evento (anual).
Gasto en investigación y acciones ante cambio climático.	GP2	% del gasto publico a acciones de cambio climático.	Millones de pesos por acción, presupuesto de gasto público (anual).
Sobreexplotación recurso hídrico.	UC1	Cambios en la relación porcentual entre la disponibilidad natural de agua y la extracción total.	Disponibilidad natural anual (m^3) y extracción total anual (m^3).
Contaminación del agua.	UC2	Número de veces que sobrepasa la norma oficial Mexicana por tipo de contaminantes.	Incremento en los niveles de Nitratos, Fosfatos, metales pesados, coliformes, enterococos y residuos sólidos -unidad de medida según el contaminante (trimestral).
Contaminación del aire.	UC3	Número de veces que sobrepasa la Norma Oficial Mexicana por tipo de contaminantes	Incremento en los niveles de contaminantes (trimestral).
Contaminación de suelos.	UC4	Número de veces que sobrepasa la Norma Oficial Mexicana por tipo de contaminantes.	Incremento en los niveles de nitratos, fosfatos, metales pesados, sales y residuos sólidos -unidad de medida según el contaminante (anual).
Riesgos tecnológicos.	UC5	Numero de sitios con desarrollos tecnológicos que produzcan riesgos elevados (*e.g.* regasificadoras, instalaciones petroleras, puertos con manejo de sustancias peligrosas, etc.)	Número y tipo de infraestructura con riesgos tecnológicos altos (anual).

Indicadores de desarrollo sustentable (gobernanza)

De todos los indicadores de gobernanza siete se sugieren para medir el desarrollo sustentable de los mares y costas mexicanas. Tres son referentes a instituciones y leyes y cuatro son planes y programas. Estos indicadores se pueden obtener de las bases de datos federales, de los 17 estados costeros y si no de todos, de la mayoría de los municipios costeros. Indicadores que pudieran haber existido para evaluar el esfuerzo de la administración pública en el desarrollo sustentable de las costas mexicanas ha sido substituido por programas de cambio climático (tabla 6).

Tabla 5. Indicadores de desarrollo sustentable (habitantes y patrimonio).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Zonas arqueológicas.	HPC1	Perdidas de sitios o daños por evento meteorológico extremo.	Número de sitios o % de daño por eventos meteorológicos extremos por municipios (5-10 años).
Pueblos mágicos.	HPC2	Perdidas de sitios o daños por evento meteorológico extremo.	Número de sitios o % de daño por eventos meteorológicos extremos por municipios (5-10 años).
Monumentos.	HPC3	Perdidas de sitios o daños por evento meteorológico extremo.	Número de sitios o % de daño por eventos meteorológicos extremos por municipios (5-10 años).
Espacios públicos.	HPC4	Perdidas de sitios o daños por evento meteorológico extremo.	Número de sitios o % de daño por eventos meteorológicos extremos por municipios (5-10 años).
Gasto publico destinado a la recuperación de Patrimonio cultural en zonas costeras.	HPC5	% de gasto publico destinado a recuperación de patrimonios culturales.	Gasto público total, gasto en recuperación de patrimonios culturales (3 a 6 años).
Pérdida de usos y costumbres de recursos costeros.	HUC1	Pérdidas de usos y costumbres	Numero de recursos costeros tradicional, numero de recursos costeros (anual).
Indice de Desarrollo Humano.	HMDH1	IDH municipal de PNUD	Calculado a nivel municipal (3 a 6 años).
Indice de Marginación.	HMDH2	IM municipal de Conapo	Calculado a nivel municipal (3 a 6 años).
Poblacion urbana-costera.	HMDH3	% de la población del municipio costero que vive en zona urbana.	% Pob costera/Pob total municipio (5 años).
Pérdidas humanas.	HMDH4	Pérdida de vidas humanas por evento meteorológico.	No. Personas/evento (anual).

Indicadores de desarrollo sustentable (formación de recursos humanos)

Sólo un indicador se sugiere para medir la formación de recursos humanos para el desarrollo sustentable y está dentro de la educación informal, se asume que la formación en cambio climático o en manejo integrado de zona costera contribuye al desarrollo sustentable de la comunidad dónde se imparten (tabla 7).

Tabla 6. Indicadores de desarrollo sustentable (gobernanza).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Leyes y reglamentos asociados con cambio climático.	GIL1	Proporción de leyes estatales y/o reglamentos municipales que contemplen los posibles efectos del cambio climático.	Numero de leyes estatales y/o reglamentos municipales que contemplen los posibles efectos del cambio climático sobre el total existentes (3 a 6 años).
Instituciones gubernamentales que tengan injerencia o facultades sobre zonas costeras y marinas.	GIL2	Proporción de Instituciones que tengan injerencia o facultades sobre algunos aspectos que puedan incidir en las zonas marinas y costeras.	Número de instituciones con injerencia o facultades en zonas costeras y marinas sobre el total de instituciones (3 a 6 años).
Comisiones específicas en los congresos locales.	GIL3	Proporción de Comisiones específicas en los congresos locales.	Número de comisiones municipales sobre el total (3 a 6 años).
Programas municipales de prevención de riesgo.	GPPAI1	% de acciones instrumentadas en los Programas Municipales de Prevención de Riesgo.	Programa concluido y numero de acciones propuestas, número de acciones instrumentadas (3 años).
Superficie de áreas protegida costeras.	GPPAI2	% Superficie ANP costera/ superficie municipio costero.	Superficie ANP costera, Superficie del municipio costero (5 años).
Gasto público destinado a la gestión de zonas costeras.	GPPAI5	% Gasto público destinado a la gestión de zonas costeras.	Gasto público total, gasto destinado a gestión de zonas costeras (ordenamientos, ANP) (3 a 6 años).
Número de empleados gubernamentales ligados a temas ambientales.	GPPA6	% Empleados gubernamentales en temas ambientales.	Total de empleados gubernamentales, número de empleados en temas ambientales (3 a 6 años).

Tabla 7. Indicadores de desarrollo sustentable (formación de recursos humanos).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Talleres de educación ambiental con temática de cambio climático y/o MIZC.	FREI2	% de talleres de educación ambiental con temática de cambio climático y/o MIZC sobre el total de talleres.	Número de talleres y temática (anual).

Indicador de gestión marina y costera (aspectos ecológicos)

Los indicadores de corte ecológico que se sugieren son cuatro referentes a la hidrología y se refieren a la relación en cantidad y calidad entre cuerpos de agua dulce como ríos y arroyos y el agua marina. Estos se utilizan en impacto ambiental y están disponibles para sitios puntuales y los de mayor importancia del país, se sugieren indicadores cuantitativos pero pudieran ser cualitativos al mencionarse su presencia o ausencia nada más. Seis indicadores son de temas oceanológicos y meteorológicos que están disponibles a una escala gruesa para todos los mares de México y de las lagunas costeras más importantes del país. Dos indicadores son de índole biogequímico y para ellos hay programas de seguimiento de mareas rojas como de eutrofización en varias bahías y lagunas costeras. La Conabio y los inventarios forestales, así como la Carta Nacional de Acuacultura y Pesca tienen disponibles los ocho indicadores de biodiversidad a escala nacional, en escalas finas hay trabajos de lagunas, manglares y dunas, así como de especies carismáticas y clave para el funcionamiento de los ecosistemas costeros (tabla 8).

Tabla 8. Indicadores de gestión marina y costera (aspectos ecológicos).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Escorrentías.	EH1	Cambios en Escorrentías de ríos, arroyos.	Caudal Medio Qm (m^3/s), Caudal de Avenida Q80(m^3/s) y Caudal de Estiaje Q20(m^3/s).
Desecación de cuerpos de agua.	EH2	Disminución de la superficie de cuerpos de agua .	Superficie de cuerpos de agua anual.
Inundaciones.	EH3	Aumento de la frecuencia, duración y extensión de las inundaciones.	veces/año, días, km^2.
Intrusión salina de acuíferos.	EH4	Aumento del Nivel de salinización de los acuíferos.	Salinidad (ups).
Temperatura oceánica (Sup.).	EOM1	Anomalías de temperatura oceánica superficial.	Diferencias respecto a algún promedio de temperatura superficial (grados).
Sistemas tropicales.	EOM2	Cambios en número e intensidad.	Número, intensidad .
Nivel del mar.	EOM3	Cambios en el nivel del mar.	Nivel del mar (m).
Temperatura atmosférica.	EOM4	Anomalías en temperatura atmosférica.	Temperatura (°C).
Pluviometría.	EOM5	Anomalías en las precipitación.	Precipitación (mm).
Erosión/Depositación costera.	EOM6	Cambios en la línea de costa.	Erosión/Depositación (m^3/año).
Eutrofización.	ECBGQ2	Niveles de eutrofización de las aguas marinas y costeras.	Concentración total de nitrógeno (mg/l), ortofosfatos (mg/l) y oxígeno disuelto (mg/l).

Tabla 8 (continuación). Indicadores de gestión marina y costera (aspectos ecológicos).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Afloramientos algales.	ECBGQ3	Aumento de frecuencia de afloramientos.	Frecuencia, duración, ubicación y extensión de los afloramientos algales por año.
Cobertura de lagunas costeras.	EABE1	Cambio en la Cobertura de las lagunas costeras.	Superficie de lagunas (km^2).
Cobertura de manglar, pastos marinos, marismas, etc.	EABE2	Cambios en la Cobertura de las tipos de vegetación de zonas costeras inundables.	Superficie de vegetación anual.
Cobertura de Vegetación de playas y dunas costeras.	EABE3	Cambios en la cobertura de las tipos de vegetación de zonas costeras no inundables.	Superficie de vegetación anual.
Cobertura de arrecifes de coral.	EABE4	Cambio en la cobertura de arrecifes de coral.	Superficie de arrecifes de coral.
Diversidad de especies de flora y fauna nativas.	EABE5	Cambio en la diversidad de las especies de flora y fauna nativas.	Porcentaje de especies flora nativas, total de especies.
Especies con estatus de protección.	EABE7	Cambio en el numero de especies bajo algún estatus de protección.	Porcentaje del total de especies.
Porcentaje de pesca ribereña.	EABE7	Porcentaje de flotilla pesquera en zonas ribereñas.	total de embarcaciones pesqueras, numero de embarcaciones de pesca ribereña.

Indicadores de gestión marina y costera (uso de espacios)

Algunos de estos 20 indicadores se miden en estudios de desarrollo regional, impacto ambiental y ordenamiento ecológico marino y costero. Los análisis de cambio de uso de suelo se pueden obtener con los inventarios forestales y pesqueros. De los nueve indicadores, ocho integran la escala temporal en el uso del territorio costero y uno sólo la presencia de empresas certificadas ambientalmente. Se proponen cinco indicadores para medir la gestión de infraestructura en la zona costera y está disponible a nivel municipal y de localidades, así como en las bases de datos del INEGI por lo que es posible tenerla a nivel nacional. El indicador de pérdidas es puntual y posterior a un desastre, algunos datos pueden encontrase en las bases de FONDEN además de las municipales. Dos de los indicadores de tipo económico se pueden obtener de los censos económicos del INEGI por lo que están disponibles a nivel nacional y el de gasto en investigación y programas para atender el cambio climático son nuevos, pueden ser anuales y se tendrán en el largo plazo. Los cuatro indicadores de contaminación no se tienen a nivel nacional, están disponibles para cuerpos de agua importantes del país y hay bases de datos de la Semarnat disponibles para estudios de corte nacional (tabla 9).

Tabla 9 . Indicadores de gestión marina y costera (uso de espacios).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Litoral y "rigidizacion".	UE1	Porcentaje de línea de costa transformada (longitud de puertos, malecones, etc.).	Línea de costa total del municipio, línea de costa artificial.
Cambio de suelo para uso agropecuario.	UE2	Cobertura de uso agropecuario sobre cobertura natural.	Superficie km^2 de uso agropecuario, superficie de vegetación natural km^2, superficie municipal.
Cambio de suelo para uso acuícola.	UE3	Cobertura de uso acuícola sobre cobertura natural.	Superficie km^2 de uso acuícola superficie de uso natural km^2, superficie municipal.
Cambio de suelo para uso de maricultura.	UE4	Cobertura de área concesionada para maricultura.	Superficie (Ha) concesionada.
Cambio de suelo industrial y portuario.	UE5	Cobertura de uso suelo industrial y portuario sobre cobertura natural.	Superficie km^2 de uso suelo industrial y portuario sobre uso natural km^2, superficie municipal.
Cambio en la Distribución del recurso pesquero.	UE6	Cambios en la cobertura de área de pesca por especie.	% de la unidad evaluada.
Cambio en producción del recurso pesquero.	UE7	Cambio en esfuerzo pesquero por área de pesca.	toneladas por unidad de esfuerzo.
Cambio de uso de suelo urbano y turístico.	UE8	Cobertura de uso suelo urbano y turístico sobre cobertura natural.	Superficie km^2 de uso suelo urbano y turístico sobre uso natural km^2, superficie municipal.
Empresas ecológicamente responsables.	UE8	Porcentaje de empresas "ambientalmente responsables".	Superficie km^2 de uso suelo urbano y turístico sobre uso natural km^2, superficie municipal.
Gasto público en Infraestructura para abastecimiento de agua.	UI1	Porcentaje de gasto público en infraestructura para el abasto de agua (plantas de tratamiento, desaladoras, etc.).	Número de instalaciones por tipo y capacidad por municipio.
Cobertura de servicios y redes públicas.	UI2	Cobertura de servicios sanitarios y redes públicas para el tratamiento de aguas y residuos.	% de cobertura por tipo de servicios por municipio.
Infraestructura para servicios urbanas y turísticas.	UI3	Diversidad de instalaciones (marinas, parques, etc.).	Número de instalaciones por tipo y capacidad por municipio.
Perdidas infraestructura costera.	UI4	Pérdidas de infraestructura por evento meteorológico.	Millones de pesos por perdidas de Infraestructura /evento meteorológico.

Tabla 9 (continuación) . Indicadores de gestión marina y costera (uso de espacios).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Gasto público para desarrollo turístico costeros.	UI4	% Gasto público destinado al desarrollo turístico costero.	Porcentaje de inversión para desarrollo turístico en la costa / gasto público total para desarrollo.
Gasto del FONDEN.	GP1	Incremento en el gasto FONDEN por municipio.	Millones de pesos por evento.
Gasto investigación y Procesos de adaptaciones al cambio climático.	GP2	% del gasto publico a acciones de cambio climático.	Millones de pesos por acción, presupuesto de gasto público.
Sobreexplotación del recurso hídrico.	UC1	Cambios en la relación porcentual entre la disponibilidad natural de agua y la extracción total.	Disponibilidad Natural Anual (m^3) y Extracción Total Anual (m^3).
Contaminación de agua.	UC2	Número de veces que sobrepasa la norma oficial mexicana por tipo de contaminantes.	Incremento en los niveles de nitratos, fosfatos, metales pesados, coliformes, enterococos y residuos sólidos -unidad de medida según el contaminante.
Contaminación de suelos.	UC4	Número de veces que sobrepasa la norma oficial mexicana por tipo de contaminantes.	Incremento en los niveles de Nitratos, Fosfatos, metales pesados, sales y residuos sólidos -unidad de medida según el contaminante.
Riesgos tecnológicos.	UC4	Número de sitios con riesgos tecnológicos elevados.	Número y tipo de infraestructura con riesgos tecnológicos altos (planta nuclear, gasoductos, gaseras, etc.).

Indicadores de gestión marina y costera (habitantes y patrimonio)

Se han sugerido diez indicadores para medir cuestiones de tipo cultural y aunque México no es un país especialmente rico en culturas costeras, si hay restos arqueológico, pueblos y tradiciones costeras y marinas que se sugieren como indicadores disponibles en las bases de datos nacionales del INAH y del INEGI. Los cuatro indicadores referentes a calidad de vida están disponibles a nivel de localidades costeras en las bases de datos de INEGI y Conapo y se actualizan cada 5 y 10 años. El último indicador de pérdidas humanas propuesto es un dato disponible en las estadísticas municipales y del FONDEN (tabla 10).

Tabla 10 . Indicadores de gestión marina y costera (habitantes y patrimonio).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Zonas arqueológicas.	HPC1	Perdidas de sitios por evento meteorológico extremo.	Número de sitios por municipio, numero de eventos meteorológicos extremos.
Pueblos mágicosm	HPC2	Pérdidas de sitios por evento meteorológico extremo.	Número de sitios por municipio, numero de eventos meteorológicos extremos.
Monumentosm	HPC3	Pérdidas de sitios por evento meteorológico extremo.	Número de sitios por municipio, numero de eventos meteorológicos extremos.
Espacios públicoms	HPC4	Pérdidas\ de sitios por evento meteorológico extremo.	Número de sitios por municipio, numero de eventos meteorológicos extremos.
Gasto público destinado a recuperación de patrimonio cultural en zonas costerasm	HPC4	Porcentaje de gasto público destinado a recuperación de patrimonios culturales.	Gasto público total, gasto en recuperación de patrimonios culturales.
Pérdida de usos y costumbres de recursos costerosm	HUC1	Pérdidas de usos y costumbres.	Número de recursos costeros tradicional, numero de recursos costeros.
Índice de Desarrollo Humanom	HMDH1	IDH municipal de PNUD.	Calculado a nivel municipal.
Índice de Marginaciónm	HMDH2	IM municipal de Conapo.	Calculado a nivel municipal.
Población urbana-costera.	HMDH3	Porcentaje de la población del municipio costero que vive en zona urbana.	Porcentaje de población/población total municipal.
Pérdidas humanas.	HMDH4	Pérdida de vidas humanas por evento meteorológico.	Número personas/evento.

Indicadores de gestión marina y costera (gobernanza)

Son once los indicadores referentes a la gobernanza que interesan para la gestión de la zona costera y marina. Cuatro se refieren a leyes y básicamente son de índole nacional, es muy probable que en los próximos años más municipios costeros vayan a contar legislación particular, especialmente aquellos que han sufrido desastres por eventos meteorológicos y que quieran evitar más pérdidas. Asimismo los seis indicadores de planes y programas y el de organización ciudadana están disponibles a nivel municipal, especialmente en los municipios con mayor población, con infraestructura portuaria y turística (tabla 11).

Tabla 11 . Indicadores de gestión marina y costera (gobernanza).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Leyes y reglamentos asociados con cambio climático.	GIL1	Proporción de leyes estatales y/o reglamentos municipales que contemplen los posibles efectos del cambio climático.	Número de leyes estatales y/o reglamentos municipales que contemplen los posibles efectos del cambio climático sobre el total existentes.
Instituciones gubernamentales que tengan injerencia o facultades sobre zonas costeras y marinas.	GIL2	Proporción de Instituciones que tengan injerencia o facultades sobre algunos aspectos que puedan incidir en las zonas marinas y costeras.	Número de instituciones con injerencia o facultades en zonas costeras y marinas sobre el total de instituciones.
Comisiones específicas en los congresos locales.	GIL3	Proporción de comisiones específicas en los congresos locales.	Número de comisiones municipales sobre el total.
NOM orientados a reglamentar actividades que impactan al ambiente costero-marino.	GIL4	Proporción de las NOM orientados a reglamentar actividades que impactan al ambiente costero-marino del total existentes.	Número de NOM.
Programa Estatal de Cambio Climático.	GPPAI1	Porcentaje de acciones instrumentadas del Programa Estatal de Cambio Climático.	Programa concluido y numero de acciones propuestas, número de acciones instrumentadas.
Programas municipales de prevención de riesgo.	GPPAI2	Porcentaje de acciones instrumentadas en los programas municipales de prevención de riesgo.	Programa concluido y número de acciones propuestas, número de acciones instrumentadas.
Superficie áreas protegida costeras.	GPPAI3	Porcentaje de superficie ANP costera/superficie municipio costero.	Superficie ANP costera, superficie del municipio costero.
Concesiones de ZOFEMAT.	GPPAI4	Porcentaje de ZOFEMAT concesionada por tipo de actividad.	Superficie de ZOFEMAT por municipio, superficie y tipo de concesión.
Gasto público destinado a la gestión de zonas costeras.	GPPAI4	Porcentaje del gasto público destinado a la gestión d zonas costeras.	Gasto público total, gasto destinado a gestión de zonas costeras (ordenamientos, ANP).
Número de empleados gubernamentales ligados a temas ambientales.	GPPAI4	Porcentaje de empleados gubernamentales en temas ambientales.	Total de empleados gubernamentales, número de empleados en temas ambientales.
Organizaciones dedicadas a zonas costeras y marinas.	GOS2	% organizaciones que manejen temáticas asociadas a zonas costeras y marinas/ total de organizaciones.	Número de organizaciones dedicadas a zonas costeras y marinas por municipio.

Indicadores de gestión marina y costera
Formación de recursos humanos)

De los siete indicadores propuestos cuatro son de educación formal, uno de educación informal y dos de investigación. Estos indicadores requieren de investigaciones puntuales de las bases de datos del CONACYT para calcularlos a nivel nacional y de las universidades y centros de investigación para cálculos regionales, o locales (tabla 12).

Tabla 12 . Indicadores de gestión marina y costera (formación de recursos humanos).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador.	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Profesionistas que de manera curricular aborden el tema del MIZC.	FREF2	Porcentaje de profesionistas que de manera curricular aborden el tema del manejo costero.	Porcentaje de profesionistas egresados que de manera curricular aborden el tema del manejo costero.
Profesionistas que trabajan en instituciones gubernamentales en temática de cambio climático o en MIZC.	FREF3	Porcentaje de profesionistas que trabajan por institución gubernamental sobre cambio climático o en MIZC.	Número de profesionistas, número de instancias gubernamentales.
Profesionistas que trabajan en consultorías y empresas en temática de cambio climático o en MIZC.	FREF4	Porcentaje de profesionistas que trabajan por consultorías y empresas sobre cambio climático o en MIZC.	Número de profesionistas, número de consultorías y empresas sobre los temas.
Profesionistas que trabajan en SCO en temática de cambio climático o en MIZC.	FREF5	Porcentaje de profesionistas que trabajan para SCO sobre cambio climático o en MIZC.	Número de profesionistas, número de SCO sobre los temas.
Programas en medios con temática de cambio climático y MIZC.	FREI1	Número de programas que aborden cambio climático o MIZC en radio, televisión y prensa sobre el total de programas.	Número de programas en medio, número de programas con temática.
Investigaciones con temas de MIZC.	FRI2	Porcentaje investigaciones con temática MIZC sobre el total.	Número de investigaciones y temática.
Publicaciones con temas de MIZC.	FRI4	Porcentaje de publicaciones con temática MIZC sobre el total.	Número de publicaciones y temática.

Indicadores de cambio climático (aspectos ecológicos)

Los indicadores de corte ecológico que se sugieren son cuatro referentes a distintos aspectos de procesos hidrológicos, tales como cantidad y calidad entre cuerpos de agua dulce como ríos y arroyos y el agua marina. Estos se utilizan en impacto ambiental y están disponibles para sitios puntuales y los de mayor importancia del país, se sugieren indicadores cuantitativos pero pudieran ser cualitativos. Seis indicadores son de temas oceanológicos y meteorológicos que están disponibles a una escala gruesa para todos los mares de México y de las lagunas costeras más importantes del país y son indicadores frecuentemente utilizados para explicar el cambio climático. La Conabio y los inventarios forestales, así como la Carta Nacional de Acuacultura y Pesca (Sagarpa) tienen disponibles los ocho indicadores de biodiversidad a escala nacional, en escalas finas hay trabajos de lagunas, manglares y dunas, así como de especies carismáticas y clave para el funcionamiento de los ecosistemas costeros (tabla 13).

Tabla 13 . Indicadores de cambio climático (aspectos ecológicos).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Escorrentías.	EH1	Cambios en escorrentías de ríos, arroyos.	Caudal Medio Qm (m^3/s), Caudal de Avenida Q80(m^3/s) y Caudal de Estiaje Q20(m^3/s).
Desecación de cuerpos de agua.	EH2	Disminución de la superficie de cuerpos de agua.	Superficie de cuerpos de agua anual.
Inundaciones.	EH3	Aumento de la Frecuencia, duración y extensión de las inundaciones.	veces/año, días, km^2.
Intrusión salina de acuíferos.	EH4	Aumento del nivel de salinización de los acuíferos.	Salinidad (ups).
Temperatura oceánica (Sup.).	EOM1	Anomalías de temperatura oceánica superficial.	Diferencias respecto a algún promedio de temperatura superficial (grados).
Sistemas tropicales.	EOM2	Cambios en número, intensidad.	Número, intensidad.
Nivel del mar.	EOM3	Cambios en el nivel del mar.	Tasa de cambio del nivel del mar (m).
Temperatura atmosférica.	EOM4	Anomalías en temperatura atmosférica.	Temperaturas máximas, mínimas, Temperatura promedio anual(°C).
Pluviometría.	EOM5	Anomalías en las precipitación.	Precipitación (mm).
Erosión/Acreción costera.	EOM6	Cambios en la línea de costa.	Erosión/ Acreción (m^3/año).

Tabla 13 (continuación) . Indicadores de cambio climático (aspectos ecológicos)..

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Cobertura de lagunas costeras.	EABE1	Cambio en la cobertura de las lagunas costeras.	Superficie de lagunas (km^2).
Cobertura de manglar, pastos marinos, marismas, etc.	EABE2	Cambios en la cobertura de las tipos de vegetación de zonas costeras inundables.	Superficie de vegetación anual.
Cobertura de vegetación de playas y dunas costeras.	EABE3	Cambios en la cobertura de las tipos de vegetación de zonas costeras no inundables.	Superficie de vegetación anual.
Cobertura de arrecifes de coral.	EABE4	Cambio en la cobertura de arrecifes de coral.	Superficie de arrecifes de coral.
Diversidad de especies de flora y fauna nativas.	EABE5	Cambio en la diversidad de las especies de flora nativas.	% de especies flora nativas, total de especies.
Especies con estatus de protección.	EABE7	Cambio en el .umero de especies bajo algun estatus de protección.	% del total de especies.

Indicadores de cambio climático (uso de espacios)

Algunos de estos seis indicadores se miden en estudios de desarrollo regional, se proponen dos indicadores para cambios en la distribución y producción de especies marinas y está disponible a nivel nacional en la Carta Nacional de Acuacultura y Pesca. El indicador de pérdidas es puntual y posterior a un desastre, algunos datos pueden encontrase en las bases de FONDEN además de las municipales. Tres de los indicadores de tipo económico se pueden obtener de los censos económicos del INEGI por lo que están disponibles a nivel nacional y el de gasto en investigación y programas para atender el cambio climático son nuevos, pueden ser anuales y se tendrán en el largo plazo (tabla 14).

Indicadores de cambio climático (habitantes y patrimonio)

Se han sugerido seis indicadores para medir los temas culturales, se sugieren como indicadores disponibles en las bases de datos nacionales del INAH y del INEGI. Los cuatro indicadores referentes a pérdidas de patrimonios culturales en zonas costeras por eventos meteorológicos y dos indicadores relacionados a pérdidas humanas y gasto público en invertido en la recuperación de patrimonios propuestas es un dato disponible en las estadísticas municipales y del FONDEN (tabla 15).

Tabla 14 . Indicadores de cambio climático (uso de espacios).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Cambio en la distribución del recurso pesquero.	UE6	Cambios ubicación de las zonas pesca por especie.	Distancia al puerto de arribo (km).
Cambio en producción del recurso pesquero.	UE7	Cambio en esfuerzo pesquero por área de pesca.	Tasa de Cambio en Producción (%ton/año).
Pérdida de infraestructura costera.	UI4	Pérdida de infraestructura por evento meteorológico.	Millones de pesos por pérdidas de Infraestructura /evento meteorológico.
Gasto público para desarrollo turístico costeros.	UI4	% Gasto público destinado al desarrollo turístico costero.	% de inversión para desarrollo turístico en la costa /gasto público total para desarrollo.
Gasto del FONDEN.	GP1	Incremento en el gasto FONDEN por municipio.	Millones de pesos por evento.
Gasto Investigación y procesos de adaptaciones al cambio climático.	GP2	% del gasto público a acciones de cambio climático.	% presupuesto de gasto público (millones de pesos/año).

Tabla 15 . Indicadores de cambio climático (habitantes y patrimonio).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del Indicador	Medición (Variables, Fórmulas, Unidades, etc.)
Zonas Arqueológicas	HPC1	Perdidas de sitios por evento meteorológico extremo	Número de sitios por municipio, numero de eventos meteorológicos extremos
Pueblos Mágicos	HPC2	Pérdidas de sitios por evento meteorológico extremo	Número de sitios por municipio, numero de eventos meteorológicos extremos
Monumentos	HPC3	Pérdidas de sitios por evento meteorológico extremo	Número de sitios por municipio, numero de eventos meteorológicos extremos
Espacios Públicos	HPC4	Pérdidas\ de sitios por evento meteorológico extremo	Número de sitios por municipio, numero de eventos meteorológicos extremos
Gasto Público destinado a recuperación de Patrimonio cultural en zonas costeras	HPC4	% de Gasto Publico destinado a recuperación de patrimonios culturales	Gasto público total, gasto en recuperación de patrimonios culturales
Pérdidas Humanas	HMDH4	pérdida de vidas humanas por evento meteorológico	No. Personas/evento

Indicadores de cambio climático (gobernanza)

Son nueve los indicadores referentes a la gobernanza que interesan para cambio climático. Tres se refieren a leyes y básicamente son de índole nacional, es muy probable que en los próximos años más municipios costeros vayan a contar legislación particular, especialmente aquellos que han sufrido desastres por eventos meteorológicos. Asimismo los seis indicadores de planes y programas y el de organización ciudadanas dedicadas a temas de cambios climáticos y prevención del riesgo, disponibles a nivel municipal, especialmente en los municipios con mayor población, con infraestructura portuaria y turística (tabla 16).

Indicadores de cambio climático (recursos humanos)

De los siete indicadores propuestos cuatro son de educación formal, uno de educación informal y dos de investigación. Estos indicadores requieren de investigaciones puntuales de las bases de datos del CONACYT para calcularlos a nivel nacional y de las universidades y centros de investigación para cálculos regionales, o locales (tabla 17).

Conclusiones

Se ha logrado construir una propuesta de indicadores para medir el impacto del cambio climático en las zonas costeras y marinas de México considerando la dimensión de la sustentabilidad.

La posibilidad de medir esta serie de indicadores de manera periódica y en diferentes escalas espaciales, permitirá tener una evaluación del estado que guardan las zonas costeras y marinas de México; podrá contribuir al seguimiento de estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático; pudiera disminuir el riesgo y la vulnerabilidad y ayudará a mantener informada a la población en general y especialmente en la gobernanza local (Holman, 2009).

La propuesta que aquí se ha descrito tiene un carácter general y por supuesto no es única, sin embargo se ha considerado como la línea básica de información necesaria para poder conocer el impacto real del fenómeno del cambio climático en el país.

Una vez cuantificados estos indicadores será posible elaborar índices compuestos que permitan a las autoridades, usuarios y público en general dar seguimiento al fenómeno del cambio climático y la manera que este puede impactar comunidades, municipios, estados y todo el país, de una manera sistemática y de fácil comprensión.

Tabla 16 . Indicadores de cambio climático (gobernanza).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Leyes y reglamentos asociados con cambio climático.	GIL1	Proporción de leyes estatales y/o reglamentos municipales que contemplen los posibles efectos del cambio climático.	Número de leyes estatales y/o reglamentos municipales que contemplen los posibles efectos del cambio climático sobre el total existentes.
Instituciones gubernamentales que tengan injerencia o facultades sobre zonas costeras y marinas.	GIL2	Proporción de Instituciones que tengan injerencia o facultades sobre algunos aspectos que puedan incidir en las zonas marinas y costeras.	Número de instituciones con injerencia o facultades en zonas costeras y marinas sobre el total de instituciones.
Comisiones específicas en los congresos locales.	GIL3	Proporción de Comisiones específicas en los congresos locales.	Número de comisiones municipales sobre el total.
NOM orientados a reglamentar actividades que impactan al ambiente costero-marino.	GIL4	Proporción de las NOM orientados a reglamentar actividades que impactan al ambiente costero-marino del total existentes.	Número de NOM.
Programa Estatal de Cambio Climático.	GPPAI1	% de acciones instrumentadas del Programa Estatal de Cambio Climático.	Programa concluido y numero de acciones propuestas, numero de acciones instrumentadas.
Programas municipales de prevención de riesgo.	GPPAI2	% de acciones instrumentadas en los programas municipales de prevención de riesgo.	Programa concluido y numero de acciones propuestas, número de acciones instrumentadas.
Organizaciones dedicadas al cambio climático.	GOS1	% de organizaciones sociales dedicadas al cambio climático sobre el total.	Número de organizaciones sociales por municipio.
Procesos de participación pública.	GPPT1	% de procesos de participación pública en temática de cambio climático sobre el total de proceso.	Número de procesos de participación pública, numero de procesos por temática.
Representatividad ciudadana en MIA y OET.	GPPT2	% de participantes en consultas públicas de MIA y OET sobre el total de la población municipal.	Número de MIA y OET, población total y número de asistentes.

Tabla 17 . Indicadores de cambio climático (recursos humanos).

Nombre Propuesto del Indicador (Clasificación DPSR)	Código	Descripción del indicador	Medición (variables, fórmulas, unidades, etc.)
Profesionistas que de manera curricular aborden el tema del cambio climático.	FREF1	% de profesionistas que aborden temática sobre el total de profesionistas por estado.	Número de profesionistas egresados por institución, numero de curricula que aborden el tema cambio climático.
Profesionistas que trabajan en instituciones gubernamentales en temática de cambio climático o en MIZC.	FREF3	% Profesionistas que trabajan por institución gubernamental sobre cambio climático o en MIZC.	Número de profesionistas, numero de instancias gubernamentales.
Profesionistas que trabajan en consultorías y empresas en temática de cambio climático o en MIZC.	FREF4	% Profesionistas que trabajan por consultorías y empresas sobre cambio climático o en MIZC.	Número de profesionistas, numero de consultorías y empresas sobre los temas.
Profesionistas que trabajan en SCO en temática de cambio climático o en MIZC.	FREF5	% Profesionistas que trabajan para SCO sobre cambio climático o en MIZC.	Número de profesionistas, numero de SCO sobre los temas.
Programas en medios con temática de cambio climático y MIZC.	FREI1	numero de programas que aborden cambio climático o MIZC en radio, televisión y prensa sobre el total de programas .	Número de programas en medio, numero de programas con temática.
Investigaciones con temas de cambio climático.	FRI1	% investigaciones con temática cambio climático sobre el total.	Número de investigaciones y temática.
Publicaciones con temas de cambio climático.	FRI3	% Publicaciones con temática cambio climático sobre el total.	Número de publicaciones y temática.

Literatura citada

Alvarado Aguilar D., 2000. Indicadores ambientales para la definición de áreas con potencial de conservación en la zona costera. Tesis de Maestría en Ciencias en Oceanografía Costera, FCM-UABC.

Arredondo García, M.C., J.L. Fermán Almada, A. García Gastelum, G. Seingier, I. Espejel Carbajal, J.C. Ramírez Acevedo, 2005. Modelo de planificación ambiental del desarrollo turístico. *Aula y Ambiente,* 5(9/10): 117-131.

Arredondo García M. C., 2006. Modelo multiescalar de indicadores como herramienta para la planificación ambiental en la región del Golfo de California. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Marinas-IIO, UABC. 121 pp + Anexos

Arredondo García M. C., Ramírez J.C., I. Espejel, A. García y J.L. Ferman, 2007. Ordenamiento ecologico regional del corredor Puertecitos Bahía de los Ángeles-paralelo 28, BC. Secretaria de Protección al ambiente. http://www.bajacalifornia.gob.mx/spa/ ordenamiento_ecologico/Modelo/modelo.htm.

Atlas Estatal Digital. Gobierno de Chiapas, 2006. Atlas Nacional de Riesgos. http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/metadataexplorer/Presentaciones/2006/CHIAPAS.pdfhttp://www.atlasdepeligros.chiapas.gob.mm.

Ayuntamiento de Manzanillo- Secretaría de Desarrollo Social, 2004. Estudio Integral del Atlas de Riesgos para Manzanillo. Colima 2004. http://www.manzanillourbano.com/archivos/Estudio%20Integral%20del%20Atlas%20de%20Riesgos%20para%20Manzanillo.pdf.

Azuz-Adeath, I., 2002. Gross Approximation on the Erosive Vulnerability along the Mexican Coast. Littoral 2002. The Changing Coast, EUCC/EUROCOAST Porto-Portugal, Proceedings Vol. II, p. 445-451.

Azuz-Adeath, I. y E. Rivera-Arriaga, 2009. Descripción de la dinámica poblacional en la zona costera mexicana durante el periodo 2000-2005. *Papeles de Población*, 62(15): 75-107.

Barrera-Roldan A., y A. Saldivar-Valdes, 2002. Proposal and application of a sustainable development index. *Ecological Indicators,* 2(3):251-256.

Belfiore, S., M. Balgos, B. McLean, J. Galofre, M. Blaydes, y D. Tesch, 2003. A Reference Guide on the Use of Indicators for Integrated Coastal Management. Intergovernmental Oceanographic Commission-UNESCO, París, 136 p.

Bojórquez-Tapia, L. (1993). Sustainability assessment for coastal development projects in Mexico. *In*: Fermán Almada, L.Gómez-Morin Fuentes, D.W. Fischer (Eds.). Coastal Management in México: The Baja California Experience. Coastlines of The World Series, O. Magoon (SeriesEd.). American Society of Civil Engineers (ASCE), New York, N.Y. 94-108.

Bojórquez-Tapia, L.A., S. Díaz, y R. Saunier, 1997. Ordenamiento ecológico de la costa norte de Nayrít. OEA-UNAM, México, D.F.

Bringas-Rábago N., 2002. Baja California and California's Merging Tourist Corridors: The Influence of Mexican Government Policies. *The Journal of Environment & Development*, 11 (3): 267-296

Cendrero, A., 1989a. Mapping and Evaluation of Coastal Areas for Planning. *Ocean and Shoreline Management,* 12:427-462

Cendrero, A., 1989b. Land-use problems, planning and management in the coastal zone: An introduction. *Ocean and Shoreline Management*, 12(5-6): 367-381

Cendrero, A., E. Frances y J,R, Dial de Teran, 1992. Geoenvironmental units as a basis for the assessment, regulation and management of the Earth's surface. p. 199-234. *In*: A. Cendrero, G. Luttig and F.C. Wolff (eds.). Planning the use ofthe Earth's surface, Springer Verlag, Berlin -N. York:199-234.

Cendrero U.A., 1997. Indicadores de desarrollo sostenible para la toma de decisiones. *Naturzale*, 12:5-25.

Cendrero, A., y D.W. Fischer, 1997. Toward the development of a procedure for determining and monitoring the environmental quality of coastal areas for planning and management. *Journal of Coastal Research,* 13(3):732-744.

Cendrero, A., E. Francés , D. Del Corral, J.L. Fermán , D. Fischer, L. Del Río , M. Camino y A. López, 2003. Indicators and indices of environmental quality for sustainability assessment in xoastal areas: Application to case studies in Europe and the Americas. *Journal of Coastal Research,* 19(4): 919-933.

Centro Regional de Investigación en Salud Pública (CRISP). OMS-VRAM, 2009. Metodología para la preparación del mapa de distribución de peligros sísmicos. E-Atlas de la OMS para riesgos de desastres ejemplo de aplicación en México Volumen 1: la exposición a los peligros naturales. Instituto Nacional de Salud Pública. (Vulnerability and Risk Analisys and Mapping).

Cervantes, O., I. Espejel, E. Arrellano, y S. Delhumeau, 2008. Users' perception as a tool to improve beach planning and management. *Environmental Management,* 42: 249-264

Cervantes O., y I. Espejel, 2008. A Model for the evaluation of recreational beaches: Its application in Mexico, Brazil, and the United States. *Ocean and Coastal Management*, 51:410-419

Cicin-Sain, B., y R.W. Knecht, 1998. Integrated Coastal and Ocean Management. Concepts and Practices. Island Press, Washington, 517 p.

Cicin-Sain, B., D. VanderZwaag, y M.C. Balgos, 2005. Integrated National and Regional Ocean Policies: Comparative Practices and Future Prospects. Ocean Policy Summit, Lisbon, Portugal, 2005.

DOF, 2006. Decreto del Ordenamiento Ecológico Marinos del Golfo de California. Noviembre. 70p.

EEA, 1996. Europe´s Environment. The Dobris Report. European Environment Agency. [http://www.eea.europa.eu/publications/92-828-3351-8]

EEA, 1998. Europe´s Environment. The second assessment. European Environment Agency. [http://www.eea.europa.eu/publications/92-828-3351-8]

EEA, 2003. Europe´s Environment. The third assessment. European Environment Agency. [http://www.eea.europa.eu/publications/92-828-3351-8]

EEA, 2006. The Changing Faces of Europe´s Coastal Areas. EEA Report No. 6, European Environment Agency, 112 pp.

EEA, 2007). Europe´s Environment. The fourth assessment. European Environment Agency. [http://www.eea.europa.eu/publications/92-828-3351-8]

EEA, 2008). EEA Signals 2009. Key Environmental Issues Facing Europe. European Environment Agengy. 40 pp.

Espejel, I. C. Leyva, A. Espinoza, R. Martínez, G. Arámburo, H. Riemann, Y. Cruz, S. Bullock, y T. Mendoza, 2006. Estrategias metodológicas para el manejo de la costera: Área de Protección de Flora y Fauna Valle de los Cirios. p. 737-752. En: P. Moreno Casasola, E. Perezbarbosa y C. Travieso. (eds.). Manejo Integral de la Zona Costera; Un Enfoque Municipal. Gobierno del Estado de Veracruz e Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz.

Espejel, I., D. W. Fischer, C. García, A. Hinojosa, y C. Leyva, 1999. Land-Use planning for the Guadalupe Valley, Baja California, Mexico. *Landscape and Urban Planning,* 45(4):219-232.

Espejel, I., G. Aramburo, C. Leyva, Y. Cruz, L.C. Bravo, y J. D. Flores, 2001. Coastal management in the Mediterranean type of vegetation in Baja California Mexico. Medcoast. p. 143-152. *In*: E. Ozhan (ed). Proceedings of the Fifth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment.

Espejel, I. B. Ahumada, Y. Cruz, y A. Heredia, 2004. Coastal vegetation as indicators for conservation. 297-318. *In:* M. Martínez, N. Psuty & R. Lubke (eds). Coastal Sand Dunes: Ecology and Restoration. Springer. (171)18.

Espejel I. C. León, J.L. Fermán, G. Bocco. F. Rosete, B. Graizbord, A. Castellanos, O. Arizpe, y G. Rodríguez, 2004. Planeación del uso del suelo en la región costera del Golfo de California y Pacifico Norte de México. p. 321-340. En: E. Arriaga Rivera *et al.* (eds.) El Manejo Costero en México. Epomex, Semarnat, CETYS-Universidad, Univ. de Quintana Roo.

Espejel. I. , C. Arredondo, A. García, A. Espinoza, y G. Montaño, 2007. Esquema de Monitorización del desarrollo sustentable en la zona costera del noroeste de México. p. 161-14. En: I. Azuz (ed.). Infraestructura y Desarrollo Sustentable. CETYS-Universidad.

Espejel, I., A. Espinoza-Tenorio, O. Cervantes, I. Popoca, A. Mejia, y S. Delhumeau, 2007. Proposal for an integrated risk index for the planning of recreational beaches: use at seven Mexican arid sites. p. 47-51. In: Proceedings. International Coastal Symposium. Queensland Australia. Journal of Coastal Research. Special Issue.

Escofet A., e I. Espejel, 2004. Geographic indicators of coastal orientation and large marine ecosystems: alternative basis for management-oriented cross-national comparisons. *Coastal Management,* 32: 117-128.

Euan,Avila J. A. García de Fuentes, y M. A. Liceaga, 2007. Programa de ordenamiento ecológicos del territorio costero del Estado de Yucatán. 41 p.

Fermán Almada, L.Gómez-Morin Fuentes, y D.W. Fischer (eds.), (1993). Coastal Management in México: The Baja California Experience. Coastlines of The World Series, O. Magoon (SeriesEd.). American Society of Civil Engineers (ASCE), New York, N.Y.

Fermán-Almada J. L., 1994. Programa de Manejo Integrado de la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Tesis de Maestría. UABC. Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada BC.

Fermán Almada, J. L. A. Varela Romero, A. Cruz Varela, L. Gómez-Morín Fuentes, D. W. Fischer, A. Escofet, e I. Espejel,1997. A methodology for developing a management program for protected area: the Biosphere reserve of the Upper California Gulf and Colorado River Delta. p. 600-622. In: O. Magoon (Series ed.). California and the World Ocean'97. Vol. 1. American Society of Civil Engineers. ASCE. 600-622.

Fermán-Almada J. L., 2005. Ordenamiento del Golfo de California. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Marinas. UABC.

Frausto, O., T. Ihl, J. Rojas, S. Goldacker, G. Chale, S. Giese, J. Wurl, P. Careaga, y R. Bacab, 2006. Áreas susceptibles de riesgo en localidades de pobreza extrema en el sur de Yucatán. *Teorías y Praxis,* (2): 87-103).

Gabriel Morales J., y J. L. Pérez Damián, 2006. Crecimiento poblacional e instrumentos para la regulación ambiental de los asentamientos humanos en los municipios costeros de México. *Gaceta Ecológica,* 79:57-77.

García Gastelum, A., J.L. Fermán Almada, M.C. Arredondo García, L.A. Galindo Bect, G. Seingier, y A. Cruz Varela, 2005. Modelo de planeación ambiental de la zona costera a partir de indicadores ambientales. *Sapiens*, 6(2): 9-24. .

Garcia Gastelum, A., 2006. Modelo regional de vulnerabilidad costera. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Marinas-IIO, UABC. 102 pp + Anexos

Gómez-Morín, L. J.L. Fermán Almada, A. Escofet., I. Espejel, y G. Aramburo, 1993a. Ordenamiento Ecologico del Corredor Costero Tijuana-Ensenada. Informe técnico Final. Semarnat.

Gómez-Morin F. L., y L.A. Bojórquez-Tapia, 1993b. Environmental planning in Baja California, México: A methodological approach. p. 109-118. *In*: J.L. Fermán Almada, L. Gómez-Morin Fuentes, and D.W. Fischer (eds.) Coastal Management in México: The Baja California Experience. Coastlines of The World Series, O. Magoon (Series Ed.). ASCE, New York, N.Y.

Gómez-Morín F. L., 1994. Marco Conceptual y Metodológico para la Planificación ambiental del Desarrollo Costero en México: La Experiencia de Baja California, Tesis de Maestría. UABC. Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada BC.

Gómez-Orea, D., 1994. Ordenación del territorio. Una aproximación desde el Medio Físico. ITGE-. Madrid. 238 p.

Gutiérrez de MacGregor, M.T., y J. González Sánchez, 1999. Las costas mexicanas y su crecimiento urbano. *Investigaciones Geográficas,* 40:110-126.

Hernández, C. M. E., T. L. A. Torres, y M.G. Valdez, 2000. Sequía Meteorológica. p. 25-40. En: C. Gay (comp.) México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país, coordinados por el INE con el apoyo del US Country Studies Program, México: INE, Semarnap, UNAM, US Country Studies Program.

Holman N., 2009. Incorporating local sustainability indicators into structures of local governance: a review of the literature. *Local Environmental*, 14(4): 365-375.

IOC-UNESCO, 2006. A Handbook for Measuring the Progress and Outcomes of Integrated Coastal and Ocean Management. IOC Manuals and Guides, 46; ICAM Dossier, 2. Paris, UNESCO.

IPCC, 1990. First Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-FAR). [http://www.ipcc.ch]

IPCC, 1995. Second Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-SAR). [http://www.ipcc.ch]

IPCC, 2001. Third Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-TAR). [http://www.ipcc.ch]

IPCC, 2007. Fourth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-FAR). [http://www.ipcc.ch]

Juárez, M. C., 2000. Los niveles de asimilación económica de la región costera de México. *Investigaciones Geográficas,* 43: 167-182.

Juárez Gutierrez M.C., L. Iñiguez Rojas, y M.A. Sanchez Celada, 2006. Niveles de riesgos social frente desastres natualres de la Riviera mexicana. *Investigaciones Geográficas,* 61:75-88.

Kay, R., y J. Alder, 2005. Coastal Planning and Management. Taylor & Francis, London and New York, 380 p.

Meadowcroft, J., 2000. Sustainable Development: A New(ish) Idea for a New Century? *Political Studies*, 48: 370–387.

Múgica, F. J., M. García-Rendón, y F. Rosete, 2000. El ordenamiento ecológico de las zonas costeras de México. Caso de la costa de Tamaulipas. p. 295-327. En: Primer Congreso Nacional de Ordenamiento Ecológico del Territorio. Semarnap, Universidad de Guadalajara y PNUD.

UN-CSD, 2001. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. United Nations, Commission on Sustainable Development (UN-CSD), New York, 320 p.

OCDE, 1993. OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews, A synthesis report by the Group on the State of the Environment. Environmental Monograph # 83,Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.

Padilla y Sotelo, S., 2000. La población en la región costera de México en la Segunda mitad del siglo XX. *Investigaciones Geográficas,* 41: 81-94. .

Popoca Arellano I.E., 2006. Evaluación integrada de las playas recreativas de Loreto y Nopoló, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, FC-UABC.96 p.

Ramírez Acevedo J. C., 2005. Sistema experto para el ordenamiento ecológico marinos de Golfo de California. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. UABC.

Ramsey, J., S. Ebener, R. Lozano, M. Casas, A. Orozco, y J. Pinto, 2009. Atlas de peligros y vulnerabilidad social para desastres en la República Mexicana. Sistema de Información para la Prevención de Desastres Chiapas (http://200.23.34.73/). Seminario Gestión de Riesgos por Inundaciones a tres años del huracán Stan en Chiapas, 29-30 de Enero 2009. Tapachula, Chiapas http://200.23.34.73/ponencias/viernes/atlas.pdf .

Rodríguez Ramírez A.E., 2007. Evaluación de la Sustentabilidad costero terrestre a través de indicadores en la Bahía San Francisco en Guaymas, Sonora. Tesis de Maestría Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, FC-UABC. 56 p.

Rivas, V. K. Rix, E. Frances, A. Cendrero, y D. Brunsdena, 1997. Geomorphological indicators for environmental impact assessment: consumable and non-consumable geomorphological resources. *Geomorphology*, 18(3-4): 169-182.

Rivera-Arriaga, E., G. Villalobos Zapata, R. León, O. López Chan, M. Arjona, J. Paredes, T. Saavedra, G. Palacio Aponte, G. Borges, M. González, J. Ramos Miranda, D. Flores Hernández, y I. Espejel, 2006. Estudio de zonas con litoral para el estado de Campeche, Proyecto Sedesol-Gob. Edo. Campeche, 658 p.

Sara-Gutiérrez, C. , A. Iturbe-Posadas, P. Salles- Alonso, y R. Silva-Casarín, 2007. Atlas de riesgo oceanográfico del estado de Quintana Roo. Universidad de Quintana Roo-UNAM. http://200.23.34.73/novedades/Atlasderiesgooceanografico_ver2.0.pdf

Seingier G., I. Espejel y J. L. Fermán Almada, 2009. Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. *Investigación Ambiental y Política Pública*, 1(1):

Soto, j., L. Sevilla, D. Corral, E. Francés, A. Cendrero, A. Fabbri, M. Paniza, J.L. Fermán, C. Quintana, E. Latrubesse, M. Cantú, y D. González, 2000. Índice de calidad ambiental y salud (Proyecto Elanem). Boletín de la Sociedad Española de Hidrología Médica, 15:27-34.

UN, 1992. United Nation Convention on Climate Change. [http://www.un.org]

UN, 1998. Kyoto Protocole to the United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations, 21 pp. [http://www.un.org]

UNEP, 1989. Report of the Executive Director of the United Nations Environment Programme to the First Meeting of the Parties to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. United Nations Environment Programme (UNEP). 35 p.

Van Buuren, J., T. Smit, G. Poot, A. van Elteren, O. Kamp, y A. Kunitzer, 2002. Testing of indicators for the marine and coastal environment in Europe Part 1: Eutrophication and integrated coastal zone management. European Environment Agency, Copenhagen. 49 p.

Vidal, L., 2010. Análisis de capacidad de gestión ambiental ante el cambio climático en instrumentos de planeación de la costa de Quintana Roo. p. 789-810. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche-Gual y G. Villalobos-Zapata (eds) El Cambio Climático en México. Un enfoque costero-marino. Universidad Autónoma de Campeche. CETYS-Universidad, Gob. estado de Campeche. 944 p.

Winograd, M., N Fernández, y RM Franco, 1995. Marco conceptual para el fesarrollo y uso de indicadores ambientales y de sustentabilidad para toma de decisiones en Latinoamerica y el Caribe. Documento para Discusión Taller Regional sobre Uso y Desarrollo de Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad.PNUMA - CIAT. México D.F., México,: 22. http://www.unep.org

Cambio climático en México: un enfoque costero y marino

Se realizó en el Departamento de Difusión y Publicaciones
del Centro EPOMEX-Universidad Autónoma de Campeche.
Composición, diseño y proceso editorial a cargo de Jorge Gutiérrez Lara
Diseño de la cubierta a cargo de Juan Manuel Matú

Se termino de imprimir en el mes de diciembre
en los talleres gráficos de SyG Editores, SA. de CV
Se tiraron 1 000 ejemplares más sobrantes por reposición

“ COLECCIÓN BICENTENARIO CAMPECHE SOLIDARIO ”

Conocer y comprender de manera adecuada las escalas espaciales y temporales en las que ocurren los fenómenos y procesos que condicionan la evolución de los litorales mexicanos, es un requisito fundamental para llevar a cabo su gestión y para realizar una planeación adecuada.

El libro que aquí se presenta, habla de conocimientos que permean a través de escalas generacionales, habla del hoy y del mañana; deja asentado la profunda preocupación de los estudiosos actuales de la zona costera por cambios a escala global, que trascenderán su existencia y que normarán el actuar de las generaciones futuras.

A lo largo de los años, la frágil región costera del país, se ha visto sometida a un sinnúmero de presiones e impactos: contaminación, alteración del paisaje natural, crecimiento urbano no planificado, erosión costera, sobreexplotación y/o agotamiento de sus recursos naturales, modificaciones de sus funciones ambientales, etc. Sin embargo, nunca como ahora los efectos del cambio climático podrían magnificar estos procesos, y conducir al deterioro acelerado de las regiones más valiosas del país.

La zona costera es un escenario de complejidad social, donde marginación y exceso conviven cotidianamente. Los fenómenos naturales o los asociados al desarrollo humano, generan de manera periódica o episódica condiciones de riesgo y en muchas ocasiones desastres, poniendo de manifiesto la vulnerabilidad inherente a estos espacios únicos. El cambio climático está incrementando los niveles de riesgo de todas las zonas costeras, sin distinguir o reconocer diferencias de ningún tipo.

El cambio climático plantea el mayor reto hasta ahora vivido por la humanidad y en particular para la zona costera. Es ahí donde el manejo costero integrado plantea la visión multidisciplinaria y de largo plazo adecuada para abordar ese reto. El proceso del desarrollo sostenible de los recursos y espacios costeros con el objetivo de mejorar la calidad de vida de sus pobladores, se debe dar día a día, para lo cual es indispensable la articulación gubernamental y social, la participación de todos los actores y usuarios y el avance continuo del conocimiento científico y técnico.

Esta obra es un manifiesto de nuestra generación para las generaciones futuras, en el que se expresa no tan solo el conocimiento actual que se tiene sobre la zona costera y la necesidad de transmitirlo a los tomadores de decisiones, actores y usuarios; sino que intenta llamar la atención sobre el efecto a largo plazo que tendrá el cambio climático en su dinámica (económica, social y ambiental). En la medida en que nuestros hijos o los hijos de nuestros hijos sepan apreciar este esfuerzo y puedan tomar decisiones mejor informados, los editores y autores estaremos satisfechos por esta llamada de atención hecha –creemos- a tiempo.

ISBN 9778-607-7887-20-1