RESILIENCIA DE SOCIOECOSISTEMAS COSTEROS

V. Sophie Ávila Foucat
Ileana Espejel
Coordinadoras

RESILIENCIA DE SOCIOECOSISTEMAS COSTEROS

V. Sophie Ávila Foucat
Ileana Espejel
Coordinadoras

UNAM La Universidad de la Nación
Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera
dgapa

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Dr. Enrique Graue Wiechers
Rector
Dr. Leonardo Lomelí Vanegas
Secretario General
Dr. Luis Agustín Álvarez Icaza Longoria
Secretario Administrativo
Dra. Guadalupe Valencia García
Coordinadora de Humanidades

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS
Dr. Armando Sánchez Vargas
Director
Dra. Isalia Nava Bolaños
Secretaria Académica
Ing. Patricia Llanas Oliva
Secretaria Técnica
Mtra. Graciela Reynoso Rivas
Jefa del Departamento de Ediciones

FACULTAD DE CIENCIAS
Dra. Catalina Elizabeth Stern Forgach
Directora
Mat. María Guadalupe Lucio Gómez-Maqueo
Secretaria General
Mtro. Carlos Augusto Plancarte Morales
Secretario Administrativo
Dr. Carlos Rosas Vázquez
Coordinador General de la UMDI Sisal

AVISO LEGAL

Resiliencia de socioecosistemas costeros.

V. Sophie Ávila Foucat e Ileana Espejel (coordinadoras).

Primera edición electrónica en formato pdf: Abril 2020

© D.R. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Ciudad Universitaria, Coyoacán,
04510, Ciudad de México.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS
Circuito Mario de la Cueva s/n,
Ciudad de la Investigación en Humanidades,
Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510,
Ciudad de México.
FACULTAD DE CIENCIAS
Circuito Mario de la Cueva s/n,
Ciudad de la Investigación en Humanidades,
Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510,
Ciudad de México.

ISBN: 978-607-30-3164-6

Proyecto PAPIIT IN301516: "Resilencia de socio-ecosistemas ante huracanes: el caso de las comunidades rurales de la costa de Oaxaca". Proyecto ANR-Conacyt- 290832: "Trayectorias socioecológicas en cuencas: enfrentando complejidad y vulnerabilidad en el contexto de cambio climático".
Proyecto CONACYT-000000000293354: "Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera".

Esta edición de un ejemplar (9.54 Mb) fue realizada por el Departamento de Ediciones del Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM. La edición estuvo a cargo de Graciela Reynoso Rivas. Fotografía y diseño de portada: Gabriela Calero Cervera.

La edición impresa de este texto fue publicada por el Instituto de Investigaciones Económicas de la Universidad Nacional Autónoma de México en 2020.
Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin autorización escrita del legítimo titular de derechos.

Hecho en México.

ÍNDICE

PRÓLOGO 10
Alonso Aguilar Ibarra

INTRODUCCIÓN 13
V. Sophie Ávila Foucat, Ileana Espejel y Paulo Salles

CAPÍTULO 1 21
Construcción de socioecosistemas costeros y retos para medir su resiliencia
Laura E. Vidal Hernández, V. Sophie Ávila Foucat, A. Minerva Arce Ibarra, Cristian Tovilla Hernández y Armando Carmona Escalante

CAPÍTULO 2 51
Estresores de los socioecosistemas costeros y variables para su medición
Gabriela Rodríguez Fuentes, Mariana Reyna Fabián, Rosario Pérez Espejo, Oscar A. Jiménez Orocio, V. Sophie Ávila Foucat e Ileana Espejel

CAPÍTULO 3 81
Los umbrales en los socioecosistemas costeros
Alejandro Espinoza Tenorio, César Vázquez González, José Alberto Zepeda Domínguez, Mariana Reyna Fabián, Omar Cervantes, Laura Vidal Hernández, Karina Esqueda Lara, Ileana Espejel y Armando Carmona Escalante

CAPÍTULO 4 119
Interacciones a diferentes escalas espaciotemporales en socioecosistemas costeros
Vera Camacho Valdez, Federico Morales Barragán, Edgar Torres Irineo y Andrea Sáenz Arroyo

CAPÍTULO 5 134
Trayectoria de los socioecosistemas costeros
V. Sophie Ávila Foucat, Alec Torres Freyermuth, Karina Esqueda Lara, Gabriela Medellín Mayoral, Uberto Salgado Nieto, Cristina González Quintero, Alejandra Ramírez León y Mariana Reyna Fabián

CONCLUSIONES 168
V. Sophie Ávila Foucat, Ileana Espejel, Alec Torres Freyermuth y Paulo Salles

AUTORES 172

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 26
Representación de socioecosistemas.

Figura 1.2 29
Servicios ecosistémicos proporcionados por ecosistemas y hábitat costero-marinos.

Figura 2.1 54
Modelo de estresor-exposición-respuesta de la EPA [1998, 1992, 2018] para estudios de riesgo ante desastres adaptado a las zonas costeras.

Figura 2.2 55
Interrelaciones de estresores, la pérdida de servicios ecosistémicos y las consecuencias en la salud y bienestar de los humanos.

Figura 3.1 85
Esquema de la redefinición de los umbrales en un socioecosistema de acuerdo con la capacidad de fluctuar de una o dos variables clave ante diferentes tipos de cambios.

Figura 3.2 95
Tipos de impactos derivados de múltiples actividades.

Figura 4.1 122
Esquema de las interacciones entre las diferentes escalas y niveles en un socioecosistema.

Figura 5.1 137
Tipos de trayectorias.

Figura 5.2 158
Porcentaje de la población en pobreza 2010-2016.

Figura 5.3 159
Indicadores para medir el índice de marginación por entidad federativa y municipio, 2010.

ÍNDICE DE TABLAS Y APÉNDICES

Tabla 1.1 40
Condición de la información sobre algunas de las variables de segundo nivel según Ostrom [2009] en socioecosistemas de pesca comercial y servicios recreativos en la península de Yucatán.

Tabla 2.1 56
Tipos de estresores o shocks, útiles para modelación de resiliencia de sistemas acoplados o socioecosistemas.

Tabla 2.2 61
Listado de variables de estresores identificados en la literatura de zonas costeras.

Apéndice 2.1 77
Literatura revisada con datos para identificación de estresores en sistemas de dunas costeras de México.

Apéndice 2.2 78
Literatura revisada con datos para identificación de estresores en sistemas arrecifales de México.

Tabla 3.1 87
Algunos principios para la resiliencia de un socioecosistema que influyen sus umbrales.

Tabla 3.2 91
Umbrales en socioecosistemas costeros.

Tabla 3.3 105
Capitales como indicadores de umbrales.

Tabla 4.1 123
Distinción entre escalas y niveles.

Tabla 5.1 157
Definiciones de pobreza del Coneval, 2019.

ÍNDICE DE RECUADROS

Recuadro 1.1 31
Manejo y uso de ecosistemas costeros basados en derechos: de recursos abiertos a derechos utilizados por las comunidades.

Recuadro 1.2 33
Socioecosistemas costeros del bosque de mangle del Pacífico Sur de México.

Recuadro 1.3 34
Socioecosistema del puerto de Sisal, Yucatán, basado en la actividad pesquera y turística.

Recuadro 1.4 42
Socioecosistemas costeros y resiliencia en comunidades costeras de Oaxaca.

Recuadro 2.1 58
Estresores exógenos identificados para las dunas costeras de México.

Recuadro 2.2 64
Estresores identificados en sistemas arrecifales mexicanos.

Recuadro 3.1 88
Capacidad de carga en la acuicultura.

Recuadro 3.2 92
Umbrales y capacidad de carga en el puerto de Sisal, Yucatán.

Recuadro 3.3 98
Umbral térmico de blanqueamiento en los corales.

Recuadro 3.4 101
Compresión costera y las dunas costeras, umbral de presión antropogénica ante su capacidad de adaptación y resiliencia.

Recuadro 4.1 127
Sistema de servicios ecosistémicos en el delta del Usumacinta.

Recuadro 4.2 129
Operaciones de pesca y estrategias adaptativas de pescadores artesanales.

Recuadro 5.1 139
Trayectoria temporal de usos y manejo de un espacio geográfico en la península de Baja California.

Recuadro 5.2 144
Resiliencia socioecológica a nivel hogar: un caso de estudio en la costa de Oaxaca, México.

Recuadro 5.3 146
Trayectoria de la gobernanza del ecoturismo comunitario en ecosistemas costeros.

Recuadro 5.4 149
Trayectoria de la playa de Sisal, Yucatán.

PRÓLOGO

Alonso Aguilar Ibarra

Los sistemas costeros representan la interacción de la sociedad con la naturaleza de una manera compleja y fascinante debido a que son de gran importancia para el desarrollo económico, por un lado, y para los procesos naturales, por el otro. Así, por ejemplo, actividades económicas que son el motor de una región o un país se llevan a cabo gracias a la infraestructura portuaria, la cual permite el comercio internacional, así como la generación de proteína e ingresos gracias a la pesca y la acuicultura. Asimismo, otros sectores que son clave para la generación de ingresos en países como México, se desarrollan en estas áreas. Ejemplos de ello son el turismo y la extracción petrolera. En muchos países la mayor parte de la población vive en las costas.

Gran cantidad de procesos naturales aportan de manera directa e indirecta beneficios a la sociedad. Cuando estos son identificados como tales, se les conoce como servicios ecosistémicos e incluyen el almacenamiento de carbono, la regulación de clima, la protección contra tsunamis, entre otros. Asimismo proveen beneficios como turismo, alimentos e insumos para diversas actividades.

La importancia y estrechez de esta interacción sociedad-naturaleza son la causa de que los análisis ambientales recientes se refieran a ella como un socioecosistema. En efecto, este concepto entiende a la sociedad un elemento más del ecosistema y evita considerar al ambiente como algo

ajeno a los humanos. Así, los servicios ecosistémicos ya señalados generan estos beneficios que no siempre valora adecuadamente la sociedad. Además, las actividades económicas impactan en ellos y, a largo plazo, o de manera indirecta, los efectos pueden manifestarse en contra de la misma sociedad. Por ello, la idea de pensar que los procesos económicos y sociales están embebidos en el sistema natural es de una gran trascendencia para lograr el equilibrio que implica un desarrollo sostenible. Y este es precisamente el enfoque que se adopta en la presente obra.

Ahora bien, aceptar que los socioecosistemas son parte de un gran ecosistema que tiene límites definidos (el planeta Tierra), conduce a pensar que es preciso encontrar formas novedosas para analizar tanto los impactos como las adaptaciones y vulnerabilidades de estos. Así, es fundamental integrar conceptos de la ciencia ecológica a las instituciones humanas que permiten una comprensión más completa de la complejidad inherente de los socioecosistemas. Uno de estos conceptos es el de resiliencia.

El concepto de resiliencia aplicado a socioecosistemas es fascinante porque se puede explicar con la convergencia de dos ciencias: la ecología y la economía.

Desde el punto de vista de la ecología, la resiliencia tiene dos modos de definirse. Uno corresponde a la teoría ecológica clásica, por llamarla así, en la cual se asume que el ecosistema tiende a alcanzar un equilibrio o clímax. Entonces, cuando se presenta una perturbación en el ecosistema, la resiliencia se define como el tiempo de recuperación para regresar al equilibrio original. Otra definición fue propuesta por el ecólogo C. S. Holling a principios de la década de 1970, quien señalaba que no existe un equilibrio estable para los ecosistemas. Cuando hay una anomalía, el sistema entero puede cambiar hacia otro estado diferente: un proceso denominado histéresis ecológica. Entonces, Holling definió la resiliencia como "la magnitud de la perturbación que el sistema es capaz de absorber antes de cambiar a otro estado". En otras palabras, los ecosistemas (y por ende los socioecosistemas) están en constante cambio de creación-destrucción y muchas veces se generan sistemas diferentes a los originales.

Un ejemplo interesante de aplicación interdisciplinaria es la adopción por parte de Garry Peterson del concepto de resiliencia para explicar la ecología política de la pesquería de salmón en noreste del Pacífico. Este autor detalla cómo se crearon y destruyeron instituciones y tratados a raíz de la

sobreexplotación del salmón en las costas de Estados Unidos y Canadá, utilizando el marco conceptual de resiliencia ecológica de Holling.

¿Y qué es lo que haría que un socioecosistema fuera más resiliente o menos resiliente? La ciencia económica puede ayudar a responder esta pregunta. En efecto, la Teoría del Portafolio, propuesta por Harry M. Markowitz en 1952, plantea que la diversificación en activos financieros reduce el riesgo de pérdidas monetarias para el inversionista. En términos coloquiales, sería lo contrario a "poner todos los huevos en la misma canasta". Estas ideas fueron adaptadas en ecología para demostrar la importancia de la biodiversidad en la estabilidad de los ecosistemas, a lo que se denominó el "efecto biofolio": otro ejemplo de interdisciplina. Así, David Tillman, un ecólogo de plantas, demostró experimentalmente que a mayor biodiversidad, la varianza en el ecosistema será menor. En otras palabras, los ecosistemas con mayor biodiversidad serán más estables y más resistentes a las perturbaciones. Es decir, más resilientes.

Los párrafos anteriores son un ejemplo del potencial de análisis interdisciplinario que implica el estudio de la resiliencia. El debate no ha terminado. Podría aventurar a decir que, por el contrario, apenas comienza. Y qué mejor que encontrar elementos de aplicación a la gestión de los socioecosistemas, tal y como lo ofrece este libro coordinado por V. Sophie Ávila Foucat e Ileana Espejel, en el cual nos ofrecen los capítulos escritos por personas expertas en los temas de medición de indicadores y variables espaciotemporales para los socioecosistemas costeros. Una obra de vanguardia, desde el punto de vista tanto conceptual como práctico.

INTRODUCCIÓN

V. Sophie Ávila Foucat, Ileana Espejel
y Paulo Salles

Las zonas costeras tienen gran relevancia económica, cultural y ecológica en todo el mundo. Se estima que seiscientos millones de personas, cerca del 10 % de la población mundial, habitan en zonas costeras a menos de diez metros sobre el nivel del mar (msnm), y el 40 % vive en una franja de cien kilómetros a partir de la línea de costa [ONU, 2017]. Dicha población está repartida en pequeñas comunidades, pero principalmente aglomerada en grandes ciudades costeras, donde se desarrolla una gran diversidad de actividades económicas. El turismo, la pesca, la labor petrolera, así como las tareas aeroportuarias son algunos ejemplos de dichas actividades que convierten a las zonas costeras en centros económicos relevantes. Sin embargo, los estresores socioeconómicos y ambientales que atañen a las zonas costeras son múltiples y se acentúan debido a que esta franja territorial es la interfase entre el mar y la tierra, el fin último de las cuencas terrestres, cuya interacción dinámica de procesos terrestres y marinos da lugar a una diversidad de ecosistemas que proveen múltiples servicios ecosistémicos de: regulación (por ejemplo, protección de la infraestructura de costa), provisión (por ejemplo, alimentos y medicinas), cultura (por ejemplo, recreación, educación, investigación) y hábitat (por ejemplo, especies de importancia para la conservación).

México es especialmente importante en términos costeros porque es uno de los países con más costa de América [Escofet y Espejel, 2004];

cuenta con once mil kilómetros de litoral, en diecisiete entidades federativas, doscientos treinta y un mil, ochocientos trece kilómetros cuadrados de mar territorial y cerca de tres millones, ciento cuarenta y nueve mil, novecientos veinte kilómetros cuadrados de zona económica exclusiva [De la Lanza Espino, 2004] entre ambas vertientes oceánicas, es decir, 57 % más que su territorio continental. De manera normalizada, México es de los países con mayor línea de costa relativa a su superficie [Salles, 2003]. La zona costera es habitada por aproximadamente 15 % de la población del país; sin embargo, algunas de sus localidades presentan las mayores tasas de crecimiento poblacional (2.8 % en promedio) [Álvarez et al., 2015].

Los municipios costeros tienden a la urbanización representada por mayor concentración de la población y una tasa de crecimiento poblacional en constante aumento [Azuz y Rivera, 2007 y 2009], que llegó a 30 % entre el 2000 y el 2010. Esta tendencia está relacionada con el aumento de los trabajos productivos, principalmente del sector terciario, debido al turismo y las labores petroleras [Pérez y Santos, 2016]. En particular, se observa mayor diversidad de actividades y menor número de municipios que se especializan en el sector pesquero [Pérez y Santos, 2016]. Sin embargo, los efectos económicos de dichas actividades son muy heterogéneos a lo largo del país, cuyos municipios de marginación más alta están en el Pacífico Sur y el Golfo de México [Seingier, Espejel y Almada, 2009; Seingier et al., 2011a y b]. Los trabajos económicos como la pesca y el turismo no podrían desarrollarse sin hábitat diversos, por ejemplo sistemas arrecifales, dunas costeras, manglares y varios tipos de humedales costeros. El turismo sin paisajes costeros y comida de origen marino no generaría la misma derrama económica, es decir, depende de las playas y acantilados con vegetación bien conservada y agua limpia. Asimismo, las actividades portuarias pueden llevarse a cabo gracias a las condiciones geomorfológicas de las costas. Esto es, los servicios ecosistémicos que ofrecen las zonas costeras son insuperables.

Sin embargo, estos ecosistemas no están exentos de los estresores antropogénicos. El cambio de uso del suelo genera deforestación y fragmentación de los hábitat, tanto en las cuencas exorreicas como en la zona costera, lo cual provoca aumento de la sedimentación y efectos negativos en los arrecifes y las lagunas costeras. Igualmente, los procesos de contaminación que provienen de la agricultura, las operaciones portuarias o la urbanización generan fuertes impactos en la calidad del agua [Ortiz et al., 2005].

La actividad petrolera desarrollada en las costas del país también produce contaminación importante en ellas. Además, la explotación desmedida de las especies, notoriamente las pesqueras, ha llevado a que muchas de las pesquerías estén ya sobreexplotadas [Ibarra, Reid y Thorpe, 2000]. Por otra parte, el turismo genera una presión constante, lo cual causa un efecto ambiental, cambio de uso del suelo y desigualdad socioeconómica [Murray, 2007]. El crecimiento poblacional desordenado origina, a su vez, aculturación, violencia y crimen en las grandes ciudades turísticas costeras [Pelling, 2012]; y la introducción de especies invasoras, así como el cambio climático también son notables estresores de las costas [Valdez et al., 2012]. Por último, se sabe que las zonas costeras son suceptibles a las alteraciones climáticas por el aumento en el nivel del mar, la acidificación de los océanos y el incremento en la temperatura que genera eventos extremos y cambios en los patrones del clima. Esto a su vez tiene repercusiones ecológicas y socioeconómicas notables.

El panorama socioeconómico y ambiental presentado muestra la existencia de fenómenos de urbanización y diversificación de actividades con una tendencia a la tercerización, así como un deterioro ambiental notable que repercute a su vez en los procesos ecológicos que sostienen a estas mismas acciones económicas. En otras palabras, son procesos multicausales relacionados unos con otros. Por ello la solución del binomio sociedad-naturaleza no puede explicarse con métodos lineales y desvinculados. En este sentido, el concepto de sistemas acoplados, y en particular de socioecosistemas, permite definir las relaciones entre sociedad y naturaleza, observando que son un mismo conjunto de relaciones complejas, es decir, no lineales y anidadas a diversas escalas.

En este sentido, el primer capítulo del presente libro expone cómo se han conceptualizado y estudiado dichas relaciones en las zonas costeras, lo cual hace posible analizar la dinámica espaciotemporal de los procesos más importantes que definen a la zona costera.

En esta obra nos referiremos a los socioecosistemas con la finalidad de verlos como un mismo sistema, como lo propone Maas [2018]. Sin embargo, pueden nombrarse también sistemas socioecológicos o social-ecológicos de manera indistinta, los cuales son complejos y su trayectoria depende de los componentes e interacciones que los conforman; por esta razón, deben delimitarse para estudiar su resiliencia.

Para Walker et al. [2004], la resiliencia de los socioecosistemas es "la capacidad de los sistemas socioecológicos de absorber disturbios y autoorganizarse, manteniendo su función esencial, su identidad, su estructura y su retroalimentación". Esta definición se ha enriquecido, de manera que también se plantea que el sistema debe enfrentar cambios y continuar desarrollándose, así como aprender para mantener o mejorar la estructura básica esencial y las formas de funcionamiento [Ifejika, Wiesman y Rist, 2014]. Lo anterior implica que el socioecosistema puede absorber anomalías, pero seguir en una trampa de pobreza, lo cual no es muy deseable, y por eso la importancia de que el sistema evolucione conservando o mejorando los servicios ecosistémicos y el bienestar social.

Esta definición se ha moldeado según el objetivo de los estudios, pero siempre se enfoca en la capacidad del socioecosistema de mantenerse y autoorganizarse, como medidas principales, lo que logra, conservando su estructura y procesos de retroalimentación, esto es, las relaciones que determinan el funcionamiento del sistema y sus servicios ecosistémicos, así como otros atributos descritos por Biggs et al. [2012], como la diversidad, la conectividad, la gobernanza policéntrica y el manejo adaptativo. Es importante señalar que la resiliencia de los socioecosistemas tiene matices distintos a los de la estudiada en la literatura de desastres o de cambio climático. Respecto de estos últimos, la resiliencia se ha manejado como sinónimo de adaptación, pero se entiende cada vez más como un proceso y no como una medida simple de recuperación.

Autores, como Carpenter et al. [2001], señalan que para estudiar la resiliencia de socioecosistemas es necesario primero definirlos, lo cual incluye identificar sus componentes e interacciones, así como los principales shocks y estresores, para lo cual incluso existen varios marcos teóricos [Ávila y Perevotchikova, 2018]. Así, el capítulo 1 aborda ejemplos de la construcción y representación de diferentes socioecosistemas costeros, así como algunos retos para medir su resiliencia. Más adelante, se plantea la importancia de definir si se quiere medir el funcionamiento de todo el sistema o solo una parte del mismo, esto es, precisar resiliencia de qué; por ejemplo, si se trata de un socioecosistema relacionado con la pesca, quizá no se requiera analizar todas las variables que influyen en el mercado del producto pesquero, sino únicamente las que se relacionan con la producción. Entonces, es indispensable decidir si se quiere estudiar la resiliencia

general o la específica. Aunado al punto anterior, es necesario identificar resiliencia a qué, si a todos los estresores y shocks que atañen al sistema o a uno en particular, porque si este responde a un estresor en particular, o sea, tiene resiliencia específica, puede perder capacidad de enfrentar otros estresores.

A este respecto, en el capítulo 2 se describen los principales shocks y estresores que afectan a los socioecosistemas costeros y presenta la diversidad de variables que se usan para medir sus efectos. Es decir, se observa la importancia de caracterizar las variables que provocan el cambio del sistema y que pueden ser indicadoras de los efectos que originan los estresores. Por esto, la identificación de los umbrales es fundamental. La evolución de la ciencia nos ha llevado a la especialización, con la cual podemos identificar umbrales para algunos procesos ecológicos como la eutrofización, o bien umbrales de pobreza; sin embargo, no están integrados entre sí, salvo en algunos casos. Por ejemplo, en la pesca, si la calidad del agua no es adecuada quizá se generen pérdidas económicas importantes, por tanto, el umbral está definido por esa variable cuyas proporciones y días de permanencia precisamente desataron la mortalidad del pez objetivo.

Con base en lo anterior, el capítulo 3, aunque no es una revisión exhaustiva, explica los principales umbrales identificados en las zonas costeras así como los más estudiados. No obstante, muchos de los procesos biofísicos y socioeconómicos suceden en varias escalas. Por ejemplo, los aportes de sedimento provienen primordialmente de la erosión, normal o acelerada, de la parte alta de las cuencas costeras, pero afectan a la parte baja generando externalidades negativas. Entender y reconocer la interacción entre escalas es muy importante, porque permite comprender mejor los procesos anidados y jerárquicos, e implica adecuar metodologías de análisis y considerar que en las diferentes disciplinas el tratamiento de los datos puede ser distinto. Por consiguiente, escalar procesos para generalizarlos a un ámbito nacional no es algo trivial. En este sentido, el capítulo 4 es una reflexión en torno a la interacción entre escalas.

Por último, analizar la resiliencia de los socioecosistemas costeros precisa el conocimiento de los componentes del sistema, sus umbrales y autoorganización, así como su trayectoria y, en su caso, plantear escenarios futuros. Si bien la resiliencia no es sinónimo de sustentabilidad, debido al deterioro de los ecosistemas, el concepto resiliencie thinking establece

ciertos criterios que llevarían a que los sistemas sean más resilientes entendiendo que su capacidad de respuesta llevaría hacia la sustentabilidad. En este libro se analizan los aspectos más importantes para determinar la resiliencia de un socioecosistema, como: 1) definir el socioecosistema; 2) sus estresores; 3) los umbrales; 4) las interacciones entre escalas; y 5) la trayectoria del sistema, aunque no se hace referencia explícita a la sustentabilidad. En este sentido, las trayectorias que se describen en el capítulo 5 definen cómo se ha medido la evolución de estos sistemas en general y la posibilidad de mejorar las mediciones de sistemas acoplados.

Cada uno de los capítulos aporta una reflexión en torno a la resiliencia de socioecosistemas costeros y en particular señala los retos para México en términos conceptuales, metodológicos, de monitoreo, de interdisciplina, de transdiciplina y de integración para generar propuestas de políticas públicas.

Comprender el funcionamiento de los sistemas costeros como socioecosistemas y su trayectoria implica identificar las variables apropiadas para monitorear a largo plazo con la finalidad de proyectar a su vez escenarios con menor incertidumbre. Esto ayudará a formular políticas públicas más atinadas o por lo menos con una visión de más largo plazo. Asimismo, identificar los umbrales que no deben sobrepasarse en cada socioecosistema auxiliará en la definición de la normatividad y los esquemas de incentivos encaminados a la conservación de los servicios ecosistémicos. Vincular las variables económicas, sociodemográficas y culturales con las biofísicas y geomorfológicas a diferentes escalas hará posible elaborar esquemas de desarrollo regional y de manejo adaptativo. Hacer evidente que el crecimiento económico y el desarrollo dependen de los servicios ecosistémicos producirá mayor bienestar social.

Referencias

Álvarez Torres, P., et al. [2015], "Development of a National Ocean Policy in Mexico", Routledge Handbook on National and Regional Ocean Policies, Abingdon, Oxon, Routledge, pp. 294-310.

Ávila Foucat V.S., y M. Perevotchikova [2018], Sistemas socioecológicos: marcos analíticos y estudios de caso en Oaxaca, México, Editorial Instituto de Investigaciones Económicas, 334 pp.

Azuz Adeath, I., y E. Rivera Arriaga [2007], "Estimación del crecimiento poblacional para los estados costeros de México", Papeles de población, vol. 13, núm. 51, pp. 187-211.

——— [2009], "Descripción de la dinámica poblacional en la zona costera mexicana durante el periodo 2000-2005", Papeles de población, vol. 15, núm. 62, pp. 75-107.

Biggs, R., et al. [2012], "Toward principles for enhancing the resilience of ecosystem services", Annual Review of Environment and Resources, vol. 37, núm. 1, pp. 421-448.

Carpenter, S., B. Walker, J. M. Anderies, et al. [2001], "From metaphor to measurement: resilience of what to what?", Ecosystems, vol. 4, núm. 8, pp. 765-781.

De la Lanza Espino, G. [2004], "Gran escenario de la zona costera y oceánica de México", Ciencias, núm. 76, octubre-diciembre, pp. 1-13.

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, vol. 32, núm. 2, pp. 117-128.

Ibarra, A. A., C. Reid, y A. Thorpe [2000], "Neo-liberalism and its impact on overfishing and overcapitalisation in the marine fisheries of Chile, Mexico and Peru", Food Policy, vol. 25, núm. 5, pp. 599-622.

Ifejika Speranza, C., U. Wiesmann, y Stephen Rist [2014], "An indicator framework for assessing livelihoods resilience in the context of social-ecological dynamics", Global Environmental Change, núm. 28, pp. 109-119, doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.005.

Maas, M. [2018], "Los sistemas socioecológicos (sse) desde el enfoque socioecosistémico (ses)", en V. S. Ávila Foucat, y M. Perevochtchikova (coords.), Sistemas socioecológicos: marcos analíticos y estudios de caso en Oaxaca, México, Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, pp. 19-66.

Murray, G. [2007], "Constructing paradise: the impacts of big tourism in the Mexican coastal zone", Coastal Management, vol. 35, núms. 2-3, pp. 339-355.

Ortiz Lozano, L., et al. [2005], "Environmental evaluation and development problems of the Mexican Coastal Zone", Ocean y Coastal Management, vol. 48, núm. 2, pp. 161-176.

Pelling, M. [2012], The vulnerability of cities: natural disasters and social resilience, London, Routledge, 212 pp.

Pérez Campuzano, E y C. Santos Cerquera [2016], "Entre la pesca y el turismo: cambios económicos y demográficos recientes en la costa mexicana", Cuadernos Geográficos, vol. 55, núm. 1, pp. 283-308.

Salles P. [2003], "Impacto en el Medio Costero", en Primer Foro de Control Hidrográfico del Dragado en Puertos Mexicanos, Cámara de Diputados, Congreso de la Unión, México, diciembre, pp. 145-151.

Seingier, G., I. Espejel y J. L. Fermán Almada [2009], "Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana", Investigación ambiental. Ciencia y política pública, vol. 1, núm. 1, pp. 54-69.

——— et al. [2011a], "Mexico's coasts: Half-way to sustainability", Ocean y coastal management, vol. 54, núm. 2, pp. 123-128.

——— et al. [2011b], "Designing an integrated coastal orientation index: A cross-comparison of Mexican municipalities", Ecological Indicators, vol. 11, núm. 2, pp. 633-642.

Organización de las Naciones Unidas (onu) [2017], The Ocean Conference, <www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2017/05/Ocean-fact-sheet-package.pdf>

Valdez Moreno, M., et al. [2012], "Monitoring an alien invasion: DNA barcoding and the identification of lionfish and their prey on coral reefs of the Mexican Caribbean", PloS one, vol. 7, núm. 6, e36636.

Walker, B., et al. [2004], "Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems", Ecology and Society, vol. 9, núm. 2, p. 5.

CAPÍTULO 1

Construcción de socioecosistemas costeros y retos para medir su resiliencia

Laura E. Vidal Hernández
V. Sophie Ávila Foucat
A. Minerva Arce Ibarra
Cristian Tovilla Hernández
Armando Carmona Escalante

Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo mostrar la diversidad de formas de conceptualizar los socioecosistemas costeros, las variables e interacciones que se proponen, así como mostrar algunas formas en las que se ha medido su resiliencia. Asimismo, se destacan los principales retos en ambos temas.

Conceptualización y operacionalización de socioecosistemas costeros

Los socioecosistemas como marco de análisis

La ciencia ha abordado el análisis de la realidad (o de lo que se observa) desde diferentes enfoques epistemológicos y ontológicos, lo cual ha generado la consolidación de disciplinas humanistas y biofísicas. Derivado de este proceso de construcción del conocimiento, un mismo objeto de estudio puede revisarse desde diversas miradas, por ejemplo, desde la sociología, la antropología o la biología. La especialización ha permitido comprender y conocer muchos procesos que se han vinculado con propuestas de política pública. Sin embargo, desde el siglo pasado se ha observado que es difícil disociar la conformación y procesos existentes entre los componentes sociales y fenómenos bióticos o biofísicos, y se reconoce que existen interacciones e interdependencias entre las disciplinas, generando la fusión de diversas ciencias [Ratzalaff, 1940]. Derivado de dichas reflexiones es que surge el concepto de socioecosistemas.

Los socioecosistemas o sistemas socioecológicos (SES) son el resultado del acoplamiento de un sistema social y uno ambiental donde surge uno nuevo de interfase, y cuya dinámica única es determinada por fuertes interacciones y procesos de retroalimentación entre sus componentes

[Berkes y Folke, 1998]. Este nuevo sistema poseerá una capacidad propia de autoorganización, adaptación y aprendizaje en respuesta a perturbaciones internas y externas en un entorno de cambio e incertidumbre; de tal forma que podrá persistir, mantener sus funciones, absorber shocks o anomalías constantes y aún proveer servicios ecosistémicos a diversas escalas espaciales y temporales [Folke, 2006]. Por ejemplo, Ostrom [2009] señala que en este tipo de sistemas acoplados, los usuarios han invertido tiempo y energía en el diseño e implementación de sistemas de gobernanza para subsistir junto con el sistema natural en uso, evitando así la Tragedia de los Comunes descrita por Hardin en 1968. Debido a que hay una gran diversidad de formas en las que la sociedad interactúa con la naturaleza, no existe un solo tipo de socioecosistema, pero todos pueden visualizarse como sistemas complejos [Castañares, 2009] que comparten ciertas características: poseen niveles de organización anidados, mantienen ciclos de retroalimentación, exhiben dinámicas no lineales con umbrales, presentan retrasos temporales, heterogeneidad y cambios sorpresivos [Liu et al., 2007]. Sus propiedades son resultado de las interacciones complejas que no pueden ser previsibles desde el análisis de sus componentes o interacciones individuales.

Los socioecosistemas se componen de múltiples subsistemas y de variables internas a múltiples niveles [Ostrom, 2009]. Es decir, son entidades con jerarquías anidadas, donde los subsistemas interactúan de manera recíproca a través de diversos niveles de organización formando redes complejas de interacción [Liu et al., 2007]. Por ello, los principios subyacentes de la construcción anidada de los sistemas socioecológicos se basan en la teoría de conjuntos, donde los niveles altos se desagregan en niveles inferiores con atributos que son específicos de los subconjuntos [Thiel, Adamseged y Baake, 2015].

La estructura y funcionamiento de estos niveles de organización es dinámica y forma bucles de retroalimentación en los cuales los humanos influyen y son afectados por los patrones y procesos de la naturaleza [Liu et al., 2007]. Las interacciones positivas y negativas entre tales bucles atenúan o refuerzan una condición en el otro sistema y amplifican o amortiguan los cambios entre ellos [Fischer et al., 2015]; por tanto, se considera que funcionan como la estrategia de balance de los sistemas acoplados [Scholz y Binder, 2003; Anderies, Janssen y Ostrom, 2004].

Muchas relaciones entre los sistemas acoplados no son lineales, sino que tienen patrones de cambio impredecibles. Asimismo, presentan umbrales que son puntos de transición entre estados alternativos de los sistemas que tienen lugar cuando se rebasan condiciones de continuidad o balance, y estos pueden medirse en términos espaciales o temporales. Como resultado de las interacciones entre sistemas ecológicos y socioeconómicos acoplados y de sus cambios suelen presentarse impactos (positivos o negativos) en el bienestar de los usuarios humanos; sin embargo, tales impactos no siempre son observables o predecibles inmediatamente, sino que pueden ser evidentes hasta pasadas décadas o siglos, esto es, se retrasan debido a los efectos acumulativos de las interacciones.

Los socioecosistemas están conformados por una amplia diversidad de componentes tanto naturales como sociales, como moléculas, especies, hábitat, paisajes, actores, grupos culturales, conocimientos, patrones de uso e instituciones. Esta diversidad, aunada a condiciones de redundancia funcional, se refleja en una heterogeneidad que proporciona opciones de respuesta a cambios y perturbaciones constantes o sorpresivos. La investigación científica sugiere que un socioecosistema es más resiliente si posee mayor heterogeneidad en sus componentes, pero señala que tal diversidad debe ser evidente en sus tres diferentes aspectos: la variedad, el balance y la disparidad [Stirling, 2007].

El manejo con una escasa comprensión de las interacciones entre los sistemas, las modificaciones en su estructura o funcionamiento por introducción de especies, alteración de equilibrio trófico o presencia de subsidios económicos, puede ocasionar efectos desconocidos o cambios sorpresivos, así como inducir a respuestas perversas de los usuarios de los recursos.

Walker et al. [2004] definen la resiliencia de los socioecosistemas como "la capacidad de los sistemas socioecológicos de absorber disturbios y autoorganizarse, manteniendo su función esencial, su identidad, su estructura y su retroalimentación". En otros términos, es la capacidad de los sistemas de absorber disturbios al autoorganizarse y evolucionar para mantener las condiciones biofísicas que posibilitan su permanencia. El análisis de esta capacidad de los socioecosistemas atiende a la necesidad de incorporar la presencia de intensos, rápidos y sorpresivos cambios sociales, tecnológicos y ambientales que caracterizan el mundo actual, e incluso a la toma de decisiones sobre el uso de los recursos naturales y el ambiente, de

tal forma que se proporcione una guía sobre los efectos no evidentes y en escalas no previsibles de alterar el funcionamiento del planeta y, con ello, afectar los servicios ecosistémicos que nos proporciona. Según múltiples autores, este conocimiento puede dar soporte a la toma de decisiones para el manejo de recursos naturales, lo que permitiría mantener las condiciones de sobrevivencia y bienestar de las sociedades humanas [Berkes y Folke, 1998; Berkes, Colding y Folke, 2003; Walker y Salt, 2006]. Por tanto, abordar la complejidad de los socioecosistemas y enfatizar sobre cómo su comprensión favorece la toma de decisiones en las sociedades actuales requiere una visión interdisciplinaria [Liu et al., 2007].

Existen diferentes aproximaciones teóricas para describir estas relaciones tal y como lo describen Binder et al. [2013]. Algunas aproximaciones provienen de los marcos teóricos de las ciencias sociales y la acción colectiva [Ostrom, 2009], o bien de la concepción de pobreza del acceso a los capitales [Ávila y Martínez, 2018a y b]. Del mismo modo, existen corrientes de pensamiento derivadas de los servicios ecosistémicos y de marcos internacionales como la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas o IPBES [Balvanera, 2018]. Las aproximaciones reflejan diversas maneras de estudiar la realidad y los sistemas complejos, pero sin duda todas ellas muestran las interacciones entre sistemas sociales y naturales.

En concreto, los marcos para analizar los socioecosistemas permiten formalizar las interacciones entre la naturaleza y una sociedad en una estructura que facilita su descripción, análisis y modelado [Liehr et al., 2017]. Dos de los marcos de trabajo importantes son el utilizado por la Alianza de Resiliencia basada en Estocolmo [véase el sitio de internet de la Stockholm Resilience Centre] y el de Elinor Ostrom [Ostrom, 2009]. Mientras la investigación derivada de la Alianza enfatiza el manejo adaptativo de los ecosistemas desde la perspectiva de la resiliencia, los trabajos de Ostrom conciben los socioecosistemas como un marco que hace posible el análisis de sistemas gubernamentales e institucionales que regulan un área particular de recursos compartidos o analizan la robustez del sistema en interacción.

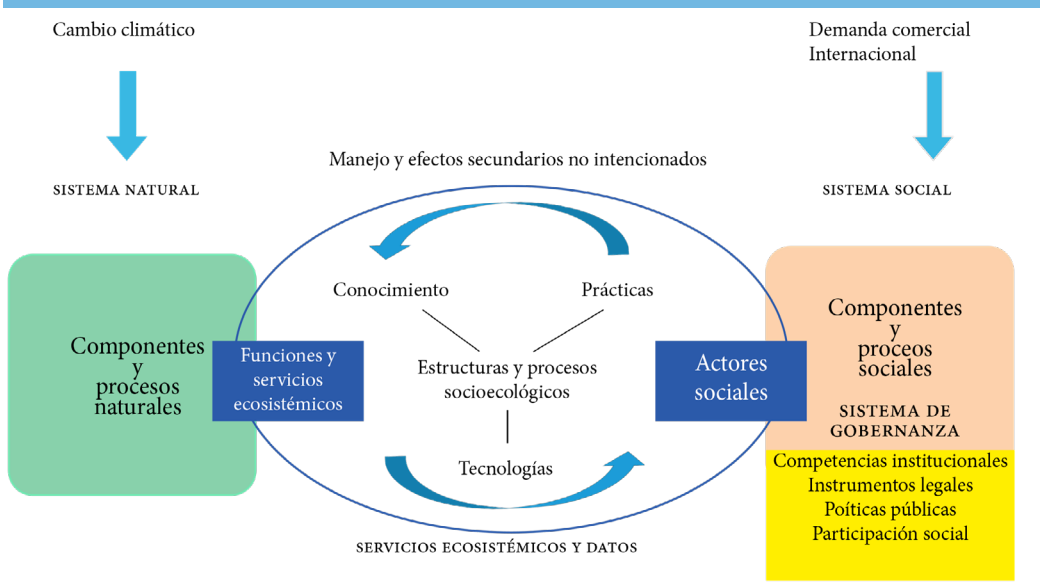
Es necesario aclarar que Berkes, et al. [2003] utilizan el concepto social-ecological system que se traduce al español como "sistema social ecológico"; sin embargo, otros autores lo traducen como socioecosistema [Maas, 2018], argumentando que se trata de un solo sistema. Más aún,

Colding y Barthel [2019] revisaron el uso del concepto de sistema socioecológico en artículos científicos elaborados desde 1998, y concluyeron que la aplicación del término no está estandarizada y, más importante aún, suele emplearse sin definirse; ante lo cual instan a la comunidad académica a ser más meticulosa y explícitamente aclarar a qué se refiere cuando conduce investigación en SES. Es decir, aunque persiste un debate ontológico al respecto, este documento utilizará el concepto socioecosistema.

Recientemente se ha incorporado a este análisis el concepto de servicios o funciones ecosistémicas, lo que posibilita hacer explícitos los beneficios que la sociedad recibe de tal interacción y revela las estructuras y procesos (naturales y sociales) subyacentes en ella (figura 1.1).

En el esquema de la figura 1.1, el círculo del centro representa al socioecosistema como una esfera híbrida emergente que surge anidada de la interacción entre un sistema social y un sistema natural, y que contiene interacciones altamente conectadas en el espacio y en el tiempo que no pueden atribuirse a la mera esfera natural o social o a un área de superposición entre ambas. Esta esfera incluye a los componentes y los procesos de cada sistema. Los componentes que interactúan y se retroalimentan, pueden ser: sociales, económicos, culturales y políticos, así como biológicos,

Figura 1.1 Representación de socioecosistemas.



Fuente: basado en Liehr et al. [2017].

geológicos, químicos y físicos; por ejemplo, jardines, cultivos o pozos, stocks pesqueros, acuacultores. Los procesos pueden ser: dispersión de semillas, irrigación, cosecha, extracción de agua, inmigración, aprovechamiento de recursos forestales. Otros factores relevantes para definir el tipo de las interrelaciones del socioecosistema pueden ser: el conocimiento local (científico o tradicional); las prácticas sociales definidas por los patrones de uso y comportamiento sobre materiales o bienes del socioecosistema; las instituciones (económicas, políticas culturales o legales) que asignan reglas de acción o de control al uso de los socioecosistemas; y las tecnológicas que se refieren a las estructuras o desarrollos elaborados por el hombre para interferir con las funciones ecológicas normales, a fin de hacer algunos servicios específicos disponibles para su uso.

Los componentes clave del socioecosistema son los actores y las funciones ecosistémicas que lo integran. Mientras los actores son el (o los) grupo(s) de personas que con sus acciones pueden modificar las funciones ecosistémicas, los servicios o los perjuicios que reciben del sistema natural también tienen influencia en las decisiones de manejo sobre las mismas. Evidentemente sus beneficios o perjuicios variarán de acuerdo con el tipo de actor. Algunos tipos de actores serán consumidores, comerciantes, pescadores, agricultores, manejadores de recursos o académicos; cada grupo con intereses y motivaciones diferentes. Por su parte, las funciones ecosistémicas se entienden como la capacidad de los componentes y procesos naturales de proporcionar bienes y servicios que satisfacen necesidades humanas de manera directa o indirecta [Liehr et al., 2017]. Es decir, a partir de ellos se constituyen los servicios ecosistémicos que pueden ser benéficos, o no benéficos (por ejemplo, riesgos de salud, inseguridad alimentaria o exposición a amenazas naturales). En el esquema que se presenta, se incluye una versión modificada que contiene un sistema de gobierno dentro del aparato social, el cual incluirá las políticas públicas, las competencias institucionales, los instrumentos normativos y la participación pública.

Los socioecosistemas varían a través de unidades espaciales, temporales y organizacionales. Los sistemas socioecológicos pueden ser ordenados por sus diferentes contextos ecológicos (es decir, biogeográficos), sociales, económicos (por las actividades productivas que abarcan), políticos, demográficos y culturales, y por la manera en que involucran variados servicios

ecosistémicos y problemáticas. Es importante diferenciar entre los socioecosistemas urbanos y los rurales, ya que los primeros pueden ser estadios finales de procesos de cambio sobre muy variados usos de suelo, construcción de infraestructura, preferencias de hábitos de vida y percepción de la relación con la naturaleza y las estructuras socioeconómicas de las zonas rurales. Dichos procesos de cambio pueden estar dirigidos por políticas de "desarrollo" definidas en contextos distantes, crecientemente enfocados en maximizar las ganancias del uso de los recursos naturales y su globalización comercial (es decir, patrones demográficos, mercados y desarrollo tecnológico), pero también por la presión de cambios globales ambientales que requieren la instalación de infraestructura que facilite o proteja tales usos.

Operacionalización de los socioecosistemas en zonas costeras

Las costas son áreas de transición entre tierra y mar donde existe una intensa interacción entre componentes y procesos de la tierra, el océano y la atmósfera, de tal forma que los procesos de la tierra afectan al océano y viceversa. Estas áreas son de especial interés científico por dos realidades contrastantes: su ubicación geográfica les confiere amplia riqueza en recursos y sistemas naturales, culturales e históricos, y son zonas con alto riesgo de deterioro debido a diversas amenazas naturales y antrópicas a las que están expuestas. Una vez conceptualizadas las principales relaciones en el sistema, es necesario identificar las variables para medirlas, lo cual se denomina operacionalización. En caso de desarrollar un modelo conceptual, la siguiente fase es elaborar una formalización matemática de dichas relaciones, pero no en todos los casos es necesario un modelo.

Los componentes de las áreas costeras, como sus hábitat y especies, espacio marino, agua y sustrato, y sus procesos (es decir, producción, descomposición, redes tróficas dinámicas, interacciones ecológicas inter e intraespecíficas, procesos hidrológicos, geológicos y evolutivos) son la base de los diversos servicios ecosistémicos que ofrecen. Ecosistemas y hábitat marinocosteros, como: marismas, pastos marinos, arrecifes, estuarios, dunas, playas, plataforma continental, zonas intermareales y regiones pelágicas, proporcionan servicios intermedios y finales de soporte, regulación, aprovisionamiento y culturales a variadas comunidades humanas que habitan los litorales del mundo [Turner et al., 2015] (figura 1.2).

Figura 1.2 Servicios ecosistémicos proporcionados por ecosistemas y hábitat costero-marinos.

Fuente: basado en Turner et al. [2015].

Desde las antiguas civilizaciones humanas, la subsistencia de estas comunidades ha dependido de diversos bienes y beneficios que las costas les proveen. Las zonas costeras rurales suelen dar, al menos en sus etapas iniciales de desarrollo, prioridad a cubrir necesidades de subsistencia básica, como poseer terrenos para habitar, tener acceso a materiales para construir o proveer alimentos para sus pobladores en pequeñas escalas. Por ello, las interacciones entre sus sistemas podrán ser más sencillas y la conformación de sus socioecosistemas más clara. Estos usos primarios de las costas en escalas locales (por ejemplo, comunidades pesqueras, comunidades agrícolas) han permitido la conformación de socioecosistemas con capacidad natural de recuperarse de los cambios y permanecer en el tiempo. En estos casos, el manejo costero tradicional a partir de sectores productivos o manejo sectorial (por ejemplo, de agua, pesquero, forestal, ambiental) podría ser suficiente en alcances y eficacia, así como pueden serlo las capacidades de ciertos niveles de gobiernos y sociedades para preservarlos. Sin embargo, el manejo sectorial en la costa suele tener mínima consideración de los procesos oceanográficos y los flujos hidrológicos, cuyas

características definen la presencia tanto de los bienes y servicios ambientales, como de las dinámicas humanas para aprovecharlos; con ello, hace falta ampliar el enfoque de manejo con una visión más interdisciplianria. También es necesario evaluar la eficacia y suficiencia del tratamiento costero en escalas regionales vs escalas locales, y con condiciones de desarrollo distintas, particularmente, urbana vs rural.

Más aún, la presión sobre los recursos naturales en las costas y las políticas públicas enfocadas en el crecimiento económico y, consecuentemente, el urbano, han dirigido las acciones a diversificar las actividades primarias de pequeña escala y a promover la industria turística, portuaria, industrial, comercial (y de otros usos emergentes) con escalas extensivas y de manera simultánea y desordenada [Crossland y Kremer, 1970]. El número de pobladores y usuarios costeros aumenta, y la cantidad de recursos naturales en uso también, por lo que surge la necesidad de mantener atribuciones de gobierno en el nivel nacional mientras otras se confieren a instituciones locales. Es decir, nos encontramos con escenarios donde confluyen varios sistemas sociales y gubernamentales con diversos sistemas naturales en el mismo espacio y tiempo; sin que la mayoría de los estudios sean capaces de reconocer la interacción entre ellos. El crecimiento demográfico en las inmediaciones del litoral ha cambiado los usos tradicionales de la costa, ha detonado la sobreexplotación de los recursos naturales y ha degradado los hábitat críticos; todo ello desde diferentes frentes, sin determinar la magnitud de los impactos sinérgicos, acumulativos o residuales simultáneos. Por otro lado, los procesos naturales y productivos de las costas crecientemente se ven sujetos a demandas de origen externo (por ejemplo, comercio y turismo internacional) o a impactos derivados de los efectos de procesos climáticos globales (por ejemplo, aumento del nivel medio del mar, cambio de temperatura marina), con lo cual la delimitación de socioecosistemas podría verse comprometida y con ello su resiliencia.

Como una alternativa a la conducción sectorial surge el manejo integrado de zonas costeras (MIZC). Este último es un procedimiento que integra diversas escalas geográficas y temporales para la definición de la unidad de manejo e incorpora variadas perspectivas, estrategias e injerencias gubernamentales para la toma de decisiones [Cicin y Knecht, 1998]. Su objetivo es promover el uso sustentable de los recursos naturales, el desarrollo y la protección de las costas y la sustentabilidad de los socioecosistemas

[Khakzad, Pieters y Van Balen, 2005; Rosendo, Celliers y Mechisso, 2018]. Un manejo integrado busca evitar fragmentación y descoordinación de los actores al aplicar el tratamiento de ecosistemas y el manejo adaptativo [Khakzad, Pieters y Van Balen, 2005]. Rosendo, Celliers y Mechisso [2018] indican que el manejo integrado tiene principios como visión sistémica, planeación estratégica, uso de procesos participativos, integración institucional y coordinación, aplicación de la ciencia en la toma de decisiones, y uso de capacidades humanas y técnicas. Para lograrlo con eficiencia es necesario entender las interacciones sociedad-naturaleza presentes y poder prever escenarios futuros. Glaeser et al. [2009] afirman que los análisis de SES tienen el potencial de mejorar el Manejo Integrado Costero, ya que facilitan el trabajo y la discusión interdisciplinaria que se requiere para la integración sistemática del conocimiento.

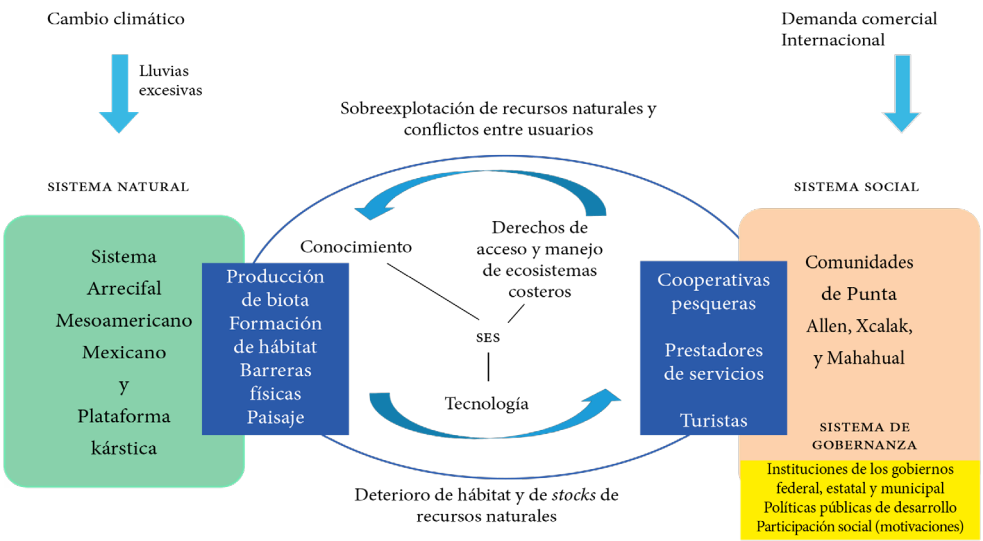
Algunas de estas aproximaciones se presentan en los recuadros de este capítulo a fin de ejemplificar los esfuerzos por usar algunos enfoques de estudio.

Recuadro 1.1 Manejo y uso de ecosistemas costeros basados en derechos: de recursos abiertos a derechos utilizados por las comunidades.

Arce et al. [2017] analizaron un socioecosistema en el estado de Quintana Roo con el fin de identificar cómo tres comunidades costeras rurales del Corredor Biológico Mesoamericano Mexicano y otras instituciones han evolucionado del acceso abierto a los recursos naturales pesqueros y de servicio turístico del arrecife, al acceso y manejo comunitario basado en derechos. El caso incluye una recapitulación histórica de los escenarios de uso artesanal de los recursos del arrecife, la playa y otros ecosistemas costeros por parte de pequeñas comunidades costeras, y su transformación en cuatro décadas por presiones externas naturales y sociales. Mientras la presión natural se vincula con la presencia de eventos de lluvia excesiva relacionada con el cambio climático que modifica la producción del sistema y su oferta de otros servicios ecosistémicos, las presiones sociales se enfocan en políticas públicas locales y nacionales sobre el desarrollo turístico y pesquero acelerado para satisfacer una demanda comercial internacional. Los efectos de tales condiciones conllevan desde el deterioro de los hábitat, la sobreexplotación de recursos y de sistemas naturales al rebasar su capacidad de

carga hasta la competencia desigual por el aprovechamiento de los recursos pesqueros de alto valor comercial y de la oferta de servicios turísticos. La respuesta ha sido que diversos usuarios directos e interesados de la zona hayan trabajado con entidades gubernamentales e instituciones civiles para elaborar e implementar diferentes políticas, estrategias y medidas de manejo para asegurar su aprovechamiento responsable y la conservación de la integridad del ecosistema arrecifal y sus ecosistemas vinculados. Este caso se esquematiza en la figura de abajo con nombre Socioecosistema (SES) del Sistema Arrecifal Mesoamericano Mexicano. Una contribución interesante de este análisis fue hacer explícito el sistema de gobernanza multinivel en la conceptualización del socioecosistema. Es decir, se mostró que en socioecosistemas donde los actores participan activamente con autoridades de diferentes niveles, que incluyen sus motivaciones y necesidades particulares para mantener su calidad de vida y sus derechos, se favorece la adaptación de estrategias de manejo para cada contexto particular y de forma diferenciada. Con ello, se hace más accesible seguir la evolución del socioecosistema y determinar el éxito de las estrategias que modifican sus interacciones. Un área de oportunidad de este análisis es el seguimiento de su trayectoria para identificar indicadores de resiliencia o el cambio de tipo de socioecosistemas.

Socioecosistema (SES) del Sistema Arrecifal Mesoamericano Mexicano.

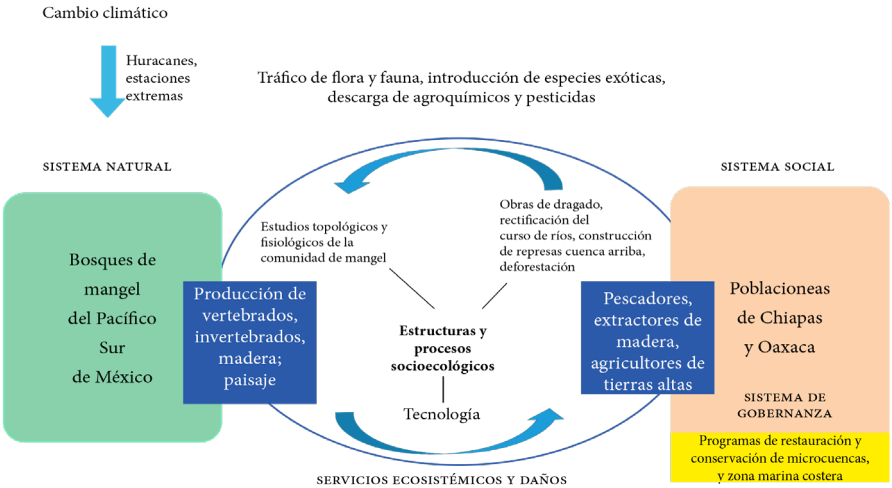


Recuadro 1.2 Socioecosistemas costeros del bosque de mangle del Pacífico Sur de México.

Tovilla et al. [2018] han recopilado los cambios en la estructura de la vegetación de bosques juveniles, maduros y seniles de mangle del Pacífico Sur de México a consecuencia de actividades antrópicas y eventos naturales desde los años 2000. Los socioecosistemas formados por comunidades de cinco especies de mangle (Rhizophora mangle, Avicennia germinans, Avicennia bicolor, Laguncularia racemosa y Conocarpus erectus) y comunidades humanas asentadas en la colindancia de algunos humedales y lagunas costeras de Chiapas y Oaxaca, han mostrado gran dinamismo a partir de cambios en el tiempo, efectos probablemente asociados con el cambio climático (por ejemplo, erosión litoral, elevación del nivel del mar, frecuencia de años secos vs años lluviosos, frecuencia de tormentas y huracanes sobre este litoral); la extracción selectiva de madera, de especies vegetales y animales; el crecimiento acelerado de la población costera; los cambios de uso del suelo (agricultura, ganadería, acuicultura); dragado y azolvamiento de los sistemas lagunares; y la modificación de la calidad y cantidad del agua de la cuenca. Son cambios evidentes en la belleza paisajística y la biodiversidad de estas áreas estuarinas, pero también en indicadores físicoquímicos del agua y en algunos indicadores exclusivos del mangle: por individuo (en altura, grosor, cobertura, área basal) y por comunidad (en su riqueza específica, dominancia, índice de complejidad de Holdridge, regeneración del bosque y mortalidad natural y sustitución de unas especies por otras en las franjas de mangle). Los estudios de estos socioecosistemas han abarcado el monitoreo anual o decenal de una a diez hectáreas, lo que ha permitido identificar la disminución de la extensión e integridad del mangle con algunos umbrales de cambio relacionados con: la zonación de la vegetación del manglar posterior al paso de los huracanes y su sustitución por especies oportunistas ante variaciones de luz e inundaciones de agua dulce (Acrostichium sp., Cyperaceas sp. y Pachira aquatica, respectivamente); pero principalmente, un estimado del 85 % de las pérdidas como consecuencia de prácticas de las comunidades cercanas a los terrenos vegetados tales como la extracción de madera de mangle u otras estructuras arbóreas y su consecuente sustitución por vegetación arbustiva, o la eliminación parcial o completa del manglar y su nula recuperación por la modificación de flujos de agua (cambio del cauce de ríos o la construcción de represas) o su salinidad por la acumulación de grandes depósitos de sedimentos derivados de obras de dragado. Estas últimas,

favorecidas por decisiones tomadas por autoridades de los tres niveles de gobierno (es decir, Conapesca, Conagua, Sagarpa, Sepesca y municipios).

Socioecosistemas costeros del bosque de mangle del Pacífico Sur de México.



Fuente: elaboración propia con datos de Tovilla et al. [2018].

Recuadro 1.3 Socioecosistema del puerto de Sisal, Yucatán, basado en la actividad pesquera y turística.

El puerto de Sisal, Yucatán, analizado bajo el enfoque de sistemas socioecológicos (SES), permite identificar cómo la comunidad pesquera y turística ha cambiado en los últimos cuarenta años de un aprovechamiento tradicional y de subsistencia de los recursos naturales de dunas costeras, isla de barrera, laguna costera, ciénega costera, manglar, pastos marinos y fondos rocosos, a un puerto de creciente atractivo turístico con la llegada de un gran número de nuevos usuarios nacionales y extranjeros.

El puerto de Sisal desde el siglo XVI y hasta finales del siglo XIX fue considerado el principal puerto de comercio marítimo de la península de Yucatán. Desde mediados del siglo XX, una modesta comunidad pesquera artesanal se asentó en el puerto y conformó una economía local basada principalmente en la extracción, procesamiento y comercialización de peces, pulpos y algunos otros invertebrados de sus pastos marinos y fondos rocosos, y complementada con la extracción de coco, el cultivo de traspatio, la cacería de patos y la agricultura ejidal. A principios del siglo XXI, varios eventos modificaron la

dinámica del puerto, entre los que destacan: la instalación de una granja camaronera en charcas colindantes al humedal, el inicio de una pesquería de pepino de mar con fines de investigación, el asentamiento de la Unidad Académica de la UNAM en Yucatán en un terreno ganado al mar y la declaración de sitio Ramsar de la Reserva Estatal de "El Palmar"; hechos con los que el puerto empezó una etapa de incipiente desarrollo.

En la siguiente década, se detonó la extracción comercial del pepino de mar con alto valor comercial y demanda en el mercado internacional; la granja camaronícola (después de una exitosa producción) cerró su operación y vendió sus terrenos con fines de urbanización; se presentaron varios eventos de marea roja que afectaron las pesquerías locales; y se asentó una comunidad de canadienses en el puerto. Simultáneamente, y por más de cuarenta años, la calidad casi prístina del puerto y su entorno han sido atrayente de actividades terciarias como la renta de casas habitación, turismo de sol y playa, recorridos turísticos por los ecosistemas costeros, actividad cinegética, pesca recreativa y la demanda gastronómica de productos del mar. Hoy día existen seis cooperativas, agencias de turismo y ecoturismo que ofertan paseos y observación de aves en lancha por la ciénega y el manglar hasta el sitio conocido como la Bocana.

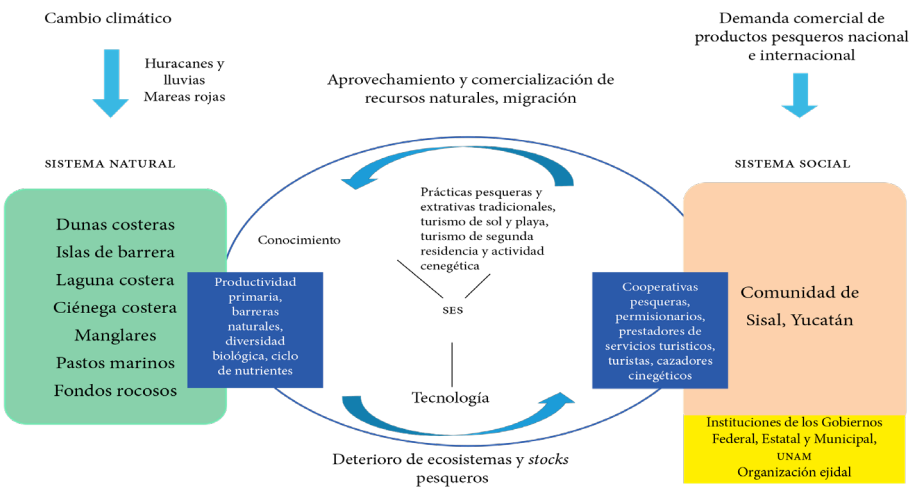
En la actualidad, Sisal colinda con dos Áreas Naturales Protegidas (al oeste con la Reserva Estatal de "El Palmar" y al sur con la Reserva Estatal de Ciénegas y Manglares de la costa norte de Yucatán), su comunidad residente de aproximadamente dos mil personas se asienta en cuatrocientas ochenta y siete viviendas particulares en una isla de barrera con 27.5 kilómetros de playa y su principal actividad económica sigue siendo la pesca artesanal. Además, el puerto es destino de creciente número de inmigrantes estatales (Hunucmá y Tizimín) e interestatales (Campeche) que también suelen dedicarse a la pesca. Aunque algunos stocks pesqueros del área (es decir, pepino de mar, mero) muestran evidencias de sobreexplotación ocasionada en cierta medida por la pesca ilegal y el incumplimiento de lo dispuesto en la legislación en materia pesquera, las ganancias de esta actividad mantienen a la comunidad en mediano grado de marginación debido principalmente a la incertidumbre generada por su fuerte dependencia de las estaciones climáticas (huracanes y lluvias), las condiciones ambientales de calidad (por ejemplo, ausencia de mareas rojas) y los precios de mercado definidos nacional e internacionalmente. Asimismo, el puerto recibe hoy día en festividades religiosas hasta catorce mil personas en cinco días, con lo que los bienes y servicios que ofrece se saturan y se hacen evidentes efectos de deterioro ecológico (por ejemplo, destrucción de dunas costeras, depósito de basura en las calles y playas) por el masivo e inadecuado uso del lugar.

Finalmente, una nueva etapa de desarrollo del puerto se prevé con la presente urbanización de lotes en los límites este y oeste del puerto (junto a las ANP) para compradores de alto poder adquisitivo, principalmente extranjeros, y la intención de promover mayores atractivos turísticos sostenidos en las aguas marinas someras (por ejemplo, windsurf, skysurf, pesca recreativa, competencias náuticas). Es decir, la principal presión de este sector turístico se relaciona con el cambio de uso de suelo, puesto que se estima que en los últimos dos años ha habido un incremento del 15 % de viviendas particulares por lotes fraccionados para uso urbano, y la presencia masiva de visitantes por día en los ecosistemas naturales. Estos usos promoverán cambios en la organización de los espacios y en la disposición y el manejo de los residuos producidos por los visitantes, con lo cual es probable que el socioecosistema se reconfigure para mantener usos tradicionales y dar cobijo a los usos innovadores. Los autores consideran que el puerto de Sisal representa un área de oportunidad para el seguimiento del socioecosistema conformado por la actividad pesquera y turística, y para el diseño de estrategias de manejo y conservación de los recursos naturales y las utilizaciones tradicionales de la zona.

La figura siguiente describe los componentes y procesos de este socioecosistema, destacando sus elementos y actores representativos del sector pesquero y del sector turístico. Este socioecosistema fue diseñado a partir de una revisión bibliográfica histórica de Sisal, así como de la experiencia del sector académico de la UNAM en el sitio.

Socioecosistema del puerto de Sisal, Yucatán.

Socioecosistema del puerto de Sisal, Yucatán.



La resiliencia de socioecosistemas costeros

Definición y medición de la resiliencia

La resiliencia es una propiedad emergente del sistema, que no puede ser entendida simplemente examinando cada una de sus partes individualmente, sino que se requiere observar el sistema en su totalidad [Berkes, Colding y Folke, 2003]. La resiliencia no solo implica reaccionar o recuperarse de un disturbio, sino persistir, autoorganizarse, aprender y gestionar el cambio, así como innovar y transformar el sistema en otra configuración [Folke, 2006]. Por tanto, Walker et al. [2004], definen la resiliencia de socioecosistemas de manera general como "la capacidad de los sistemas socioecológicos de absorber disturbios y autoorganizarse, manteniendo su función esencial, su identidad, su estructura y su retroalimentación", complementándola con la conservación de su capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación [IPCC, 2014].

En la literatura se presentan varios ejemplos de cómo se ha medido la resiliencia, y para ello se han considerado diversos componentes, como el institucional, el socioeconómico, el natural y el físico, pero desde diversos marcos teóricos y temas de interés. Por ejemplo, identificamos estudios de resiliencia de los agroecosistemas (Tittonell en 2014, y Cabell y Oelofse en 2012), o relacionados con el manejo de cuencas (Merrit et al. en 2015), también los hay sobre las condiciones de vida de regiones y comunidades (Schwarz et al. en 2011; Cutter et al. en 2010; Frazier en 2013; Mutabazi en 2015; Merrit et al. en 2015), o desde la seguridad alimentaria [FAO, 2016; Lokosang, 2014]; pero la escala de análisis es diversa. Hay quienes estudian la resiliencia a nivel micro, meso (cuenca) [Merrit et al., 2015], o a escala regional [Cutter et al., 2008] o nacional (FAO en 2016; Lokosang en 2014). A escala nacional o regional, mencionamos en particular el Resilience Index Measurement and Analysis (RIMA), propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), para medir la resiliencia de las comunidades en relación con la seguridad alimentaria y la sequía. Este índice considera variables como ingreso, acceso a la alimentación, servicios básicos, redes sociales y capacidad adaptativa [FAO, 2016]. Por otro lado, existe el índice de capacidad de resiliencia (resilience capacity index), desarrollado por la Universidad de Berkeley, para identificar las debilidades y fortalezas de regiones de zonas metropolitanas ante eventos

de estrés. El índice está constituido esencialmente por tres dimensiones: la económica regional, la sociodemográfica y la conectividad comunitaria. También existe el índice compuesto de resiliencia (composite resilience index) para medir la resiliencia ante eventos climáticos extremos y está formado por indicadores sociales, de infraestructura, naturales y económicos.

Los esfuerzos arriba citados son importantes para la planeación a escala nacional; sin embargo, son adiciones de datos que no permiten observar la dinámica de las comunidades y la diversidad de variables e interacciones que existen en ellas. En este sentido, el enfoque de medios de vida ha sido ampliamente utilizado en la literatura de resiliencia de comunidades a una escala micro [Mutabazi, 2015; Hossain Kahn, 2012; Merrit et al., 2015; Uy et al., 2011; Baral y Stern, 2011; Quaranta y Salvia, 2014; Keil et al., 2008], debido a que es difícil tener información de los capitales a nivel nacional por la cantidad de variables y detalle que se requiere [Saad, 2014]. En su mayoría, los estudios utilizan los capitales como indicadores del bienestar de las comunidades y son agregados en índices, aunque también existen algunos modelos. El modelo permite explicar cuáles factores determinan la resiliencia; es decir, si una variable tiene una función positiva o negativa en la resiliencia, así como el peso que este factor tiene, o bien si es una relación lineal o no [Merrit, 2015; Cumming et al., 2005; Baral y Stern, 2011; Eakin y Appendini, 2008]. Los índices, en cambio, buscan describir si el sistema es resiliente y las variables que lo explican, pero el investigador decide a priori cuáles incluir y qué peso darle a cada una [Hossain Khan, 2012; Dasgupta y Shaw, 2015; Kotzee y Reyers, 2016]. La medición de la resiliencia de socioecosistemas ha incurrido poco en análisis dinámicos. No hay estudios basados en series de tiempo, y pocos de ellos tienen una línea base o proyecciones; los estudios más dinámicos comparan los resultados en dos periodos de tiempo [FAO, 2016]; y pocos analizan las interacciones entre escalas y umbrales de sistema acoplado.

La resiliencia de socioecosistemas costeros

En el caso de los ecosistemas costeros hay varios estudios de resiliencia debido a que las costas son zonas altamente prioritarias en temas de cambio climático. La resiliencia de la pesca artesanal ha sido estudiada con un enfoque de dinámica de sistemas [Bueno y Basurto, 2009], así como de umbrales sociales asociados con el apego de los pescadores a su lugar de

origen [Blythe, 2015]. Otros estudios en zonas costeras se han abocado a estudiar la trayectoria de los medios de vida de comunidades costeras, ya sea con índices compuestos, como es el caso de Dasgupta y Shaw [2015], o con base en una descripción histórica utilizando entrevistas o encuestas [Ekblom 2012; Santos, Seixas y Berkes, 2015; Moshy, Bryceson y Mwaipopo, 2015] para la descripción cualitativa y cuantitativa de los cambios en los hogares. Otros artículos describen el cambio en los umbrales [Österblom et al., 2010], e incluso algunos se han identificado para arrecifes de coral o lagunas costeras [Nayak y Armitage, 2018]. La identificación de los umbrales es otra manera de medir resiliencia, tema que se aborda con mayor profundidad en capítulos subsiguientes.

La forma de iniciar el estudio de ecosistemas y de recursos costeros, así como de comunidades asociadas a ellos con fines de aprovechamiento, es un fenómeno tradicional en las instituciones académicas y centros de investigación en México, no así la aproximación de los estudios desde un enfoque de socioecosistemas. También la temática de la resiliencia de ecosistemas costeros ha sido, y es en la actualidad, profusamente abordada de modo académico debido a que estas zonas están expuestas al riesgo derivado del cambio climático y el crecimiento de los asentamientos humanos y las actividades productivas que se afincan en las costas del país. Sin embargo, el estudio y medición de la resiliencia de los socioecosistemas está aún en desarrollo por parte de la comunidad académica, tal vez surgido, en primer lugar, por el reto que representa su conceptualización en escenarios de amplia complejidad multisectorial y, en segundo, por la ausencia de información histórica completa que permita construir líneas base para el seguimiento de sus trayectorias y, como consecuencia, para compilar datos sobre su resiliencia. Algunos esfuerzos existen de manera incipiente a nivel de los hogares costeros [Ávila y Martínez, 2018a y 2018b]. Otros se enfocan en el estudio de los municipios costeros ante desastres socionaturales, a partir de construir índices de prevención, resistencia y recuperación con información de bases de datos de instituciones oficiales, como el elaborado por Velázquez [2018] para el Pacífico Mexicano.

En caso de seguir el marco teórico de Ostrom [2009], algunas de las condiciones que limitan el trabajo de los socioecosistemas costeros en México es la insuficiente información documentada, validada y continua de algunos aspectos considerados básicos para su conocimiento; esto es, las

ocho variables de primer nivel y las cincuenta y seis de segundo nivel según Ostrom [2009]. La tabla 1.1 muestra algunas de tales condiciones para varios de los socioecosistemas relacionados con la pesca y la prestación de servicios turísticos en las costas de la península de Yucatán. Otro aspecto limitante de la información existente es la escala espacial y temporal en la que se encuentran las bases de datos de instituciones oficiales, la cual suele ser muy grande, es decir, escalas espaciales mayores de 1:50 000 y de monitoreos realizados cada diez años (y solo en algunos casos en intervalos de cinco años). Esta condición de la información hace particularmente difícil analizar la vulnerabilidad y la resiliencia de comunidades costeras rurales o socioecosistemas pequeños cuya dinámica de cambio se intensifica, por ejemplo, por la presión del desarrollo turístico. Palomo y Hernández [2019] presentan un ejemplo de cómo obtener información de las variables de segundo orden en un SES costero de Quintana Roo, y destacan que la resiliencia ante desastres naturales y cambios sociales, económicos y políticos de una sociedad costera pequeña, como la bahía de la Ascensión, depende en gran medida de su capital social, donde los sistemas organizativos, el autocontrol y la selección de reglas colectivas se sostienen en valores democráticos y equitativos que favorecen la coexistencia y la cohesión social.

Tabla 1.1 Condición de la información sobre algunas de las variables de segundo nivel según Ostrom [2009] en socioecosistemas de pesca comercial y servicios recreativos en la península de Yucatán.

Variables de Ostrom 1er nivel	SES costeros relacionados con la pesca comercial	SES costeros relacionados con los servicios turísticos (paseos costeros, pesca recreativa)
A1 Número de usuarios	En SES con cooperativas con pescadores registrados y validados o, permisionarios libres con aprobación de pesca existen números precisos, pero casi siempre hay una cifra fluctuante de pescadores libres ilegales que operan y cuya cantidad se desconoce.	En SES con cooperativas o grupos organizados de guías de turistas u otros prestadores de servicios registrados y validados hay números precisos, pero suelen existir guías independientes cuya cifra puede desconocerse.
A5 Liderazgo/ emprendimiento	Generalmente con líderes de cooperativas pesqueras o lideres ejidales con fuerte presencia.	A veces con líderes de cooperativas pesqueras o turísticas, pero muchas veces con desempeño individual. No suele existir fuerte liderazgo.
A6 Normas/capital social	Redes comunitarias, sociales, de comercio, y de autogobierno en SES pequeños.	Redes sociales, de comercio, y de autogobierno en sistemas pequeños.

Tabla 1.1 Condición de la información sobre algunas de las variables de segundo nivel según Ostrom [2009] en socioecosistemas de pesca comercial y servicios recreativos en la península de Yucatán (continuación).

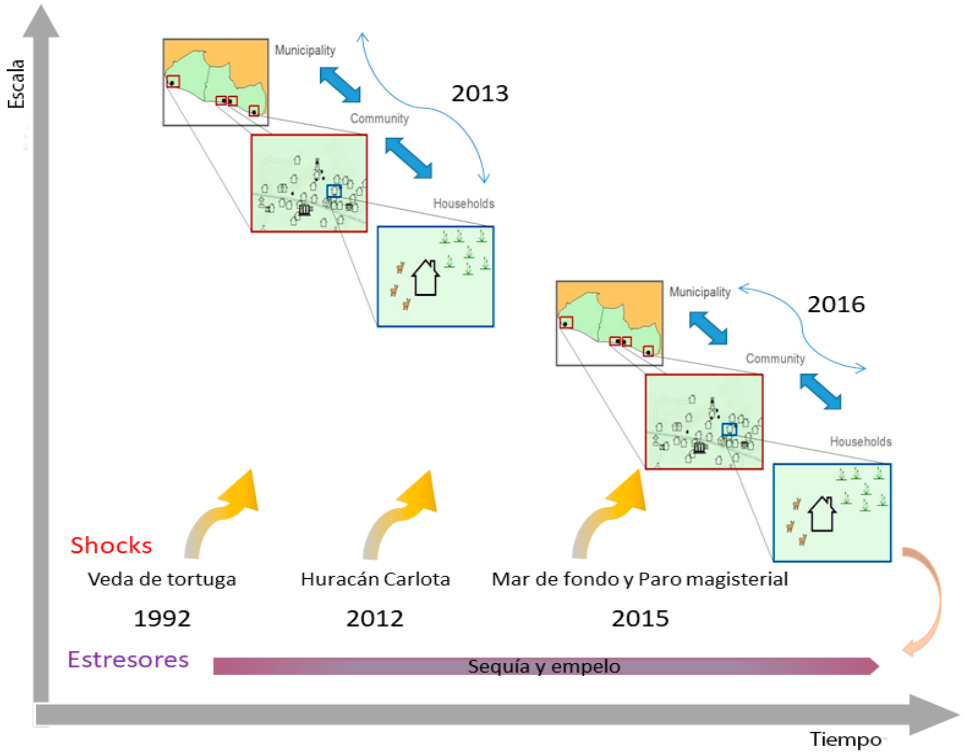
Variables de Ostrom 1er nivel	SES costeros relacionados con la pesca comercial	SES costeros relacionados con los servicios turísticos (paseos costeros, pesca recreativa)
A7 Conocimientos de SES/modelos mentales	Abundante conocimiento tradicional y científico (sobre todo de recursos comerciales), pero en ausencia de estimaciones de capacidad de carga y del efecto de interacciones, suele existir competencia entre usuarios (sobre todo entre pescadores industriales y artesanales).	El conocimiento suele derivarse de la experiencia de algunos operadores dedicados previa o simultáneamente a la pesca comercial o de habitantes de las comunidades que conocen los atractivos locales. El conocimiento de estas actividades está menos profundizado.
A8 Importancia del recurso	Resaltada principalmente en sectores pesquero y comercial, algunas veces en el sector social por constituir actividades de subsistencia. Por tanto, probablemente la importancia está subestimada.	Que resalta principalmente en sector turístico, y con mayor relevancia cuando incluye turistas extranjeros.
RS3 Tamaño del sistema de recurso	Generalmente asociado con las preferencias y capacidades técnicas de los pescadores, pueden incluir áreas someras o ribereñas, o aguas más profundas para extracción industrial.	Casi siempre vinculado con las preferencias de los turistas y las capacidades técnicas de los prestadores de servicio, que pueden ser artesanales asociados con áreas cercanas al litoral o incluir zonas de fondos más profundos si se usan yates.
RS5 Productividad del sistema	Resaltado principalmente en capturas y valor de captura del sector pesquero (sobre todo de especies de alto valor o volumen) y a veces asociado con la pesca de subsistencia.	Enfatizado principalmente por el sector turístico. No suelen existir bases de datos o mecanismos de monitoreo de estas actividades.
RS7 Previsibilidad de la dinámica del sistema	Suele responder a conocimiento empírico de variaciones estacionales, generalmente con decisiones tomadas a corto plazo por alta incertidumbre.	Suele responder a conocimiento empírico de variaciones estacionales, por lo general con decisiones tomadas a corto plazo por alta incertidumbre.
RU1 Movilidad de la unidad del recurso	En SES que pescan recursos sésiles o semisésiles (por ejemplo, invertebrados como pepino de mar, langosta o pulpo) la movilidad es limitada y puede existir conocimiento profundo sobre ellas; pero varios SES se sostienen con peces con hábitos migratorios entre aguas salobres y marinas, o aun entre entidades federativas nacionales o territorios transnacionales, en cuyo caso el conocimiento de sus patrones migratorios será más limitado.	Los paseos turísticos y zonas de pesca recreativa pueden incluir territorios con fines de alimentación, anidación o reproducción de aves, peces o tortugas marinas, por lo que constituyen recursos de alta movilidad. En cuyo caso la información de su dinámica poblacional suele ser limitada.
GS6 Reglas seleccionadas colectivamente	Reglas pactadas de forma usual más frecuentes en SES pequeños, en zonas de difícil acceso o con fuerte control de acceso en pesca artesanal; no hay reglas conocidas entre pescadores industriales. No suelen estar documentadas.	Reglas acordadas de forma consuetudinaria más frecuentes en SES pequeños, en zonas de difícil acceso o con fuerte control de ingreso por la comunidad. No suelen estar documentadas.

Fuente: elaboración propia.

Recuadro 1.4 Socioecosistemas costeros y resiliencia en comunidades costeras de Oaxaca.

La medición de la resiliencia de socioecosistemas implica en primera instancia describir el socioecosistema. En este sentido, los hogares rurales son considerados un socioecosistema debido a que en ellos interactúan aspectos sociales y naturales. Es decir, un hogar cuenta con recursos naturales y a su vez con ciertas características socioeconómicas. Del mismo modo, está inmerso en un contexto y recibe diferentes estresores. Es por ello que el enfoque de medios de vida sustentables es adecuado y en particular el uso de los capitales de los hogares es de utilidad. Asimismo, los hogares tienen diversas estrategias para sobrevivir y ser resilientes, las cuales pueden variar desde la migración hasta la diversificación de actividades [Ellis, 2000]. Las estrategias de vida y las variables que las determinan tanto de capitales como de

Principales shocks y estresores en las localidades de Ventanilla y Escobilla, Oaxaca.



contexto pueden estudiadarse a diferentes escalas e incluso es posible ver la interacción entre ellas.

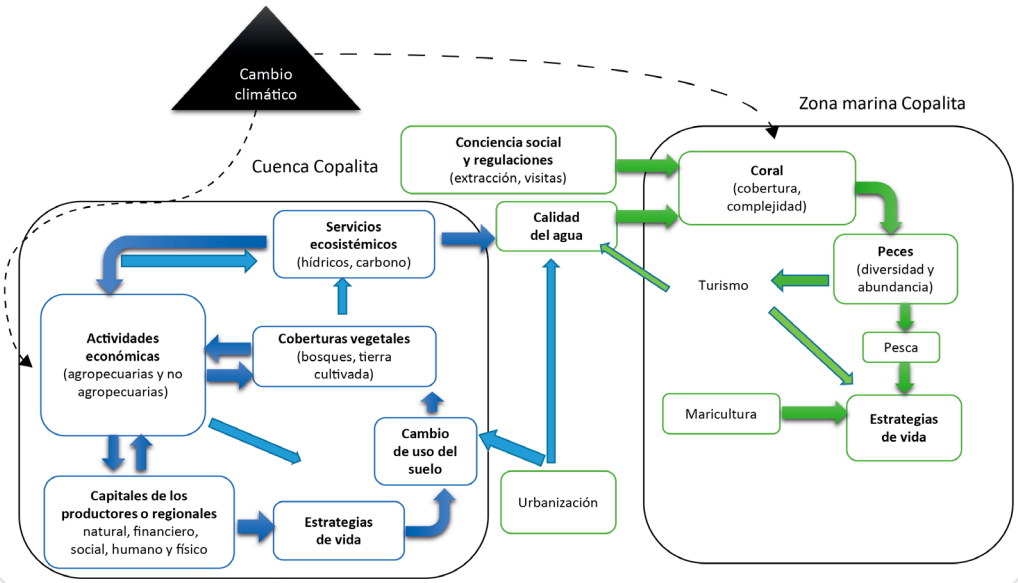
A escala local, la resiliencia se ha medido en función de la recuperación de los capitales y las estrategias de vida, ya sea a través de la percepción de los hogares de dicha recuperación [Ávila y Martínez, 2018], o bien de la medición explícita de su recuperación [González y Ávila, en elaboración]. Los cambios en el tiempo de las condiciones de los hogares son muestra de su dinamismo y resiliencia. Esto se ha explicado utilizando las variables de diversidad y conectividad entre los capitales.

La resiliencia se define aquí como la posibilidad de un sistema de recurperarse de un estresor o shock manteniendo y arreglando sus activos (capitales) para asegurar sus medios de vida sustentables [Plummer y Armitage, 2007].

A escala regional, otra forma de medir la resiliencia es en función de los cambios en la trayectoria del sistema. Para ello, se puede utilizar el enfoque de dinámica de sistemas para construir un modelo conceptual y posteriormente un modelo matemático que mide y conforma dichos cambios ante diversos estresores, como se observa en el diagrama.

El diagrama de bloques muestra la relación de la cuenca alta con la parte costera y marina en la cuenca Copalita.

Socioecosistema de la cuenca Copalita.



Retos para medir la resiliencia de un socioecosistema costero

La resiliencia de socioecosistemas es la dinámica del sistema, su transformación determinada por eventos externos y umbrales de ciertas variables que pueden llevarlo a cambiar de estado o no. En el caso de los sistemas costeros, se han identificado algunas variables que determinan sus umbrales, por ejemplo, la cantidad de nitratos en las lagunas costeras que provoca eutrofización. Sin embargo, es difícil tener datos en diversos años; en otras palabras, el monitoreo constante para establecer una línea base y medir umbrales es una limitante. Generalmente los umbrales se observan cuando ya se ha pasado dicho nivel límite. Aunado a lo anterior, existen estudios que han identificado umbrales específicos, pero que no necesariamente son relevantes para todo un sistema. Es posible identificar el umbral de una población de peces, por ejemplo, la cantidad mínima de individuos para asegurar la población; sin embargo, dicho umbral quizá no sea el más relevante para todo el sistema. Por tanto, formalizar de manera cuantitativa las relaciones del socioecosistema es muy importante para definir aquellas que son cruciales para guardar un equilibrio entre los aspectos biofísicos y socioeconómicos. La resiliencia de un componente no es la misma que la de un sistema; además hay que diferenciar entre la resiliencia específica y la general. La primera define al sistema con base en una actividad, por ejemplo, los factores que hacen que una comunidad decida hacer ecoturismo y, por consiguiente, los factores ambientales y sociales que se requieren para que esta actividad soporte cambios externos. La resiliencia general hace referencia a cómo cambian todos los elementos de una zona costera así como sus interacciones, y cómo estos determinan la evolución del sistema. Este tipo de resiliencia es más compleja y difícil de medir y requiere de la disponibilidad de información en diferentes escalas espaciales y temporales. En ambos casos, definir claramente la escala espaciotemporal del sistema es determinante para la resiliencia, así como identificar las interacciones entre las escalas.

Un socioecosistema costero estará siempre sometido a diversos estresores y shocks. Los estresores son acontecimientos graduales y constantes, en cambio, los shocks son eventos puntuales y de gran magnitud. En la mayoría de los sistemas, tenemos varios estresores y varios shocks (como se observa en los recuadros) que afectan al sistema, aunque, por lo general,

únicamente se analiza el efecto de uno. Sin embargo, el sistema responderá de manera diferente ante un solo evento externo que ante varios acontecimientos. Por ello, uno de los retos es analizar el efecto de varios sucesos externos en el sistema.

Por último, los elementos antes citados determinan la evolución del socioecosistema, y esa trayectoria puede verse en retrospectiva en términos de cómo ha cambiado el sistema y qué variables o interacciones determinaron dicho cambio, o bien hacer proyecciones a futuro con base en un estado actual, e incluso se pueden analizar los dos tipos de proyecciones. La resiliencia de socioecosistemas puede estudiarse desde una postura neutral y no dar un juicio de valor del cambio que ha sufrido el sistema, es decir, solo describir los cambios sin decir si son buenos o malos. O bien, estudiar la resiliencia como un proceso que pueda llevar a la sustentabilidad, buscando que tanto los aspectos sociales como los ambientales sean igualmente importantes y persistan de manera conjunta.

En suma, existen grandes retos para el estudio de la resiliencia costera referentes al estudio de varios estresores y shocks al mismo tiempo, la interacción entre escalas, la definición de umbrales sistémicos y la medición de la trayectoria de los sistemas. Temas que justamente se abordan en los siguientes capítulos.

Referencias

Anderies, J. M., M A. Janssen y E. Ostrom [2004], "A Framework to Analyze the Robustness of Social-ecological systems from an Institutional Perspective", Ecology and Society, vol. 9, núm. 1, pp. 18, < http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art18/>.

Arce Ibarra, A.M., et al. [2017], "Rights-based coastal ecosystem use and management: From open access to community managed access rights", pp. 60-80, en D. Armitage, A. Charles, y F. Berkes (eds.), Governing the Coastal Commons: Communities, Resilience and Transformation, London, Earthscan/Routledge, 272 pp.

Ávila Foucat V. S., y F. Martínez [2018], "Households' resilience to hurricanes in coastal communities of Oaxaca, Mexico", Society and Natural Resources, vol. 31, núm. 7, pp. 807-821.

——— [2018], "Índices de resiliencia ante huracanes de hogares en cuatro comunidades costeras en Oaxaca", pp. 311-332, en V. S. Ávila Foucat y M. Perevochtchikova (coords.), Sistemas socioecológicos: marcos analíticos y estudios de caso en Oaxaca, Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, 334 pp.

Balvanera, P. [2018], "Los sistemas socioecológicos desde la perspectiva del ipbes", pp. 101-112, en V. S. Ávila Foucat y M. Perevochtchikova (coords.), Sistemas socioecológicos: marcos analíticos y estudios de caso en Oaxaca, Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, 334 pp.

Baral, N., y M. J. Stern [2011], "Capital stocks and organizational resilience in the Annapurna conservation area, Nepal", Society and Natural Resources, vol. 24, núm. 10, pp. 1011-1026, <doi: 10.1080/08941920.2010.495372>.

Berkes, F., y C. Folke [1998], "Linking social and ecological systems for resilience and sustainability", Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience, Cambridge University Press, 310 pp.

——— J. Colding, y C. Folke [2003], Navigating social-ecological systems: Building resilience for complexity and change, Cambridge, UK, Cambridge University Press.

Binder C. R, et al. [2013], "Comparison of frameworks for Analyzing Social-ecological Systems", Ecology and Society, vol. 18, núm. 4, p. 26.

Blythe, J. L. [2014], "Resilience and social thresholds in small-scale fishing communities", Sustainability Science, núm. 10, pp. 157-165, <https://doi.org/10.1007/s11625-014-0253-9>.

Bueno, N., y X. Basurto [2009], "Resilience and collapse of artisanal fisheries: A system dynamics analysis of a shellfish fishery in the Gulf of California, Mexico", Sustainability Science, vol. 4, núm. 2, pp. 139-149, <https://doi.org/10.1007/s11625-009-0087-z>.

Cabell, J. F., y M. Oelofse [2012], "An indicator framework for assessing agroecosystem resilience", Ecology and Society, vol. 17, núm. 1, p. 18.

Castañares Maddox, E. [2009], "Sistemas complejos y gestión ambiental: el caso del Corredor Biológico Mesoamericano México", Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Colección Corredor Biológico Mesoamericano, México, p. 65.

Cicin sain, B., y R. W. Knecht [1998], Integrated Coastal and Ocean Management. Concepts and Practices, Washington, DC, Island Press, p. 517.

Colding, J., y S. Barthel [2019], "Exploring the social-ecological systems discourse 20 years later, Ecology and Society", vol. 24, núm. 1, p. 2, <https://doi.org/10.5751/ES-10598-240102>.

Crossland C. J., y H. H. Kremer [1970], "Coastal Zones: Ecosystems under Pressure", loicz, <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/489paper.pdf>.

Cumming, G. S., et al. [2005], "An exploratory framework for the empirical measurement of resilience", Ecosystems, núm. 8, pp. 975-987.

Cutter, L. S., C. Burton, y C. T. Emrich [2010], "Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions", Journal of Homeland Security and Emergency Management, Bekley Electronic Press, vol. 7, núm. 1, pp. 1-50.

Dasgupta, R., y R. Shaw [2015], "An indicator based approach to assess coastal communities' resilience against climate related disasters in Indian Sundarbans", Journal of Coastal Conservation, pp. 85-101.

Eakin, H., y K. Appendini [2008], "Livelihood change, farming, and managing flood risk in the Lerma Valley, Mexico", Agriculture and Human Values, núm. 25, pp. 555-566, <doi: 10.1007/s10460-008-9140-2>.

Ekblom, A. [2012], "Livelihood security, vulnerability and resilience: A historical analysis of Chibuene, Southern Mozambique", Ambio, vol. 41, núm. 5, pp. 479-489, <doi.org/10.1007/s13280-012-0286-1>.

Ellis, F. [2000], Rural livelihoods and Diversity in Developing Countries, New York, Oxford, p. 279.

fao [2016], A dynamic analysis of resilience in Uganda, Marco d'Errico y Stefania Di Giuseppe, esa Working Paper, 16-01, 36 pp.

Fischer J., T. A. et al. [2015], "Advancing sustainability through mainstreaming a social-ecological system perspective", Environmental Sustainability, núm. 14, pp. 144-149.

Folke, C. [2006] "Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses", Global Environmental Change, vol. 16, núm. 3, pp. 253-267.

Frazier, Tim G., et al. [2013], "Spatial and temporal quantification of resilience at community scale", Applied Geography, núm. 42, pp. 95-107.

Glaeser, B., et al. [2009], "Social-Ecological Systems Analysis in Coastal and Marine Areas: A Path toward Integration of Interdisciplinary Knowledge", Current Trends in Human Ecology, núm. 22, pp. 183-203.

González Quintero, C., y V. S. Ávila Foucat [2019], "Operationalization and measurement of social-ecological resilience", Sustainability, vol. 11, núm. 6073, pp. 1-18, <http://dx.doi.org/10.3390/su11216073>.

Hardin G. [1968], "The tragedy of the Commons", Science (New Series), vol. 162, núm. 3859, pp. 1 243-1 248.

Hossain Khan, M. [2012], Effects of change in land-use and natural disasters on social-ecological resilience and vulnerabilities in Coastal Bangladesh (Tesis), Noruega, Noragric.

ipcc [2014], Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.), Geneva, Switzerland, ipcc, 151 pp.

Keil, A., et al. [2008], "What determines farmers' resilience towards enso-related drought? An empirical assessment in Central Sulawesi, Indonesia", Climatic Change, vol. 86, núms. 3-4, pp. 291-307.

Khakzad, S., M. Pieters y K. Van Balen [2005], "Coastal cultural heritage: A resource to be included in integrated coastal zone management", Ocean and Coastal Management, núm. 118, pp. 110-128.

Kotzee, I., y B. Reyers [2016], "Piloting a social-ecological index for measuring flood resilience: a composite index approach", Ecological Indicators, núm. 60, pp. 45-53, <doi: 10.1016/j.ecolind.2015.06.018>.

Liehr S., et al. [2017], "How the Social-Ecological Systems Concept can guide Transdisciplinary Research and Implementation: addressing water challenges in Central Northern Namibia", Sustainability, p. 9.

Liu, J., et al. [2007], "Complexity of Coupled Human and Natural Systems", Science, núm. 317, pp. 1 513-1 516.

Lokosang, L. B., S. Ramroop y T. Zewotir [2014], "Indexing hosehold resilience to food insecurity shocks: the case of south Sudan", Agricultural Economics Research, Policy and Practice in Southern Africa, vol. 53, núm. 2, pp. 137-159.

Maas, M. [2018], "Los sistemas socioecológicos (sse) desde el enfoque socioecosistémico (ses) ", en V. S. Ávila Foucat y M. Perevochtchikova (coords.), Sistemas socioecológicos: marcos analíticos y estudios de caso en Oaxaca,

México, Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, pp. 19-66.

Merrit, W. S., et al. [2015], "Modelling livelihoods and housholds resilience to droughts using Bayesian networks", Env Dev Sustain, marzo, pp. 298-305.

Moshy, V. H., I. Bryceson y R. Mwaipopo [2015], "Social-ecological Changes, Livelihoods and Resilience Among Fishing Communities in Mafia Island Marine Park, Tanzania", Forum for Development Studies, vol. 42, núm. 3, pp. 529-553, <http://dx.doi.org/10.1080/08039410.2015.1065906>.

Mutabazi, K. D., T. S. Amjath Babu y S. Sieber [2015], "Influence of livelihood resources on aaptative strategies to enhance climatic resilience of farm housholds in Morogoro, Tanzania: an indicator-based analysis", Reg Environ Change, vol. 15, núm. 7, pp. 1 259-1 268.

Nayak P. K., y D. Armitage [2018], "Social-ecological regime shifts (sers) in coastal systems, Ocean and Coastal Management, núm. 161, pp. 84-95.

Österblom, H., et al. [2010], "Making the ecosystem approach operational –Can regime shifts in ecological– and governance systems facilitate the transition?", Marine Policy, núm. 34, pp. 1290-1299.

Ostrom, E. [2009], "A General Framework for Analyzing Sustainability of Socio-Ecological Systems", Science, vol. 325, núm. 5939, pp. 419-422.

Palomo L. E., y A. Hernández Flores [2019], Application of the Ostrom framework in the analysis of a social-ecological system with multiple resources in a marine protected area, PeerJ, núm. 7, pp. 7 374, <doi 10.7717/peerj.7374>.

Plummer, R., y D. Armitage [2007], "A resilience-based framework for evaluating adaptive co-management: linking ecology, economics and society in a complex world", Ecological Economics, vol. 61, núm. 1, pp. 62-74, <doi: 10.1016/j.ecolecon.2006.09.025>.

Quaranta, G., y R. Salvia [2014], "An index to measure rural diversity in the light of rural resilience and rural development debate", European Countryside, núm. 2, pp. 161-178.

Ratzalaff, E. D. [1970], Applications of engineering systems. Analysis to the human social-ecological system (Tesis), Davis, California, Department of Mechanical Engineering, University of California.

Rosendo, S., L. Celliers y M. Mechisso [2018], "Doing more with the same: A reality-check on the ability of local government to implement Integrated Coastal Management for climate change adaptation", Marine Policy, núm. 87, pp. 29-39.

Saad Alvarado, L. [2014], Aplicación del enfoque de medios de vida: el caso del Distrito de Pochutla, (Tesis de maestría en docencia económica), Facultad de Economía, unam.

Santos Prado, D., C. S. Seixas y F. Berkes [2015], "Looking back and looking forward: Exploring livelihood change and resilience building in a Brazilian coastal community", Ocean and Coastal Management, núm. 113, pp. 29-37, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.05.018>.

Scholz R. y C. Binder [2003], The Paradigm of the Human-Environment Systems, eth. Natural and Social Interface (uns).

Schwarz, A.,M., et al. [2011], "Vulnerability and resilience of remote rural communities to shocks and global changes: empirical analysis from Solomon Islands", Global Environmental Change, núm. 21, pp. 1 128-1 140.

Stirling, A. [2007], "A general framework for analyzing diversity in science, technology and society", Journal of the Royal Society Interface, núm. 4, pp. 707-719.

Thiel, A., M. E. Adamseged y C. Baake [2015], "Evaluating an instrument for institutional crafting: how Ostrom's social-ecological systems framework is applied", Environmental Science y Policy, núm. 53, pp. 152-164.

Tittonell, P. [2014], "Livelihood strategies, resilience and transformability in African agroecosistems", Agricultural Systems, núm. 126, pp. 3-14.

Tovilla Hernández C., et al. [2018], Informe Final del Proyecto: Manglares del Pacífico Sur de México, monitoreo de la estructura y composición de la vegetación, como una estrategia para la conservación, restauración y manejo, Tapachula Chiapas, México, Laboratorio de Ecología de Sistemas Costeros y Manejo Integral, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de México, 297 pp.

Turner R. K., et al. [2015], "Conceptual framework", en R. K. Turner y M. Schaafsma (eds.), Coastal Zones Ecosystem Services, from Science to values and decisión making, Springer International Publishing, pp. 11-40.

Uy, N., Y. Takeuchi y R. Shaw [2011], "Local adaptation for livelihood resilience in Albany, Philippines", Environmental Hazards, vol. 10, núm. 2, pp. 139-153.

Velázquez González, K. [2018], Resiliencia ante desastres socionaturales en municipios costeros del Pacífico mexicano, (Tesis de maestría en Ciencias Ambientales), Fac. de Química, uaem.

Walker, B. H., et al. [2004], "Resilience, adaptability and Transformability in social-ecological systems", Ecology and Society, vol. 9, núm. 2, p. 4.

Walker, B. y D. Salt [2006], Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World, Washington, DC, Island Press.

CAPÍTULO 2

Estresores de los socioecosistemas costeros y variables para su medición

Gabriela Rodríguez Fuentes
Mariana Reyna Fabián
Rosario Pérez Espejo
Oscar A. Jiménez Orocio
V. Sophie Ávila Foucat
Ileana Espejel

Introducción

El concepto de estresor es clave para estimar o medir la resiliencia de los socioecosistemas costeros. De acuerdo con Borics, Várbíró y Padisák [2013], es importante delimitar claramente su significado; más aún en estudios sobre la resiliencia de un socioecosistema, ya que es necesario allanar las diferencias conceptuales disciplinares.

Desde hace veinte años se reconoce que la resiliencia en sistemas sociales se refiere a cuestiones sicológicas, de salud, de infraestructura y de política [Peterson, 2000], y en los sistemas biológicos, a temas de persistencia o recuperación de diversidad y funciones ecológicas [Gunderson, 2000]. De ahí que en sistemas acoplados, la sola identificación de conjuntos interactuantes de estresores sea un objetivo de investigación.

Autores como Adger [2000] describen la resiliencia social como la capacidad de las comunidades humanas para enfrentar las tensiones y disturbios exógenos resultado de los cambios sociales, políticos y ambientales. Este autor reconoce el claro vínculo entre la resiliencia social y la ecológica, particularmente para comunidades que dependen de los recursos naturales para su sustento, por ejemplo, las localidades costeras. Lo que no se ha dilucidado, como menciona este autor, es si los ecosistemas resilientes permiten comunidades resilientes y viceversa. Por esto, ante escenarios de cambio climático global, es pertinente incrementar las investigaciones que determinen la resiliencia de los socioecosistemas costeros, identificando el resultado de la intensidad y la frecuencia de las variables de disturbio en cada estructura acoplada; no solo del sistema ecológico o el social por separado, como habitualmente se ha realizado.

En la literatura, los estresores se entienden de diversas formas: a) sinónimo de impactos; b) explican todo el proceso, incluidas las causas y

los efectos; c) la perturbación se considera como resultado de una afectación temporal, que es positivo para el ecosistema, pero quizás no así para el socioecosistema; d) el estrés es un impacto negativo y debilitador. Borics, Várbíró y Padisák [2013] para la resiliencia ecológica y otros para la resiliencia de un socioecosistema [Folke, 2006], diferencian a los estresores por su frecuencia. Si la frecuencia del evento permite que la variable alcance un equilibrio dinámico, entonces el acontecimiento (más sus respuestas) es una perturbación para el sistema acoplado (tanto el social como el ecológico). Si la frecuencia impide que la variable regrese a corto plazo a dinámicas similares antes del evento y la impulse o la cambie a una nueva trayectoria, entonces se trata de un shock. En síntesis, las perturbaciones (disturbios o tensiones) son acontecimientos graduales y constantes, y los shocks son eventos puntuales e intensos.

Para estimar o medir la capacidad de autoorganización, adaptación y aprendizaje de un socioecosistema en respuesta a estresores exógenos y endógenos, en un ambiente de cambio e incertidumbre, cobran importancia los estudios de largo alcance, ya que lo interesante es encontrar: a) la forma de persistencia; b) el mantenimiento de sus funciones; c) el modo en que absorbió los estresores (perturbaciones o shocks) [Folke, 2006]; y d) identificar los umbrales de tolerancia, las escalas y las trayectorias –como se verá en los siguientes capítulos.

Asimismo, es de suma importancia identificar los cambios en la prestación de los servicios ecosistémicos y en la salud y el bienestar de las comunidades: ¿qué se mantiene? o ¿cuánto se pierde en las diversas escalas espaciales y temporales?, especialmente en estudios orientados a la toma de decisiones en zonas costeras. Las escalas cobran importancia en los estudios de resiliencia de socioecosistemas porque las respuestas resilientes son propiedades emergentes que resultan de los procesos de persistencia, recuperación y reorganización, con diferentes mecanismos en cada fase [Falk, Watts y Thode, 2019]. El modelo de resiliencia escalada, propuesto por estos autores, permite que la resiliencia se descomponga en escalas de espacio, tiempo y niveles de organización, por lo que es fundamental identificar el papel que juegan los estresores en cada tipo de escala. Aunque este modelo está elaborado con ejemplos de bosques e incendios forestales, es útil para conceptualizar el escalamiento de la resiliencia de los socioecosistemas costeros, los cuales son aún más complejos por incluir ambientes

marinos y terrestres, así como una histórica actividad humana con un gradiente de intensidades (desde protegidos hasta sobreexplotados), repartidos en una franja costera caracterizada por formas y anchuras desiguales.

Por esta característica de heterogeneidad de los socioecosistemas costeros, la gama de estresores es muy amplia. Sin embargo, a pesar de que numerosas variables ambientales se manifiestan durante cualquier tiempo y en cualquier espacio, solo una o algunas tienden a ser dominantes como estresores [Freedman, 2015]. De igual manera sucede con los sistemas sociales [Cote y Nightingale, 2012], donde un solo estresor puede generar un efecto cascada [Rocha et al., 2018]. Por ello, el estudio de estresores en socioecosistemas intenta detectar grados de tolerancia a la exposición continua y gradual de las perturbaciones o súbita e intensa de los shocks. La tolerancia es un aspecto importante que se ha analizado para los estudios de riesgo ante desastres donde se mide el estrés, la exposición y la respuesta (figura 2.1). Estos estudios describen cómo y en qué grado ocurren los

Figura 2.1 Modelo de estresor-exposición-respuesta de la EPA [1998, 1992, 2018] para estudios de riesgo ante desastres adaptado a las zonas costeras.

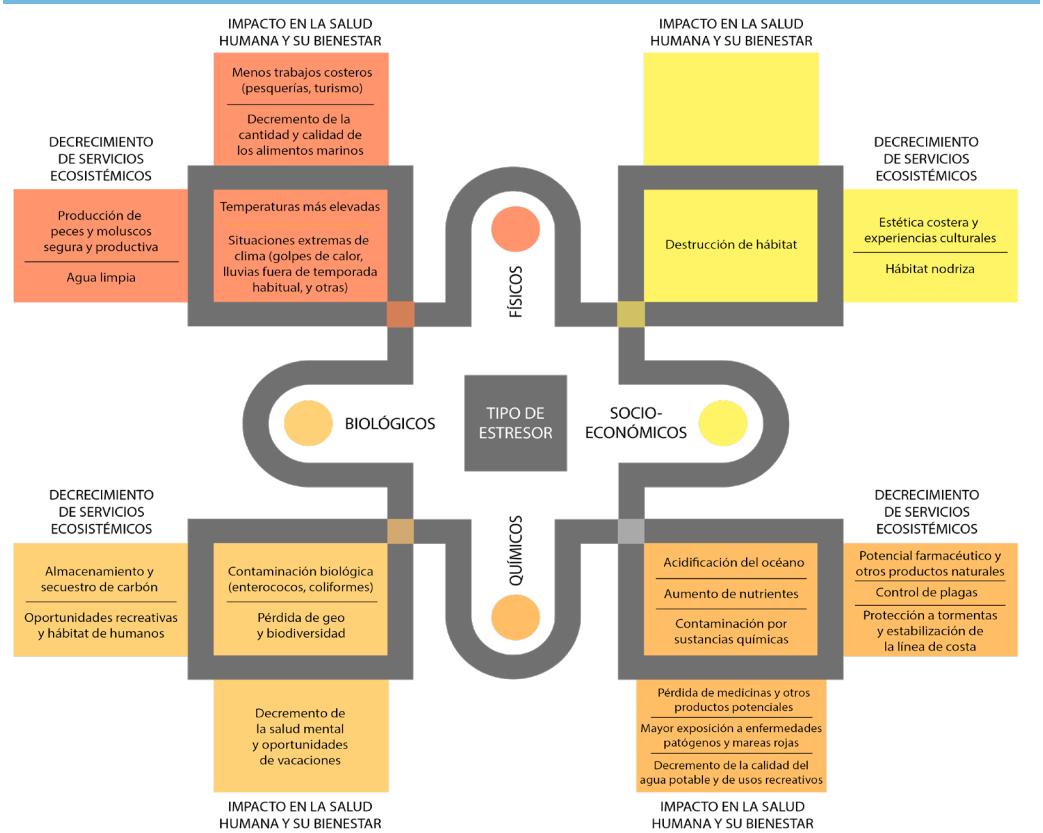
Fuente: tomada de <https://www.epa.gov/sites/production/files/styles/medium/public/2016-02/image1.jpg>.

cambios a nivel ecológico y social y la capacidad de los organismos o comunidades para soportar el estrés. Los estudios de este tipo son abundantes en laboratorios o en experimentos de campo, pero en socioecosistemas es necesario diseñar experimentos naturales, retrospectivos con técnicas cualitativas que recojan la opinión de las personas o rescaten recuerdos de eventos extraordinarios [Dunning, 2012; Morgan, 2013], estudios recurrentes en las ciencias relacionadas con el estudio de socioecosistemas costeros.

En la figura 2.1, se presenta un sistema socioecológico costero y los procesos que desencadenan situaciones de estrés y cómo lo desestabilizan, y con el tiempo se sabe si fueron resilientes.

Las ocho perturbaciones (estresores exógenos) son factores que modifican al sistema social y natural acoplado o socioecosistema. El sistema

Figura 2.2 Interrelaciones de estresores, la pérdida de servicios ecosistémicos y las consecuencias en la salud y bienestar de los humanos.



Fuente: adaptada de <http://i2.wp.com/oceanbites.org/wp-content/uploads/2014/06/narf12047-fig-0003.png?fit=460%2C332>.

humano medido en respuestas de salud y bienestar, y el ecosistema (costero) medido en respuestas de prestación de servicios ecosistémicos. El tiempo y la intensidad de la exposición a los estresores, determinan si son perturbaciones (tensiones, disturbios) o shocks.

En la figura 2.2, se muestran las relaciones de distintos tipos de estresores, la pérdida de servicios ecosistémicos y las consecuencias en la salud y bienestar de los humanos.

Los estresores físicos son reconocidos en los estudios de resiliencias de socioecosistemas como agentes modificadores o fuerzas motrices y los causantes de perturbaciones o shocks.

Tipos de estresores

Hay varios factores que distinguen las fluctuaciones "normales" del ambiente (ecológico y socioeconómico) en el comportamiento de un sistema acoplado. Dentro del régimen actual, una perturbación puede desencadenar un shock sistémico por varias características del mismo: 1) magnitud; 2) tasa de cambio; 3) duración; 4) frecuencia de la anomalía; y 5) resistencia del socioecosistema en sí [Folke, 2006]. Fillatova y Polhill [2012] presentan una clasificación dicotómica de los estresores para su uso en el estudio de los socioecosistemas (tabla 2.1). En el estudio de estresores, es importante distinguir entre un estresor sistémico y un evento impactante (shock) como impulsor de la dinámica del socioecosistema. Los estresores sistémicos no solo se desencadenan por una alteración exógena, también pueden surgir a través de cambios endógenos graduales en los componentes del sistema, los cuales, antes del punto crítico en el que ocurrió el shock, no habían causado cambios en el estado del socioecosistema.

Tabla 2.1 Tipos de estresores o shocks, útiles para modelación de resiliencia de sistemas acoplados o socioecosistemas.

	Se mantiene el estado del socioecosistema actual	Shock sistémico (cambia a un nuevo estado)
Shock como causa modificadora (fuerza motriz o agente de disturbio)	I. Recuperación al mismo estado	II. Nuevo estado dirigido por un shock exógeno
Cambio gradual	III. Permanece en el mismo estado del socioecosistema	IV. Un nuevo estado dirigido por un cambio gradual endógeno

Fuente: tomada de Filatova y Polhill [2012].

Según las disciplinas, existen diferentes clasificaciones de los estresores. En las referentes al riesgo ambiental, prevalecen las de la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) que incluyen a todo agente químico, físico o biológico que produce una respuesta adversa del ecosistema [EPA, 1992, 1998, 2018].

Sin embargo, Folke et al. [2010] llaman a estos estresores físicos y climáticos, fuerzas motrices (pueden entenderse como estresores exógenos) que desencadenan perturbaciones dentro del socioecosistema y, como Harik et al. [2017] identifican, son la industrialización, la urbanización, el turismo, la agricultura, la pesca y la sobreexplotación de recursos naturales. Hay intensidades de fuerzas motrices en función de las mejores o peores prácticas de esas actividades humanas, ya que estos factores desencadenantes conllevan contaminación, pérdida de especies y hábitat, así como la degradación y fragmentación de socioecosistemas (figuras 2.1 y 2.2).

En este capítulo, se presentan los resultados de una búsqueda bibliográfica sobre estresores en ecosistemas y sistemas sociales de las costas de México. Para ejemplificar, se eligieron los ecosistemas coralinos y dunas costeras (apéndices 2.1 y 2.2). El resultado más importante revela que la mayoría de los estudios han investigado a los socioecosistemas desacoplados; hay pocos trabajos desde la mirada de las ciencias sociales, y menos aún de grupos interdisciplinarios.

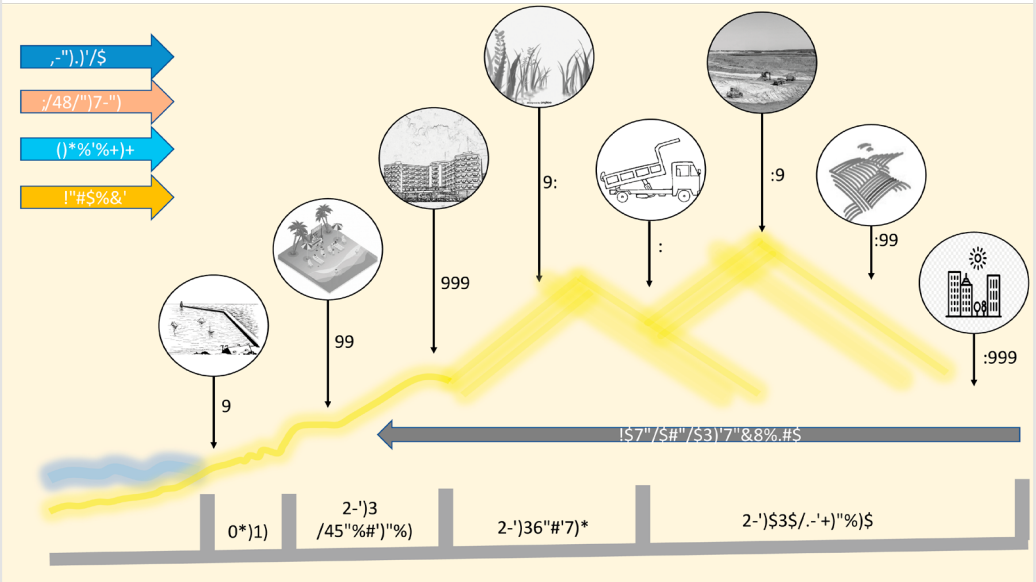
Estresores exógenos (causas que generan cambio o fuerzas motrices)

La lectura de la bibliografía clasificada en los apéndices 2.1 y 2.2 indica que en México hay evidencias de la presencia de todos los factores que generan cambios en los socioecosistemas en las costas del mundo, aunque en diferente magnitud según las regiones costeras del país. Los trabajos de Azuz y Rivera [2009] y Seingier et al. [2009, 2011a y b; y Seingier, Jiménez y Espejel, 2019] presentan ejemplos, que comprenden todos los municipios del país, de estresores de la costa, como son: geomorfología costera, escenarios de cambio climático, huracanes, aumento poblacional, etcétera.

Un ejemplo interesante del efecto sobre la costa del aumento del nivel del mar y las barreras que le impondrán las áreas urbanas es el modelo llamado "la compresión del espacio costero" (coastal squeeze) para las costas de Veracruz [Martínez et al., 2014b]. Una costa urbanizada tendrá menos

capacidad de responder al estresor de aumento del nivel medio del mar. Otro ejemplo de estresor endógeno en una duna costera con vegetación de especies fijadoras de arena, si es ganaderizada, se transforma en un pastizal [Moreno, 2008], pero no deja de ser duna costera.

Recuadro 2.1 Estresores exógenos identificados para las dunas costeras de México.



I. Infraestructura de ingeniería costera.
II. Actividades de recreación (caminata, vehículos automotores, fragmentación por brechas, acampado), limpieza de playa y otras.
III. Desarrollos turísticos (hoteles, restaurantes, estacionamientos, casas de verano, y otros).
IV. Introducción de especies invasoras.
V. Desecación y relleno de lagunas interdunarias; extracción de agua, intrusión salina.
VI. Minería (extracción de arena y otros minerales).
VII. Cambio de uso de suelo, estabilización de dunas, agricultura, ganadería.
VIII. Expansión de zona urbana; nuevos asentamientos humanos.

Ver apéndice 2.1 para la literatura consultada.

Estresores endógenos

La mayor parte de la literatura mexicana refleja la preponderancia por analizar los estresores endógenos de los ecosistemas. Los recuadros 2.1 y 2.2 muestran los estresores identificados en la literatura revisada que se presenta en los correspondientes apéndices 2.1 y 2.2.

Un ejemplo es el concepto de filtro ambiental, referente a la sobrevivencia o eliminación de especies de una comunidad como resultado de un estresor ambiental endógeno [Gallego, Fernández y Martínez, 2011]. Estos autores identifican cinco grupos funcionales de las dunas costeras de Veracruz, donde estos tienen distintas tolerancias a los dos filtros ambientales más importantes de las dunas costeras: el movimiento de arena (enterramiento, por ejemplo) y la salinidad del suelo, que son singulares en los sistemas de dunas costeras.

Con los estresores socioeconómicos, se presenta el problema de que a escala nacional solo se cuenta con los datos de los censos nacionales que están a nivel de localidad en su escala más fina. Existen censos representativos en los ámbitos de estado, municipio o localidad, pero en mucho menor medida a escala hogar. Por ejemplo, el estudio de Pérez Campuzano y Santos Cerquera [2015] ejemplifica el problema de la urbanización, así como las condiciones de marginación en los municipios costeros. Otro tipo de estresores son las crisis económicas que tienen efectos a nivel nacional, o bien la volatilidad de los precios en algunos sectores primarios. El capital social ha sido reconocido también como uno de los aspectos relevantes para el desarrollo sustentable de las costas de México [Ávila y Rodríguez, 2018]. La información en el ámbito del hogar permite identificar con mayor detalle las actividades económicas y sus determinantes de manera más específica, tomando en cuenta el contexto en el que se encuentran dichos hogares. La heterogeneidad del país es tan gande que vale la pena analizar la resiliencia a esa escala, para después comprobar patrones a diferentes niveles. Al respecto, la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) o la Encuesta Nacional de los Hogares Rurales de México (Enhrum) proveen información a escala de hogar, pero son representativas a nivel nacional o estado o municipio y no contemplan un seguimiento de los mismos hogares en el tiempo; solo son muestras representativas que imposibilitan la estimación de la resiliencia familiar. La ENIGH es representativa a nivel estado únicamente y la Enhrum a escala nacional. Sin embargo,

no hay estudios específicos para la costa de México; en su mayoría son nacionales [Cerón y Yúnez, 2015]. A escala hogar, uno de los principales estresores es la pobreza, que se ve reflejada en la migración e importancia de las remesas [Aragonés, Ávila y Salgado, 2017]. Ver tabla 2.2 con las variables que se sugieren para el análisis de estresores socioeconómicos de socioecosistemas costeros.

Hay pocos estudios integrados para medir la resiliencia de estos sistemas acoplados [Ávila y Martínez, 2018; Zamora y Ávila, en dictamen]. En tanto no haya estudios puntuales y orientados a medir la resiliencia, tanto los estresores ecológicos como los socioeconómicos deben tomarse de diversas fuentes e interpretarse o adecuarse. Esta carencia es una invitación a orientar los estudios de los grupos de investigación interdisciplinaria hacia la identificación de estresores en socioecosistemas costeros de México.

Variables que estiman el efecto de los estresores de los socioecosistemas costeros

Las variables para estimar estresores indican que todos los sistemas socioecológicos reciben constantemente estímulos que causan estrés; por tanto, es necesario identificar dichos estímulos y diferenciar si son exógenos o endógenos. Como los estresores son múltiples, el nivel de efecto de cada uno de ellos está sujeto a una dependencia espacial y temporal; ambas son variables importantes para su consideración. Asimismo, como el efecto de cada estresor es desigual para cada una de las variables que definen al socioecosistema, es necesario implementar estudios comparativos dentro del mismo, ya sea comparando unidades ecológicas, unidades sociales o ambas.

La EPA incluye entre los estresores químicos: 1) los orgánicos, cualquier compuesto químico con carbono (por ejemplo, los plaguicidas, hidrocarburos, productos farmacéuticos y de cuidado personal en el agua y suelo costero); 2) los metales y otros compuestos inorgánicos que incluyen a los nutrientes como calcio, nitrógeno y fósforo; y 3) otros contaminantes emergentes como las nanopartículas y los microplásticos, ahora abundantes en el mar. Según Freedman [2015], si los estresores afectan a numerosos organismos, hay un daño ecológico de mayor escala. Ahora, entre los estresores biológicos, la EPA considera: 1) los introducidos no nativos o exóticos (por

ejemplo, el pez león en el Caribe); 2) los genéticamente modificados (en acuicultura); y 3) los patógenos como virus, bacterias y hongos. Entre los estresores biológicos, Freeman [2015] incluye a toda la variación de interacciones entre organismos de un ecosistema, las cuales pueden estar asociadas con interacciones tróficas. Adicionalmente, los estresores biológicos pueden ocurrir de manera indirecta como efecto de la intensidad de los factores químicos ambientales (por ejemplo, en los sistemas costeros, la competencia entre peces por escasez de nutrientes o en sistemas coralinos que compiten por el espacio). Por su parte, los estresores físicos según la EPA [1998], son: 1) las perturbaciones de los hábitat (ecosistemas costeros en este caso); y 2) los efectos en el paisaje de dichas perturbaciones, por ejemplo, la pérdida de conectividad entre ecosistemas marinos y terrestres. Estos estresores son los que la EPA relaciona para sus análisis de riesgo con las actividades humanas; los estresores físicos pueden eliminar ecosistemas o porciones de ellos y, por tanto, se vinculan con los estresores sociales. Freedman [2015] incluye entre los estresores físicos las exposiciones de corto plazo suficientemente intensas para dañar organismos y ecosistemas. Por ejemplo, tsunamis que son de origen natural, o antropogénicas como una explosión o un derrame de petróleo. Este mismo autor agrega a la clasificación de la EPA los estresores climáticos, relacionados con extremos altos o bajos en radiación solar, precipitación, temperatura y viento o la combinación de estas variables, como los huracanes.

Tabla 2.2 Listado de variables de estresores identificados en la literatura de zonas costeras.

Estresores físicos	Variables propuestas
Aire	Contaminantes en el aire (NOx, SOx, CO, etc.), nivel de polvo y partículas.
Clima	Régimen térmico, régimen pluviométrico, índices de aptitud climática, evapotranspiración.
Suelo	Profundidad, porosidad, textura, estructura, pedregosidad, conductividad hidraúlica, patrones de drenaje e inundaciones, disponibilidad, consistencia, erosionabilidad, litología, pH, contenido de carbono cálcico, recursos aprovechables, contenido de materia orgánica, nutrientes.
Agua	Descriptores fisicoquímicos (temperatura, pH, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales), nutrientes, otros contaminantes.

Tabla 2.2 Listado de variables de estresores identificados en la literatura de zonas costeras (continuación).

Estresores biológicos	Variables propuestas
Flora y vegetación	Abundancia, densidad, productividad, biomasa, dominancia, cobertura, composición florística, naturaleza primaria o secundaria de los ecosistemas costeros, diversidad de especies, diversidad en el paisaje, reversibilidad, rarezas, endemismos y especies en peligro de extinción, nivel de degradación.
Fauna	Principales cadenas tróficas, diversidad, abundancia del biotopo, rareza del biotopo en el contexto nacional o regional, estabilidad, abundancia, rareza y especies en peligro de extinción, interés científico, representatividad, atracción turística o recreativa, singularidad, identificación de especies raras, endémicas y en peligro de extinción, especies ordenadas, orden de vedas, estimación de captura, calidad de piezas capturadas.
Estresores socioeconómicos	**Variables propuestas**
Dinámica poblacional	Movimientos migratorios /inmigratorios.
Estructura poblacional	Proporciones de edad, de género, tasa de natalidad, de morbilidad, de mortalidad.
Características culturales	Estilos de vida, interacciones sociales, estructura de la propiedad, tradiciones.
Densidad de población	Densidad de población, proporción área verde/área transformada, tipos de urbanización, tipo de ruralidad.
Sector público	Pago de indemnizaciones (acceso al fondo de atención a desastres, aseguradoras privadas), presión fiscal.
Renta	Renta per cápita, valor del suelo, distribución de la renta.
Actividades y relaciones económicas	Actividades económicas, mercados, empleo, ocupación laboral por sector de actividad, ocupación laboral según profesiones.
Capacidad de adaptación	Capacidad individual, capacidad del hogar.
Características demográficas	Capital social, edad, etnicidad, género.
Salud	Necesidades funcionales, competencias lingüísticas, acceso, estrés, enfermedad-morbilidad, mortalidad, sanidad.
Tenencia de la tierra	Propietarios (privados, comunales, ejidales), rentistas, ilegales.
Características de la vecindad	Transporte, densidad poblacional, alojamiento, dependencia a los recursos.
Percepción del riesgo	Alerta, experiencias previas, conocimiento de esquemas de prevención y protección, negación o aceptación del riesgo, confianza en el personal oficial.
Estado socioeconómico	Ingreso, riqueza, educación, ocupación.

Ver apéndices 2.1 y 2.2 para literatura en sistemas arrecifales y dunas costeras.

Para los estresores socioeconómicos, otros autores mencionan indicadores temáticos y específicos para medir la vulnerabilidad social [Rufat et al., 2015] que no siempre indican resiliencia, pero pueden ser útiles para comenzar un estudio de estresores socioeconómicos en sistemas costeros. En México, la mayoría de los datos de este tipo (tabla 2.1) para comparaciones a nivel de país se encuentran en los censos nacionales del Inegi, y para localidades específicas, en estudios puntuales de académicos de las ciencias sociales y económicas. Algunas publicaciones sobre los indicadores antes señalados se relacionan con la actividad económica en el Golfo de México [Sánchez et al., 2004], con la observación turística de ballenas [Mayer et al., 2018] o con la valoración de las actividades de recreación en arrecifes de coral [Robles y Chang, 2018], entre otros.

En México, las investigaciones de los ecosistemas costeros a nivel nacional están completas para manglares (www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares2013/manglares.html), dunas costeras [Martínez et al., 2014a; Jiménez, Espejel y Martínez, 2015; Espejel et al., 2017] y sistemas arrecifales [Santander, Espejel y Ortiz, 2018]. Los humedales de agua dulce han sido estudiados en el Golfo de México por Moreno [2016]. Las especies de dunas costeras más estudiadas se localizan en la estación biológica de La Mancha en Veracruz (apéndice 2.1.), especies endémicas y aquellas con distribuciones muy restringidas como las lagunas interdunarias. Sin embargo, hacen falta más estudios de respuestas de los socioecosistemas costeros ante los diversos shocks que ocurren en las diferentes regiones del país e investigaciones sobre la tolerancia de las especies a factores físicos, químicos y biológicos (como herbivoría).

Ejemplo: sistemas arrecifales

A nivel mundial, se han publicado trabajos que proponen un modelo para evaluar la resiliencia ecológica de los arrecifes coralinos. Maynard et al. [2010] presentan diecinueve variables de estresores categorizados por importancia, es decir, indicadores críticos: conectividad, cobertura de coral, arrecifes previamente expuestos a estrés térmico y abundancia de especies resistentes; indicadores muy importantes: abundancia de colonias de coral maduras, disponibilidad del substrato, abundancia de herbívoros; e indicadores importantes: exposición a surgencias, reducción de la luz, ausencia

de bioerosionadores y ausencia de enfermedades de coral. Este tipo de modelos señalan la importancia de realizar estas evaluaciones que permitan identificar los sitios con menor potencial de resiliencia, con la finalidad de proponer medidas de manejo para reducir su vulnerabilidad [Maynard et al., 2015]. Además, estos modelos de evaluación de resiliencia se han traducido a guías para los manejadores de estos arrecifes que permiten visualizar el proceso de evaluación de resiliencia [Maynard y McLeod, 2012] y que pueden ser la base para su implementación en México.

De acuerdo con una aproximación similar a la propuesta por Cinner et al. [2016] para arrecifes coralinos del mundo, en el recuadro 2.2 se identificaron algunos de los estresores reportados para el caso específico de los arrecifes de coral mexicanos. Se detectaron algunos estresores generales, con sus variantes. Hay estresores a los que únicamente responden los corales, pero otros causan respuestas exclusivas en las algas, peces y otras especies. Asimismo, hay estresores que afectan regionalmente, por lo que se citan las referencias de la región donde se ha documentado la evidencia de respuestas al estresor.

Recuadro 2.2 Estresores identificados en sistemas arrecifales mexicanos.

En color gris se presentan quince estresores (marinos y terrestres) que han sido reportados para los arrecifes en México y en blanco los indicadores para evaluar algunos de estos estresores [Crook et al., 2012; Eakin et al., 2010; Wilkinson y Souter, 2008; Santander, Espejel y Ortiz, 2018; Reyes, 2001; McField et al., 2018; Burke y Maidens, 2005; Reyes et al., 2002; Carriquiry et al., 2001; Alva y Arias, 2014; Vásquez y Enríquez, 2016; Carricart et al., 2012; Bozec, Álvarez y Mumby, 2015; Ayala et al., 2015; Martínez, Manzanilla y Zavala, 2011; Álvarez y Gil, 2006; Álvarez, Millet y Reyes, 2009; Fenner, 1991; Rivera et al., 2004; Kramer et al., 2000; Ruiz et al., 2012; Jordán, Maldonado y Rodríguez, 2005; Carricart, Beltrán y Horta, 2011; Burke et al., 2011; Cróquer et al., 2006; Ward et al., 2006; Valadez y Ortiz, 2013; Baker, Rodríguez y Fogel, 2013; Victoria et al., 2017; García et al., 2011; Hayasaka y Ortiz, 2014; Baker et al., 2010; McField et al., 2018]. Los estresores con mayor número de indicadores reportados son los estresores marinos: incremento de la temperatura oceánica y enfermedades. En general,

estos estresores –marinos y terrestres– son permanentes, a excepción de los encallamientos de barcos que podrían ser eventos puntuales.

Ver apéndice 2.2 para la literatura revisada.

Para el caso de los arrecifes coralinos, la duración, la frecuencia y la intensidad de los estresores representan un importante efecto en los umbrales que determinan los diversos estados de los arrecifes y cambios en sus poblaciones [Dizon y Yap, 2006]; esto también repercute tanto en su recuperación como en su resiliencia [Baker, Glynn y Bernhard, 2008; Marshall y Schuttenberg, 2006; Obura, 2005]. Para el caso de los arrecifes del Caribe mexicano, desde la década de los noventa se reporta el blanqueamiento del coral a nivel especie, pero no se vincula el estresor con este efecto o síntoma [Carricart, 1993]. Recientemente se comienza a relacionar al estresor (aumento de la temperatura) con su efecto (blanqueamiento y mortalidad). En el trabajo presentado a nivel regional del Caribe por Eakin et al. [2010] se muestran los porcentajes de blanqueamiento y mortalidad de los corales después de un evento de estrés térmico importante en 2005. Para evaluar la salud de los arrecifes de esta región, McField et al. [2018] proponen una metodología que han desarrollado y presentado de manera pública para

una década que incluye medir cobertura de coral y de macroalgas carnosas, biomasa de peces herbívoros y de peces comerciales. Las metodologías de evaluación de este tipo de estresores a largo plazo son importantes y sirven como herramientas para evidenciar la recuperación, resiliencia o degradación de estos ecosistemas [Baker, Glynn y Bernhard, 2008].

También la escala espacial de los estresores en los arrecifes es importante; a nivel local, diversos factores de estrés pueden causar el blanqueamiento de los corales (tormentas, enfermedades, sedimentación, pesca con cianuro, herbicidas, metales pesados y cambios en la salinidad y temperatura); y en el ámbito regional, los eventos de blanqueamiento masivo están asociados con el incremento de la temperatura [Marshall y Schuttenberg, 2006]. Para el Caribe, se resalta el esfuerzo de los monitoreos de gran escala espaciotemporal entre diversos colaboradores de instituciones académicas para estos ecosistemas. La organización civil Arrecifes Saludables para Gente Saludable presenta datos de porcentajes de cobertura de coral, y de macroalgas carnosas, de biomasa de peces herbívoros y de peces con valor comercial [Healthy Reefs Initiative, 2016], que pueden ser utilizados para mostrar la relación causa-efecto de los estresores. Por ejemplo, para un arrecife en particular, relacionar (a corto y largo plazos) el incremento sostenido de las anomalías de la temperatura superficial del océano con estos datos puede servir como un ejercicio para vincular la causa-efecto del estrés térmico.

Se resalta la importancia de los trabajos nacionales que identifican diversos organismos tolerantes a los estresores y que pueden usarse como indicadores de recuperación o resiliencia de estos ecosistemas. Por ejemplo, la evidencia del aumento en porcentaje de cobertura de coral vivo, de esponjas y peces (algunas especies) antes y después de diversos huracanes en Cozumel [Álvarez y Gil, 2006; Álvarez, Millet y Reyes, 2009].

Los sistemas arrecifales son uno de los socioecosistemas mejor estudiados en México en el tema de estresores (tanto perturbaciones como shocks), sin embargo, el grado de conocimiento no es homogéneo para todo el país [Santander, Espejel y Ortiz, 2018].

Conclusiones

La investigación en materia de estresores queda limitada a los estudios de perturbaciones ecológicas, o a los de amenazas que realizan las ciencias sociales y ambientales. Queda mucho por hacer en materia de identificación de estresores, especialmente de shocks y de las variables estimables o medibles que ayuden a esclarecer la resiliencia de los socioecosistemas costeros.

Hay investigaciones de factores desencadenantes de degradación que causan shocks, como algunas enfermedades en especies particulares de algas y corales. En socioecosistemas, como las dunas costeras, se ha estudiado su resistencia o resiliencia a estresores exógenos como huracanes, y antropogénicos como cambios de uso de suelo; asimismo hay estudios de shock en organismos porque se conocen las tolerancias ecofislológicas a la herbivoría, por ejemplo. Sin embargo, se sabe muy poco de su tolerancia a estresores exógenos como son los contaminantes emergentes (por ejemplo, microplásticos) en ambos socioecosistemas.

Hay otros ecosistemas costeros, como los pastos marinos y los humedales de agua dulce, que han sido poco estudiados (a excepción de Moreno, 2016).

También faltan proyectos de largo alcance. Es importante proponer que las investigaciones de un socioecoecosistema obtengan variables para medir estresores (graduales y shocks), de la misma forma para estudios comparativos. Para estresores exógenos, los datos nacionales y continuos más citados son los del Inegi.

En especial los datos a nivel de hogar son una gran faltante en los estudios socioeconómicos de las comunidades costeras del país.

Destacan las investigaciones en el estado de Veracruz por sus observaciones de largo plazo en sistemas adaptados a situaciones extremas, como las dunas costeras de la estación biológica y área protegida conocida como "La Mancha", donde investigadores del Instituto de Ecología (Inecol) han llevado a cabo análisis ejemplares para retroalimentar el tema de resiliencia costera. Asimismo, los estudios del proyecto MexCal (https://mex-cal.org/projects/) en comunidades de mantos algales son de los primeros en analizar comunidades a lo largo de un gradiente amplio (Estados Unidos-México) y relacionarlas con factores ecológicos y de uso, por ejemplo, pesquero.

Se recomienda este tipo de investigaciones de largo plazo, ya sea que rescaten la historia de los socioecosistemas o les den continuidad permanentemente. Organizar la generación de datos y comprender el papel de los estresores en la resiliencia de los socioecosistemas de las costas de México es una tarea urgente e imperiosa.

Referencias

Adger, W. N. [2000], "Social and ecological resilience: are they related?", Progress in human geography, vol. 24, núm. 3, pp. 347-364.

Alva Basurto, J. C., y J. E. Arias González [2014], "Modelling the effects of climate change on a Caribbean coral reef food web", Ecological Modelling, núm. 289, pp. 1-14, <doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.06.014>.

Álvarez Filip, L., e I. Gil [2006], "Effects of Hurricanes Emily and Wilma on coral reefs in Cozumel, Mexico", Coral Reefs, vol. 25, núm. 4, p. 583, <doi.org/10.1007/s00338-006-0141-6>.

——— M. Millet Encalada y H. Reyes Bonilla [2009], "Impact of hurricanes Emily and Wilma on the coral community of Cozumel Island, Mexico", Bulletin of Marine Science, vol. 84, núm. 3, pp. 295-306.

Aragonés, A.M., V. S. Ávila Foucat y U. Salgado [2017], "Migración rural, remesas y su relación con la diversificación sustentable y los patrones de consumo. Un estudio de caso en la zona costera de Oaxaca", Migración y desarrollo, núm. 27, pp. 109-138.

Ávila Foucat V. S, y F. Martínez [2018], "Households' resilience to hurricanes in coastal communities of Oaxaca, Mexico", Society and Natural Resources, vol. 31, núm. 7, pp. 807-821.

——— y K. J. Rodríguez Robayo [2018], "Determinants of livelihood diversification: The case wildlife tourism in four coastal communities in Oaxaca, Mexico", Tourism Management, núm. 69, pp. 223-231.

Ayala Bocos, A., et al. [2015], "Proyección de cambios en la temperatura superficial del mar del Golfo de California y efectos sobre la abundancia y distribución de especies arrecifales", Revista Ciencias Marinas y Costeras, vol. 8, núm. 1, pp. 29-40, <doi.org/10.15359/revmar.8-1.2>.

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, vol. 15, núm. 62, pp. 75-107.

Baker, A. C., P. W. Glynn y R. Bernhard [2008], "Climate change and coral reef bleaching: an ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook", Estuarine, Coastal and Shelf Science, núm. 80, pp. 435-471.

Baker, D. M., et al. [2010], "Sea fan corals provide a stable isotope baseline for assessing sewage pollution in the Mexican Caribbean", Limnology and Oceanography, vol. 55, núm. 5, pp. 2139-2149, <doi.org/10.4319/lo.2010.55.5.2139>.

——— R. E. Rodríguez Martínez y M. L. Fogel [2013], "Tourism's nitrogen footprint on a Mesoamerican coral reef", Coral Reefs, vol. 32, núm. 3, pp. 691-699, <https://doi.org/10.1007/s00338-013-1040-2>.

Borics, G., G. Várbíró y J. Padisák [2013], "Disturbance and stress: different meanings in ecological dynamics?", Hydrobiologia, vol. 711, núm. 1, pp. 1-7.

Bozec, Y. M., L. Álvarez Filip y P. J. Mumby [2015], "The dynamics of architectural complexity on coral reefs under climate change", Global Change Biology, vol. 21, núm. 1, pp. 223-235, <doi.org/10.1111/gcb.12698>.

Burke, L., et al. [2011], Reefs at Risk Revisited, Washington, DC, <http://pdf.wri.org/reefs_at_risk_revisited.pdf>.

——— y J. Maidens [2005], Arrecifes en peligro en el Caribe, World Resources Institute, 80 pp.

Carricart Ganivet, J. P. [1993], "Blanqueamiento parcial en Porites porites (Cnidaria: Scleractinia) en el Arrecife de Isla Verde, Veracruz, México", Revista de Biología Tropical, vol. 41, núm. 3, pp. 495-498.

——— A. U. Beltrán Torres y G. Horta Puga [2011], "Distribution and prevalence of coral diseases in the Veracruz Reef System, Southern Gulf of Mexico", Diseases of Aquatic Organisms, vol. 95, núm. 3, pp. 181-187, <doi.org/10.3354/dao02359>.

——— et al. [2012], "Sensitivity of Calcification to Thermal Stress Varies among Genera of Massive Reef-Building Corals", Cahiers de Biologie Marine, vol. 53, núm. 1, pp. 65-76, <doi.org/10.1371/journal.pone.0032859>.

Carriquiry, J. D., et al. [2001], "Coral Bleaching and Mortality in the Mexican Pacific During the 1997-98 El Niño and Prediction From a Remote Sensing Approach", Bulletin of Marine Science, vol. 69, núm. 1, pp. 237-249.

Castillo, S. A., y P. Moreno Casasola [1996], "Coastal sand dune vegetation: an extreme case of species invasion", Journal of Coastal Conservation, vol. 2, núm. 1, pp. 13-22.

——— [1998], "Análisis de la flora de dunas costeras del litoral Atlántico de México", Acta Botánica Mexicana, núm. 45, pp. 55-80.

Cerón, H., y A. Yúnez Naude [2015], "Diversificación en la economía rural hacia actividades no agropecuarias y sus impactos en pobreza y desigualdad", pp. 117-156, en A. Yúnez Naude, et al. (coords.), La economía del campo mexicano: tendencias y retos para su desarrollo, México, Colegio de México, 601 pp.

Cnner, J. E., et al. [2016], "A framework for understanding climate change impacts on coral reef social-ecological systems", Regional Environmental Change, vol. 16, núm. 4, pp.1 133-1 146.

Cote, M., y A. J. Nightingale [2012], "Resilience thinking meets social theory: situating social change in socio-ecological systems (ses) research", Progress in Human Geography, vol. 36, núm. 4, pp. 475-489.

Crook, E. D., et al. [2012], "Calcifying coral abundance near low-pH springs: Implications for future ocean acidification", Coral Reefs, vol. 31, núm. 1, pp. 239-245, <doi.org/10.1007/s00338-011-0839-y>.

Cróquer, A., et al. [2006], "First report of folliculinid ciliates affecting Caribbean scleractinian corals", Coral Reefs, vol. 25, núm. 2, pp. 187-191, <doi.org/10.1007/s00338-005-0068-3>.

Dizon, R. T., y H. T. Yap [2006], "Understanding coral reefs as complex systems: degradation and prospects for recovery", Science, núm. 70, pp. 219-226, <doi.org/10.3989/scimar.2006.70n2219>.

Dunning, T. [2012], Natural experiments in the social sciences: a design-based approach, Cambridge, University Press.

Eakin, C. M., et al. [2010], "Caribbean corals in crisis: Record thermal stress, bleaching, and mortality in 2005", PLoS ONE, vol. 5, núm. 11, <doi.org/10.1371/journal.pone.0013969>.

epa [1992], Framework for Ecological Risk Assessment, <https://semspub.epa.gov/work/10/500006111.pdf>.

——— [1998], Guidelines for Ecological Risk Assessment EPA/630/R-25/002F, <https://www.epa.gov/sites/production/files/201411/documents/eco_risk_assessment1998.pdf>.

——— [2018], Environmental Protection Amendment Act, <https://www.environment.vic.gov.au/sustainability/environment-protection-reform/ep-bill-2018>.

Espejel, I., et al. [2017], "Flora en playas y dunas costeras de México", Acta Botánica Mexicana, núm. 121, pp. 39-81.

Falk D.A., A. C. Watts y A. E. Thode [2019], "Scaling Ecological Resilience", Front. Ecol. Evol., núm. 7, p. 275.

Fenner, D. P. [1991], "Effects of Hurricane Gilbert on coral reefs, fishes and sponges at Cozumel, Mexico", Bulletin of Marine Science, vol. 48, núm. 3, pp. 719-730.

Filatova, T., y G. Polhill [2012], Shocks in coupled socio-ecological systems: what are they and how can we model them?, <https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1820&context=iemssconference>.

Folke, C. [2006], "Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses", Global Environmental Change, vol. 16, núm. 3, pp. 253-267.

——— et al. [2010], "Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability", Ecology and Society, vol. 15, núm. 4.

Freedman, B. [2015], "Ecological Effects of Environmental Stressors", Environmental Science, septiembre, pp. 1-29, <doi:10.1093/acrefore/9780199389414.013.1>.

Gallego Fernández, J. B., y M. L. Martínez [2011], “Environmental filtering and plant functional types on Mexican foredunes along the Gulf of Mexico”, Ecoscience, vol. 18, núm. 1, pp. 52-62.

García Rivas, M. del C., et al. [2011], "Prevención y Manejo de Encallamientos de Embarcaciones en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, México: Una Respuesta Temprana para Lograr el Éxito", gcfi, núm. 64, pp. 192-196.

González Quintero C. y V. S. Ávila Foucat (en dictamen), Operationalization and measurement of social-ecological resilience.

Gunderson, L. H. [2000], "Ecological resilience-in theory and application", Annual review of ecology and systematics, vol. 31, núm. 1, pp. 425-439.

Harik, G., et al. [2017], “Implications of adopting a biodiversity-based vulnerability index versus a shoreline environmental sensitivity index on management and policy planning along coastal áreas”, Journal of Environmental Management, núm. 187, p. 187-200.

Haro Martínez, A. A., H. M. Arias Rojo e I. C. Taddei Bringas [2015], “El valor de los servicios ambientales en la cuenca baja del río Mayo”, Región y sociedad, vol. 27, núm. 63, pp. 31-59.

Hayasaka Ramírez, S., y L. Ortiz Lozano [2014], “Anthropogenic pressure indicators associated with vessel groundings on coral reefs in a marine protected area”, Ciencias Marinas, vol. 40, núm. 4, pp. 237-249, <doi.org/10.7773/cm.v40i4.2459>.

Healthy Reefs Initiative [2016], “Libreta de calificaciones correspondientes al Sistema Arrecifal Mesoamericano. Una evaluacion de la salud del ecosistema”, <http://www.healthyreefs.org/cms/wp-content/uploads/2012/12/Reporte-2008.pdf>.

Jiménez Orocio, O., I. Espejel y M. L. Martínez [2015], “La investigación científica sobre dunas costeras de México: origen, evolución y retos”, Revista Mexicana de Biodiversidad, vol. 86, núm. 2, pp. 486-507.

Jordán Dahlgren, E., M. A. Maldonado y R. E. Rodríguez Martínez [2005], “Diseases and partial mortality in Montastraea annularis species complex in reefs with differing environmental conditions (NW Caribbean and Gulf of México)”, Diseases of Aquatic Organisms, vol. 63, núm. 1, pp. 3-12, <doi.org/10.3354/dao063003>.

Kramer, P., et al. [2000], “Status of Coral Reefs of Northern Central America: Mexico, Belize, Guatemala, Honduras, Nicaragua and El Salvador”, pp. 287-313, en C. Wilkinson (ed.), Status of Coral Reefs of the World: 2000, Global Coral Reef Monitoring Network y Australian Institute of Marine Science, <http://www.bionica.info/biblioteca/Kramer2000.pdf>.

Mayer, M., et al. [2018], “The nexus between governance and the economic impact of whale-watching. The case of the coastal lagoons in the El

Vizcaíno Biosphere Reserve, Baja California, Mexico", Ocean and Coastal Management, vol. 162, núm. 1, pp. 46-59.

Marshall, P. y H. Schuttenberg [2006], A Reef Manager's Guide to Coral Bleaching, Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville, Australia, p. 163.

Martínez, A., N. S. Manzanilla y H. J. Zavala [2011], "Vulnerability to climate change of marine and coastal fisheries in México", Atmósfera, vol. 24, núm. 1, pp. 103-123.

Martínez, M. L., y P. Moreno Casasola [1996], "Effects of burial by sand on seedling growth and survival in six tropical sand dune species from the Gulf of Mexico", Journal of Coastal Research, pp. 406-419.

——— y E. Rincón [1994], "Sobrevivencia y crecimiento de plántulas de un arbusto endémico de dunas costeras ante condiciones de sequía", Acta Botánica Mexicana, núm. 26.

——— y T. Valverde [1992], "Germination response to temperature, salinity, light and depth of sowing of ten tropical dune species", Oecología, vol. 92, núm. 3, pp. 343-353.

——— y G. Vázquez [1997], "Effects of disturbance by sand movement and inundation by water on tropical dune vegetation dynamics", Canadian Journal of Botany, vol. 75, núm. 11, pp. 2 005-2 014.

Martínez, M. L., G. Vázquez y S. Sánchez Colón [2001], "Spatial and temporal variability during primary succession on tropical coastal sand dunes", Journal of Vegetation Science, vol. 12, núm. 3, pp. 361-372.

——— et al. [2014a], Diagnóstico de las dunas costeras de México, Sagarpa.

——— [2014b], "Land use changes and sea level rise may induce a 'coastal squeeze' on the coasts of Veracruz, Mexico", Global Environmental Change, núm. 29, pp. 180-188.

Maynard, J. A., et al. [2010], "Building resilience into practical conservation: Identifying local management responses to global climate change in the southern Great Barrier Reef", Coral Reefs, <doi.org/10.1007/s00338-010-0603-8>.

——— y E. McLeod [2012], "How to guide for conducting resilience assessments", The Nature Conservancy, p. 17, <www.reefresilience.org/pdf/How-to_Guide_Final.pdf>.

——— et al. [2015], "Assessing relative resilience potential of coral reefs to inform management", Biological Conservation, núm. 192, pp. 109-119.

Mcfield, M., et al. [2018], Report Card for the Mesoamerican Reef. Healthy Reefs Initiative, <www.healthyreefs.org>.

Mendoza González, G., et al. [2012], "Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico", Ecological Economics, núm. 82, pp. 23-32.

Moreno Casasola, P. [2008], "A case study of conservation and management of tropical sand dune systems: La Mancha-El Llano", en Coastal Dunes, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 319-333.

——— [2016], Servicios Ecosistémicos de las Selvas y Bosques Costeros de Veracruz, Inecol.

Morgan, M. S. [2013], "Nature's experiments and natural experiments in the social sciences", Philosophy of the Social Sciences, vol. 43, núm. 3, pp. 341-357.

Murray Núñez, R. M., et al. [2012], "Pérdidas de carbono en suelos de la Llanura Costera de Nayarit, México", Revista Bio Ciencias, vol. 1, núm. 4.

Obura, David O. [2005], "Resilience and Climate Change: Lessons from Coral Reefs and Bleaching in the Western Indian Ocean", Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 63, núm. 3, pp. 353-372.

Peterson, G. [2000], "Political ecology and ecological resilience: An integration of human and ecological dynamics", Ecological economics, vol. 35, núm. 3, pp. 323-336.

Pérez Campuzano, E. y C. S. Cerquera [2016], "Entre la pesca y el turismo: cambios económicos y demográficos recientes en la costa mexicana", Cuadernos Geográficos, vol. 55, núm. 1, pp. 283-308.

Pérez Hernández, O., et al. [2004], "Patrón espaciotemporal del amarillamiento letal en cocotero (Cocos nucifera L.) en Yucatán, México", Revista Mexicana de Fitopatología, vol. 22, núm. 2.

Reyes Bonilla, H. [2001], "Effects of the 1997-1998 El Niño-Southern Oscillation on coral communities of the Gulf of California, Mexico", Bulletin of Marine Science, vol. 69, núm. 1, pp. 251-266.

——— et al. [2002], "Effects of the El Niño-Southern Oscillation and the Anti-El Niño event (1997-1999) on coral reefs of the western coast of Mexico", Coral Reefs, vol. 21, núm. 4, pp. 368-372, <doi.org/10.1007/s00338-002-0255-4>.

Rivera Monroy, V. H., et al. [2004], "A conceptual framework to develop long-term ecological research and management objectives in the wider Caribbean region", BioScience, vol. 54, núm. 9, pp. 843-856.

Robles Zavala, E. y A. G. Chang Reynoso [2018], "The recreational value of coral reefs in the Mexican Pacific", Ocean and Coastal Management, vol. 157, núm. 1, pp. 1-8.

Rocha, J. C., et al. [2018], "Cascading regime shifts within and across scales", J. Sci. Levin, núm. 362, pp. 1 379-1 383.

Rocha Ramírez, et al. [2016], "Variación nictemeral de los ensamblajes de macrocrustáceos en una playa arenosa del centro-norte de Veracruz, México", Revista Mexicana de Biodiversidad, vol. 87, núm. 1, pp. 92-100.

Rodríguez Revelo, N., et al. [2014], "Análisis de proveniencia de las arenas del complejo de dunas parabólicas El Socorro, Baja California, México, mediante una caracterización mineralógica y granulométrica", Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, vol. 66, núm. 2, pp. 355-363.

——— [2019], "Análisis retrospectivo de la duna costera El Socorro, Baja California, México", Sociedad y Ambiente, núm. 21, pp. 155-183.

Rufat, S., et al. [2015], "Social vulnerability to floods: Review of case studies and implications for measurement", International Journal of Disaster Risk Reduction, núm. 14, pp. 470-486.

Ruiz Moreno, et al. [2012], "Global coral disease prevalence associated with sea temperature anomalies and local factors", Diseases of Aquatic Organisms, vol. 100, núm. 3, pp. 249-261, <doi.org/10.3354/dao02488>.

Sánchez Gil, P., et al. [2004], "Some socio-economic indicators in the Mexican states of the Gulf of Mexico", Ocean and Coastal Management, vol. 47, núms. 11-12, pp. 581-596.

Santander Monsalvo, J., I. Espejel y L. Ortiz Lozano [2018], "Distribution, uses, and anthropic pressures on reef ecosystems of Mexico", Ocean and Coastal Management, vol. 165, núm. 617, pp. 39-51, <doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.08.014>.

Seingier, G., I. Espejel y J. L. Fermán Almada [2009], "Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana", Investigación ambiental. Ciencia y política pública, vol. 1, núm. 1.

——— et al. [2011a], "Designing an integrated coastal orientation index: A cross-comparison of Mexican municipalities", Ecological Indicators, vol. 11, núm. 2, pp. 633-642.

——— et al. [2011b], "Mexico's coasts: Half-way to sustainability", Ocean & Coastal management, vol. 54, núm. 2, pp. 123-128.

——— O. Jiménez Orocio e I. Espejel (en prensa) [2019], "Vulnerability to the Effects of Climate Change: Future Aridness and Present Governance in the Coastal Municipalities of Mexico", en S. Lucatello, et al. (eds.), Stewardship of Future Drylands and Climate Change in the Global South. Challenges and Opportunities for the Agenda 2030, primavera, pp. 301-320.

Torres, W., et al. [2010], "Estructura, composición y diversidad del matorral de duna costera en el litoral yucateco", Boletín de la Sociedad Botánica de México, núm. 86, pp. 37-51.

Travieso Bello, A. C., P. Moreno Casasola y A. Campos [2005], "Efecto de diferentes manejos pecuarios sobre el suelo y la vegetación en humedales transformados a pastizales", Interciencia, vol. 30, núm. 1, pp. 12-18.

Valadez Rocha, V., y L. Ortiz Lozano [2013], "Spatial and temporal effects of port facilities expansion on the surface area of shallow coral reefs",

Environmental Management, vol. 52, núm. 1, pp. 250-260, <doi.org/10.1007/s00267-013-0098-5>.

Vásquez Elizondo, R. M., y S. Enríquez [2016], "Coralline algal physiology is more adversely affected by elevated temperature than reduced pH", Scientific Reports, núm. 6, enero, <doi.org/10.1038/srep19030>.

Vázquez, G., P. Moreno Casasola y O. Barrera [1998], "Interaction between algae and seed germination in tropical dune slack species: a facilitation process", Aquatic Botany, vol. 60, núm. 4, pp. 409-416.

Victoria Salazar, I., et al. [2017], "Did the community structure of a coral reef patch affected by a ship grounding recover after 15 years? Merging historical and recent data sets", Ocean and Coastal Management, vol. 144, julio, pp. 59-70, <doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.04.009>.

Ward, J. R., et al. [2006], "Coral diversity and disease in Mexico", Diseases of Aquatic Organisms, núm. 69, pp. 23-31.

Wilkinson, W., y D. Souter [2008], "Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005", gcrmn, 146 pp.

Zamora Maldonado, H. y V.S. Ávila Foucat (en dictamen), Social-ecological Resilience Modeling: Water Stress Effects in the Bighorn Sheep Management System in Baja California Sur, Mexico.

Apéndices

Apéndice 2.1 Literatura revisada con datos para identificación de estresores en sistemas de dunas costeras de México.

Estresores			
Agentes que modifican (fuerzas motrices)	Variables	Región	Referencia
Aumento de temperatura y sequía	Modificación de los patrones de floración y fructificación	Golfo de México	Martínez, Valverde y Moreno, 1992
	Modificación en la diversidad de fauna	Pacífico Norte	Martínez, Moreno y Rincón, 1994
Eventos hidrometeorológicos	Movimiento de arena en dunas costeras y recuperación	Golfo de México	Martínez, y Moreno, 1996
			Martínez, Vázquez y Sánchez, 2001
	Inundación extrema de lagunas interdunarias	Golfo de México	Martínez, Moreno y Vázquez, 1997
			Vázquez, Moreno y Barrera, 1998
Contaminación	Contaminación por agroquímicos	Pacífico Sur	
	Contaminación de mantos freáticos	Pacífico Norte	
Fragmentación y perforación	Caminos, carreteras y rancherías o poblados	Pacífico Norte, Pacífico Sur, Golfo de California, Golfo de México y Caribe	Castillo y Moreno, 1998
			Torres et al., 2010
			Martínez et al., 2014a
Compactación		Pacífico Sur	Murray et al., 2012
		Golfo de México	Rocha et al., 2016
Especies exóticas		Pacífico Norte, Pacífico Sur, Golfo de California, Golfo de México, Caribe	Castillo y Moreno, 1996
			Espejel et al., 2017
Enfermedades	En cultivos sobre dunas	Caribe	Pérez et al., 2004
Desarrollo costero	Turismo urbano	Pacífico Norte, Pacífico Sur, Golfo de California, Golfo de México y Caribe	Seingier, Espejel y Almada, 2009
	Agropecuario	Golfo de México	Travieso, Moreno y Campos, 2005
			Mendoza et al., 2012
	Acuicultura	Golfo de California, Sonora y Sinaloa	Haro, Arias y Taddei, 2015
	Minería	Golfo de México, Veracruz	
		Pacífico Norte, San Quintín	Rodríguez et al., 2014, 2019

Apéndice 2.2 Literatura revisada con datos para identificación de estresores en sistemas arrecifales de México.

Agentes que modifican (fuerzas motrices)	Estresores Variables	Región	Referencia
Acidificación del océano	Decremento de la tasa de calcificación en corales	Caribe	Crook et al., 2012
Incremento de la temperatura oceánica	Reporte de blanqueamiento	Caribe	Eakin et al., 2010; Wilkinson y Souter, 2008
		Pacífico Norte, Pacífico Sur, Golfo de California, Golfo de México y Caribe	Santander, Espejel y Ortiz, 2018
		Caribe	Wilkinson y Souter, 2008
	Blanqueamiento por efecto ENSO	Golfo de California	Reyes, 2001
	Porcentaje de coral blanqueado	Caribe, Pacífico Norte y Pacífico Sur	McField et al., 2018
	Observaciones blanqueamiento	Caribe	Burke y Maidens, 2005
	Cambio en porcentaje de cobertura de coral vivo por efecto ENSO y Anti-Niño	Golfo de California, Pacífico Sur	Reyes et al., 2002; Carriquiry et al., 2001
	Decremento en biomasa coral*	Caribe	Alva y Arias, 2014
	Sensibilidad de algas coralinas al aumento de temperatura	Caribe	Vásquez y Enríquez, 2016
	Reducción tasas de calcificación en corales	Caribe	Carricart et al., 2012
	Pérdida de rugosidad del arrecife por estrés térmico*	Caribe	Bozec, Álvarez y Mumby, 2015
	Pérdida en % población organismos de importancia económica (peces) por aumento en tendencias de elevación temperatura promedio océano*	Golfo de California	Ayala et al., 2015
	Efectos en organismos de importancia económica: pargos, cabrillas, langostas, caracol, erizos y pulpo	Pacífico Norte, Golfo de México y Caribe	Martínez, Manzanilla y Zavala, 2011

continúa...

Apéndice 2.2 Literatura revisada con datos para identificación de estresores en sistemas arrecifales de México (continuación).

Agentes que modifican (fuerzas motrices)	Estresores Variables	Región	Referencia
Eventos hidrometeorológicos	Daño a corales por huracanes	Caribe	Wilkinson y Souter, 2008; Álvarez y Gil, 2006; Álvarez, Millet y Reyes, 2009; Fenner, 1991
	Disturbio por huracanes	Caribe	Rivera et al., 2004
Contaminación		Pacífico Norte, Pacífico Sur, Golfo de California, Golfo de México y Caribe	Santander, Espejel y Ortiz, 2018
Contaminación terrestre		Caribe	Burke y Maidens, 2005
Contaminación agricultura, industria y urbano		Golfo de México	Kramer et al., 2000
Fragmentación		Pacífico Norte, Pacífico Sur, Golfo de California, Golfo de México y Caribe	Santander, Espejel y Ortiz, 2018
Sobrepesca		Pacífico Norte, Pacífico Sur, Golfo de California, Golfo de México y Caribe	Santander, Espejel y Ortiz, 2018
		Caribe	Burke y Maidens, 2005
		Golfo de México	Kramer et al., 2000
Especies exóticas		Pacífico Norte, Pacífico Sur, Golfo de California, Golfo de México y Caribe	Santander, Espejel y Ortiz, 2018
Sedimentación		Pacífico Norte, Pacífico Sur, Golfo de California, Golfo de México y Caribe	Santander, Espejel y Ortiz, 2018

Apéndice 2.2 Literatura revisada con datos para identificación de estresores en sistemas arrecifales de México (continuación).

Agentes que modifican (fuerzas motrices)	Estresores Variables	Región	Referencia
Enfermedades	Enfermedad Banda Amarilla	Pacífico Sur, Golfo de California, Golfo de México y Caribe	Santander, Espejel y Ortiz, 2018
		Caribe	Ruiz et al., 2012
		Caribe y Golfo de México	Jordán, Maldonado y Rodríguez, 2005; Carricart, Beltrán y Horta, 2011
	Enfermedad de la Plaga Blanca y Serriatosis de Acróporas	Golfo de México	Carricart, Torres y Horta, 2011
		Caribe	Burke et al., 2011; Ruiz et al., 2012; Burke y Maidens, 2005
	Enfermedad de los Lunares Oscuros	Caribe	Ruiz et al., 2012
		Golfo de México	Carricart, Torres y Horta, 2011
	Infecciones por ciliados	Caribe	Ruiz et al., 2012
	Manchas de blanqueamiento no asociadas con efectos térmicos	Caribe	Ruiz et al., 2012
	Enfermedad de la Banda Negra	Caribe	Ruiz et al., 2012
		Golfo de México	Carricart, Torres y Horta, 2011
	Macroparásitos	Caribe	Cróquer et al., 2006
	Aspergiliosis	Caribe	Ward et al., 2006
	Hiperplasia	Golfo de México	Carricart, Torres y Horta, 2011
Desarrollo costero	Infraestructura portuaria	Caribe	Burke y Maidens, 2005
		Golfo de México	Valadez y Ortiz, 2013
Turismo	Nutrientes (especies nitrogenadas)	Caribe	Baker, Rodríguez y Fogel, 2013
Encallamiento barcos	Daño estructural	Caribe	Victoria et al., 2017; García et al., 2011
		Golfo de México	Hayasaka y Ortiz, 2014
Eutrofización	Por descargas de drenaje	Caribe	Baker et al., 2010

* Simulación, modelos

CAPÍTULO 3

Los umbrales en los socioecosistemas costeros

Alejandro Espinoza Tenorio
César Vázquez González
José Alberto Zepeda Domínguez
Mariana Reyna Fabián
Omar Cervantes
Laura Vidal Hernández
Karina Esqueda Lara
Ileana Espejel
Armando Carmona Escalante

Introducción

Los requerimientos para satisfacer las necesidades de una creciente población humana han intensificado la explotación de los ecosistemas, lo que ha traído muchas clases de impactos sobre los recursos naturales. La magnitud de la degradación y sus implicaciones varían, y sus repercusiones pueden ir desde muy graves en algunos sitios, hasta –temporalmente– no visibles en otros. A través del tiempo, los sistemas pueden absorber perturbaciones sin evidenciar cambios sustanciales, sin embargo, una vez que la perturbación, o la acumulación de estas, cruzan un punto, el sistema puede dar un cambio cualitativo de manera relativamente abrupta [Blythe, Murray y Flaherty, 2014]. Aun cuando las verdaderas consecuencias de las actividades humanas sobre la naturaleza permanecen desconocidas, las secuelas sobre el planeta son tan contundentes que a nuestro tiempo se le ha denominado la era del Antropoceno [Crutzen, 2002].

A los esfuerzos por entender y propiciar relaciones sustentables entre los sistemas sociales y ambientales, como se menciona en la introducción, se les ha denominado enfoques del "pensamiento de la resiliencia" (resilience thinking) [Baggio y Calderón, 2017], cuya aplicación en la gestión de los recursos naturales busca conservar la salud de los ecosistemas y con ello mantener los servicios que proveen al bienestar humano. Este acercamiento sistémico propone que los socioecosistemas son adaptativos, complejos y acoplados [Folke 2006; Baggio, Brown y Hellebrandt, 2015]; es decir, poseen una dinámica no lineal, donde pueden ocurrir cambios de estado inesperados e indeseables [Schlüter et al., 2012]. En este sentido, uno de los aspectos fundamentales de este modelo de gestión es conservar la capacidad del sistema para adaptarse al cambio y responder de forma flexible a los posibles cambios no lineales. Se trata de conservar y promover, como

defensas contra la incertidumbre, la diversidad ecológica y social y la multifuncionalidad de los ecosistemas para proveer servicios [Fogarty, 2013]. Por esta razón, se requiere un mínimo de las condiciones biofísicas y los servicios ecosistémicos para generar bienestar humano.

Un umbral o punto de inflexión es el valor mínimo a partir del cual se produce un efecto determinado y, como propiedad inherente a los sistemas adaptativos complejos, expresa el límite crítico y cuantitativo de un socioecosistema para resistir los impactos sin que se altere su estructura y funcionalidad [Carpenter y Gunderson 2001; Folke et al., 2002]. La naturaleza autoorganizacional, compleja y adaptativa implica que los sistemas adaptativos casi nunca responden de forma lineal a la perturbación o con cambios graduales en variables clave; en su lugar, por lo general, muestran pocas respuestas a las alteraciones graduales en curso [Baggio y Calderón, 2017].

La comprensión de los umbrales es crítica porque cruzarlos puede generar consecuencias inesperadas, cambios de largo plazo en los socioecosistemas que implican consecuencias significativas tanto para los ecosistemas como para las sociedades humanas que de ellos dependen. La relevancia de conocer los umbrales se relaciona con la comprensión de que una vez cruzados es extremadamente difícil y costoso revertir esta transición [Scheffer et al., 2001; Scheffer, 2009; Blythe, Murray y Flaherty, 2014; Selkoe, Blenckner y Caldwell, 2015]. Por desgracia, las condiciones en que ocurren los cambios de régimen de los socioecosistemas permanecen poco conocidas [Bueno y Basurto, 2009], lo que implica que los umbrales de recuperación, que han sido evolutivamente moldeados como respuestas de los sistemas naturales, pueden ser rebasados por los impactos generados por el vertiginoso crecimiento humano [Jacobs, 1975]. Para tener la capacidad de vivir en tiempos turbulentos, se ha aprendido que la varianza tiende a incrementarse cerca de puntos de inflexión, donde hay que esperar lo inesperado; escenarios favorables o adversos pueden acaecer [Folke, 2018].

La zona costera es uno de los ambientes altamente modificados y de cuyos umbrales de recuperación aún queda mucho por conocer. Los ecosistemas costeros se encuentran en una zona de interacción, donde el encuentro entre el mar y el continente crean condiciones dinámicas y complejas. El encuentro de ambos ambientes sujetos al creciente aprovechamiento humano crea un efecto sinérgico y ocasiona que los socioecosistemas costeros se adapten a condiciones muy particulares, pero también sean

susceptibles a muchos tipos de amenazas. En la zona costera cada vez son más frecuentes las especies en peligro de extinción, las áreas amenazadas por la contaminación, la pérdida de acceso a las playas y la vulnerabilidad de los ecosistemas y de las comunidades humanas a los potenciales impactos de fenómenos asociados al cambio climático (por ejemplo, inundaciones, sequías, huracanes, lluvias intensas, incremento del nivel del mar y variaciones de temperatura) [Harley et al., 2006]. Estas contingencias ambientales han ocasionado un creciente número de conflictos entre las actividades productivas que dependen de los bienes que proveen los ecosistemas costeros [Hauck y Sweijd, 1999; Primavera, 2006; Pomeroy et al., 2007].

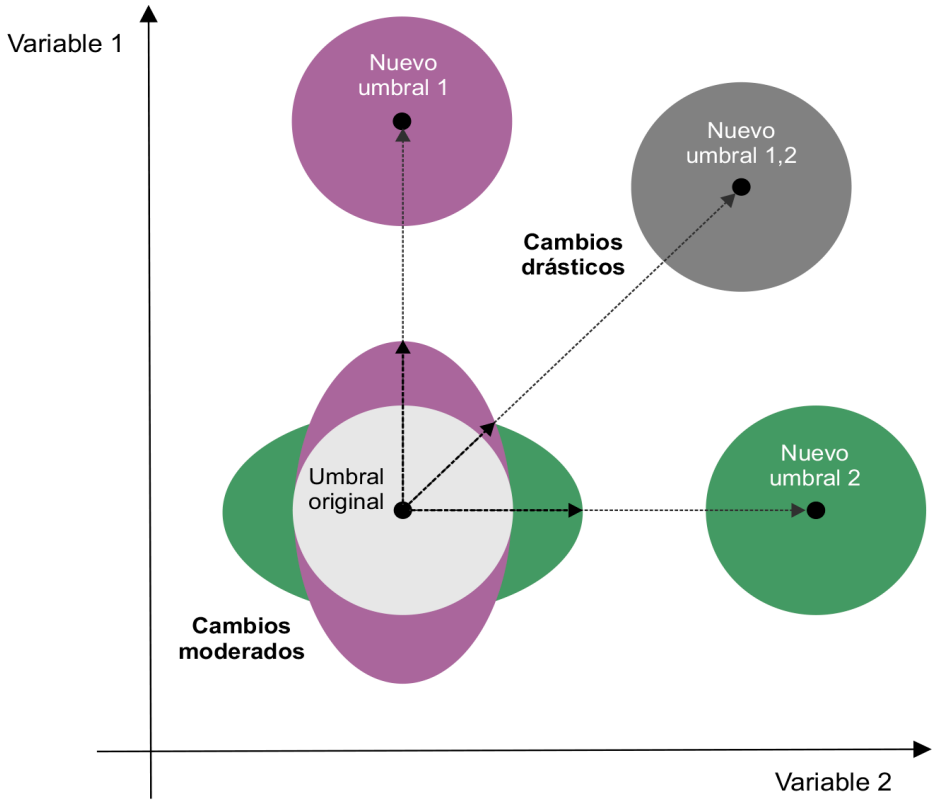
Al reflexionar sobre cuáles son los límites que los socioecosistemas costeros tienen para mantenerse de forma similar a como los hemos observado durante los últimos cientos de años, este capítulo busca responder algunas preguntas: ¿qué es un umbral?, ¿cuáles son los componentes clave de un socioecosistema que le confieren la habilidad de fluctuar dentro de un rango sin cambios profundos?, ¿qué conocemos sobre límites de los socioecosistemas costeros?, ¿de qué manera la naturaleza de los impactos acumulativos [Halpern et al., 2008; Bueno y Basurto, 2009; Selkoe, Blenckner y Caldwell, 2015] erosiona el umbral de un socioecosistema costero? Asimismo, debido a que la finalidad de la resiliencia es recuperar, mantener y mejorar los elementos clave de un socioecosistema, proponemos que tales componentes pueden ser agrupados y evaluados a partir de los capitales y medios de vida [Plummer y Armitage, 2007]. Para describir las variables que componen a los capitales se presenta el caso de las inundaciones en hogares costeros. Con ello se pueden contestar las preguntas: ¿resiliencia a qué? y ¿resiliencia de qué? [Carpenter et al., 2001]. En este sentido, el caso de estudio pretende mostrar las variables e indicadores seleccionados para evaluar la resiliencia y sus respectivos umbrales en un socioecosistema costero.

Umbrales

Las características de los sistemas adaptativos complejos, son: autoorganización, no linealidad y efectos de umbrales [Baggio y Calderón, 2017]. La capacidad de autoorganización ocurre por las interacciones cíclicas entre los componentes del sistema, las cuales determinan sus propiedades y generan

patrones que influyen en las interacciones que las producen [Levin, 1998; Walker et al., 2002]. Esta autoorganización le permite a las variables de un sistema complejo, la cualidad de fluctuar dentro de un rango específico sin generar cambios profundos de régimen en el sistema [Baggio y Calderón, 2017]. Aunque todos los componentes son importantes, hay algunas variables clave que controlan más que otras el sistema; por tal motivo, mientras ellas se encuentren autoorganizadas dentro de un umbral, el sistema permanecerá sin cambios importantes y podrá incluso existir en diferentes grados de autoorganización. De esta manera, hasta que una de las variables de control recibe suficientes efectos o impactos externos, el sistema cruza el umbral de cambio y se reorganiza, o cambia de régimen (figura 3.1).

Figura 3.1 Esquema de la redefinición de los umbrales en un socioecosistema de acuerdo con la capacidad de fluctuar de una o dos variables clave ante diferentes tipos de cambios.



A la idea de que los socioecosistemas están autoorganizados de manera jerárquica y al hecho de que estas relaciones jerárquicas entre variables originan sistemas anidados dentro de sistemas más grandes (escalas), se le denomina "panarquía" [Holling, 2001]. Central para esta idea, es la noción de que las conexiones a través de diversos niveles de panarquía son determinantes para las dinámicas de autoorganización en los sistemas adaptativos complejos. La reorganización de uno de los sistemas anidados puede generar cambios a escalas espaciales y temporales mayores; sin embargo, este rasgo de los sistemas anidados también implica que diversas escalas pueden contribuir a la continuidad de un sistema dentro de un umbral, o incluso a su recuperación después de un impacto externo [Gunderson y Holling, 2001; Holling, 2004].

La naturaleza compleja de las relaciones sistémicas implica que la resiliencia de un sistema anidado dentro de uno más grande, no necesariamente conduce a la construcción de la resiliencia general del sistema, y viceversa [Carpenter et al., 2001]. La resiliencia de los socioecosistemas es, por tanto, dependiente de las características específicas del sistema en su contexto local, que varían en el tiempo y el espacio, pero también de tres propiedades principales que todos los socioecosistemas tienen y que afectan directamente su resiliencia. Algunos de los atributos para que los sistemas mantengan sus servicios ecosistémicos, propuestos por Biggs et al. [2012 2015], son la diversidad, la conectividad y la retroalimentación (tabla 3.1).

Límites de los socioecosistemas costeros

En el manejo de los recursos naturales, un umbral es importante para definir el punto en el cual una acción comienza a tener consecuencias sobre los diferentes niveles de agrupación ecológica, como individuos, poblaciones, comunidades, ecosistemas o a nivel de paisaje [Krebs, 2008], así como el resultado de la interacción de los seres humanos con el ambiente, el cual es conocido como los bienes y servicios que los ecosistemas le proporcionan a la sociedad [Millennium-Ecosystem-Assessment, 2005]. Esto implica definir el punto en el cual el cambio ambiental amenaza la capacidad del socioecosistema de proveer un servicio.

La búsqueda de los límites que soportan los sistemas no es nueva en el manejo de los recursos, pues ha habido diferentes enfoques para entender

Tabla 3.1 Algunos principios para la resiliencia de un socioecosistema que influyen sus umbrales.

Propiedad	Definición	Por qué es importante para identificar un umbral	Ejemplos	Fuentes
Diversidad	Heterogeneidad de los componentes	Más opciones para responder a las perturbaciones	Tipos de paisaje, especies de flora o fauna, sistemas de conocimiento, actores, grupos culturales o instituciones	Baggio y Calderón, 2017
Conectividad	Componentes que están interconectados y la intensidad de las conexiones	Facilita la recuperación ecológica y la conservación de la diversidad biológica, además de ayudar a difundir ideas; sin embargo, también aumenta la velocidad y la intensidad de perturbaciones	Positivos: migración de las especies, polinización de las plantas, difusión de ideas y estrategias de innovación. Negativos: migración de plagas, propagación de fuego	Schoon et al., 2014; Baggio y Hillis, 2016; Baggio y Calderón, 2017
Retroalimentación	Interdependencias existentes dentro y entre los sistemas	La identificación y gestión de variables que desestabilicen o estabilicen los patrones de retroalimentación pueden proveer insumos para identificar cambios abruptos de régimen	Adaptación de la sociedad ante fenómenos meteorológicos extremos	Tolentino, 2015; Baggio y Calderón, 2017

y medir la capacidad del medio ambiente para soportar una actividad y, de esta forma, determinar la escala o rango de variación para no amenazar el ambiente. Las tolerancias ambientales investigadas por la ecofisiología o la ecología de poblaciones están entre las aproximaciones más estudiadas para identificar límites máximos de tolerancia a contaminantes o variables físicas, como la temperatura, por parte ya sea de organismos o de subconjuntos de una población. También los estudios evolutivos de poblaciones de especies que pueden estar más dentro de la adaptación o extinción, de reducción del ámbito hogareño.

Otro término comúnmente utilizado es la capacidad de carga, que se aplica para evaluar la posibiliddad de los ecosistemas para dar cabida a una acción en particular o a la tasa de una actividad sin producir impacto inaceptable [Gesamp, 1986]. La capacidad de carga es una manera de medir el umbral ecológico frente al efecto de actividades humanas, y se mide con

base en normas de calidad ambiental establecidas. En la definición de los límites al cambio, es esencial mantener una cierta resiliencia en términos de prestación de servicios.

La capacidad de carga recreativa en las playas permite establecer pautas y estrategias de gestión sustentable, impulsadas entre los diferentes actores que tienen presencia e inciden en las playas, y encaminadas a determinar su uso perdurable, de manera que los elementos y propiedades que las integran (sedimentos, dinámica, amplitud, flora y fauna) y los servicios ambientales (activo ambiental) que proveen a la sociedad, se mantengan y, por ende, también su calidad y atractivo como ecosistema. Sin embargo, los escenarios observados nos refieren sitios concurridos, en donde una distribución espacial desordenada, una inadecuada disposición y gestión de residuos sólidos y sanitarios, y una competencia entre usos y actividades por el espacio, han traído consigo cambios y modificaciones en el paisaje y en su funcionalidad como ecotono, lo que pone en riesgo la propia permanencia del ecosistema arenoso. Es aquí donde el término capacidad de carga en playas cobra relevancia, pues nos permite establecer cuotas máximas de visitantes o espacios mínimos disponibles (umbrales), sin afectar de manera negativa e irreversible sus funciones ecosistémicas y su capacidad de regeneración (resiliencia), al lograr un equilibrio entre su aprovechamiento y su mantenimiento en un ámbito de desarrollo sostenible y prácticas sustentables.

Recuadro 3.1 Capacidad de carga en la acuicultura.

La acuicultura es una actividad económica que impacta el ambiente a través de tres procesos: la utilización de recursos (espacio físico, materiales de construcción, semilla o crías a cultivar y alimento para el crecimiento); la transformación de estos recursos en un producto (la misma práctica acuacultural puede tener efectos locales sobre el ecosistema); y la producción y asimilación de desechos.

La capacidad ambiental o capacidad de carga es un término utilizado para describir la producción de acuicultura que puede ser sostenida por un ambiente sin alterarlo más allá de su resiliencia. Todos los modelos de capacidad de carga en acuicultura deben tomar en cuenta [Beveridge, 2004]:

- Los parámetros fisicoquímicos y biológicos clave en la productividad natural del ambiente.
- El balance entre el alimento administrado, consumido y los desechos producidos.
- La respuesta y asimilación del ambiente a las descargas de desechos.
- Los límites o fronteras del cambio permisible.

El impacto al medio ambiente de cada instalación acuícola depende de distintos factores, tanto los propios del cuerpo de agua, como su fisiografía, batimetría, topografía, corrientes (tiempo de residencia y recambio de agua) y naturaleza de los sedimentos, como los factores propios de la actividad acuícola, como las especies a cultivar (peces, crustáceos, moluscos, algas, etc.), su densidad de cultivo y su asimilación y aprovechamiento de nutrientes.

Para cuantificar el impacto de los desechos sobre parámetros de calidad del agua en cuerpos de agua costeros, se han utilizado indicadores de la productividad como el oxígeno disuelto (DQO y DBO), la concentración de microalgas y de especies moleculares de nitrógeno. Otro tipo de enfoque es el de modelar el impacto a través del bentos, más que en la columna de agua, monitoreando características importantes como contenido orgánico de los sedimentos, comunidad biológica y presencia de gases producto de la descomposición microbiana, entre otros indicadores.

El desarrollo de la acuicultura debe estar siempre dentro de la capacidad de carga del ecosistema. Un enfoque ecosistémico examina más detenidamente la conveniencia de los diferentes niveles de nutrientes en distintas partes de un ecosistema acuícola, desde la perspectiva de los distintos usuarios y en términos de la estabilidad del sistema en su conjunto. Por tanto, es necesario que haya un enfoque flexible y participativo para el establecimiento de normas de calidad del agua y del ambiente. Esto resulta particularmente importante en la práctica, ya que la acuicultura casi siempre comparte de alguna forma los cuerpos de agua con otro tipo de actividades humanas, las cuales impactan de formas distintas al ecosistema costero, lo que a su vez afecta la capacidad de carga de estos.

La determinación de la capacidad de carga para acuicultura puede partir de un modelo predictivo, sin embargo, se trata de un proceso que se basa en la evaluación y el monitoreo constantes del ambiente, considerando: i) los impactos sobre la calidad del agua y los sedimentos, que incluyen propiedades fisicoquímicas y biológicas; ii) el estado de eutrofización y el impacto sobre hábitat sensibles, como manglares, praderas de algas marinas, etcétera; y iii) otros efectos sobre la fauna y la flora.

Existen propuestas de manejo de ecosistemas basadas en la resiliencia (resilience-based managment) que tienen como objetivo identificar y priorizar las acciones de manejo que confieren resiliencia a los ecosistemas bajo ciertos niveles de riesgo o de incertidumbre, así como priorizar, a nivel local y regional, el conocimiento para predecir estos umbrales [McLeod et al., 2019]. Así, aunque los socioecosistemas costeros tienen diferentes componentes que pueden ser expresados a partir de variables complejas [Qasim, Qasim y Shrestha, 2016], en algunos casos, la definición de límites para el cambio es relativamente sencilla (tabla 3.2). Por ejemplo, una cierta concentración de nutrientes en el agua puede provocar florecimientos algales nocivos. Este punto se puede llamar un umbral caracterizado por diferencias significativas en cuanto a la prestación de servicios.

Al ser el umbral la zona de transición en el desarrollo de un socioecosistema que una vez sobrepasada aparecen nuevas propiedades que definen un nuevo sistema, resultan ineficaces las predicciones realizadas desde una concepción lineal del cambio. Este punto crítico o punto de inflexión (tipping points) lo constituyen zonas de rápido cambio bajo relaciones no lineales entre la condición de los ecosistemas y la intensidad de los conductores del cambio. Al respecto, Selkoe et al. [2015] consideraron factores de cambio antropogénicos (por ejemplo, la contaminación, el uso de los recursos marinos y las decisiones de los usuarios sobre el manejo del sistema marino) para proponer los siguientes principios relacionados con umbrales o puntos de inflexión, en el manejo de los sistemas marinos:

- Estos son comunes.
- El uso humano intenso puede causarlos debido a la alteración radical de la estructura y de las funciones ecológicas.
- Los indicadores de emergencia temprana proveen respuestas de prevención.
- Cruzar un punto de inflexión puede redistribuir los beneficios de los ecosistemas.
- Cambian el balance entre los costos de acción y de inacción.
- Los umbrales pueden guiar la configuración de los objetivos del manejo de los sistemas.
- El manejo escalonado puede reducir la monitorización de los costos a través del control del riesgo.

Tabla 3.2 Umbrales en socioecosistemas costeros.

Nivel ecológico	Medición	Umbral	Fuente
Especie: mamíferos marinos	Ruido que tiene la capacidad potencial de provocar daños fisiológicos en el sistema auditivo de los cetáceos	180 dB re 1 μPa (RMS)	Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión, 2014
Especie: tortugas	Estructura y reclutamiento poblacional	Porcentaje de abundancia anual promedio de nidadas de tortuga blanca por kilómetro: < 3 % (malo); 3-5 % (regular); > 5.1 % (bueno). Porcentaje de abundancia anual promedio de nidadas de tortuga carey por kilómetro: < 2.5 % (malo); 2.5-4 % (regular); > 4.1 % (bueno). Porcentaje del promedio anual de emergencia de crías: < 50 % (malo); 50-80 % (regular); > 80 % (bueno).	Pronatura - Yucatán. Programa de conservación de la tortuga marina
Especie: flamenco	Productividad y tamaño poblacional	Productividad: ≥ 60 % huevos exitosos (bueno); < 60 % (malo). Tamaño poblacional: ≥ 32 000 individuos (bueno); < 32 000 (malo).	Reporte para la costa yucateca
Hábitat: playa	Calidad de agua: Índice Trix (nitrógeno y fósforo inorgánicos, clorofila-a y saturación de oxígeno)	2 < Trix < 5 estado trófico bajo. 5.1 < Trix < 6 estado trófico regular. Trix > 6 estado trófico alto.	Herrera y Morales, 2009
Hábitat: playa	Florecimientos algales nocivos (marea roja)	Bueno: especies > 2 y abundancia < 166 células por mililitro. Regular: especies 3 a 4 y abundancia < 166 a 220 células por mililitro. Malo: especies > 4 y abundancia > 220 células por mililitro.	Herrera y Morales, 2009
Hábitat: manglares		< 20 % de árboles muertos (bueno); 20-50 % de árboles muertos (regular); > 50 % de árboles muertos (malo).	
Hábitat: pastos marinos	Cambio en la cobertura	< 10 % (malo); 10-50 % (regular); > 50 % (malo).	
Hábitat: arrecifes de coral	Cambio en la cobertura	> 50 % (cambio de fase a arrecife dominado por macroalgas).	López et al., 2002
Hábitat: procesos erosivos	Condición de la playa. Índice compuesto por ancho de playa (distancia entre el nivel medio del mar hasta el pie de la primera duna); vegetación (presencia/ausencia); estructuras (presencia/ausencia).	> 0.5 (vulnerabilidad baja); < 0.5-0 (vulnerabilidad media); negativo (vulnerabilidad alta).	Mendoza et al., 2013

Selkoe, Blenckner y Caldwell [2015] describieron también los parámetros ecológicos de un sistema marino y su relación con la resiliencia a partir de determinar el estado de dominancia de algas por especie. Es decir, establecieron que una baja dominancia de las algas implica menos del 30 % de probabilidad de cambio de estado, mientras que una alta dominancia de las algas implica menos del 50 % de probabilidad de recuperación del sistema. Estos parámetros pueden ser utilizados para monitorear los puntos de inflexión y evitar los cambios de régimen, así como para mantener el status quo de la producción pesquera.

Recuadro 3.2 Umbrales y capacidad de carga en el puerto de Sisal, Yucatán.

Se analizaron las condiciones de cambio en el puerto de Sisal, Yucatán, que podrían generar el desarrollo de un nuevo socioecosistema enfocado en el turismo costero, a diferencia de su estado previo encauzado en la pesca artesanal comercial y actividades de susbsistencia. Estos cambios son resultado de una política pública local que promueve las actividades turísticas en la costa, a fin de disminuir la dependencia del sector pesquero comercial y aumentar las oportunidades recreativas para el creciente número de visitantes regionales y extranjeros al estado. Lo cual, para el caso de varias comunidades costeras, representará un escenario de sobrecarga de la capacidad de carga del uso de suelo y agua, de las funciones administrativas relacionadas con el orden público, la colecta y disposición de basura y el suministro de otros servicios públicos. Aún no se han identificado umbrales de estos cambios particulares, pero existen evidencias de deterioro ecológico en los ecosistemas costeros bajo mayor presión, como el sistema playa-dunas costeras, la ciénega costera y el manglar, debido a la pérdida de cobertura vegetal, disminución de la biodiversidad faunística y florística, contaminación del agua costera y marina, y hacinamiento de personas durante periodos de asueto laboral y festividades religiosas.

En la actualidad, el 83.2 % del puerto de Sisal se encuentra urbanizado y destinado a usos habitacionales (principalmente turismo de segunda residencia), con un total de 1 147 viviendas, de las cuales, 58.5 % son de uso temporal. El promedio de ocupantes por vivienda hoy en día es de 3.8, quienes viven prácticamente en condiciones rurales con una calidad de vida modesta. En términos de capacidad de carga física, Sisal cuenta con una superficie de traza urbana estimada en 1 142.7 kilómetros

cuadrados, lo que durante la vida rutinaria del puerto equivale a 1.6 personas por kilómetro cuadrado. En temporada vacacional de Semana Santa (marzo-abril) y durante algunos fines de semana, el número de visitantes puede alcanzar las 10 000 personas, resultando un promedio de mínimo 10.5 personas por kilómetro cuadrado. Además, la comunidad de Sisal desde hace más de cincuenta años celebra festividades religiosas como la fiesta del "Cristo Negro" a finales de agosto, la cual incluye un paseo en lancha de hasta 14 000 devotos y una caminata en el puerto durante cinco días. Otro ejemplo del impacto del turismo en el puerto es la llegada de hasta un centenar de motociclistas durante el mes de febrero, y la presencia de decenas de cuatrimotos que circulan en la duna costera-playa en Semana Santa.

La presencia de turistas en el puerto se hace evidente en el aumento de la demanda del servicio de colecta y disposición de basura doméstica, que pasa de mover de tres a cuatro toneladas diarias durante los meses no vacacionales, a triplicarse durante la Semana Santa cuando los propietarios de casas de segunda residencia las ocupan, y a cuadruplicarse en los meses de verano durante torneos náuticos u otros eventos masivos. Los residuos generados se recogen de la playa, la ciénega y las calles de Sisal y, en el peor de los casos, se depositan en tiraderos clandestinos y a cielo abierto entre la vegetación del humedal.

Finalmente, estudios realizados por la Unidad de Química de la UNAM en Sisal han documentado una creciente concentración de hidrocarburos totales en núcleos sedimentarios en el puerto de abrigo (bordeado por la ciénega) a consecuencia del incremento del uso de embarcaciones, lo cual también es preocupante ante planes de desarrollo de una marina recreativa.

Estados alternos

El entendimiento del rol de los umbrales en los socioecosistemas debería emprenderse desde una visión integral y dinámica [Gunderson y Holling, 2001], no solo desde acercamientos disciplinarios donde predomine la perspectiva ecológica [Vaquer y Duarte, 2008], social [Folke et al., 2002], económica e institucional [Christensen y Krogman, 2012; McPhearson et al., 2015]. Desde este punto de vista, las respuestas de un ecosistema al disturbio dependen de las características de la alteración, pero también de las propiedades dinámicas del mismo; puede ocurrir que el ecosistema se

mantenga inalterado ante los cambios del entorno y, repentinamente, al llegar las condiciones a algún valor umbral, el ecosistema se modifique de modo abrupto [Vega, 2005]. De acuerdo con Scheffer et al. [2001], estas transformaciones catastróficas pueden ocurrir en ecosistemas muy contrastantes, aunque tienen algunas características compartidas:

- Las diferencias entre los estados del ecosistema se deben a cambios en las dominancias relativas de organismos con formas de vida diferentes.
- El cambio abrupto entre estados se activa por eventos estocásticos, como incendios, condiciones climáticas extremas, o infestaciones de patógenos.
- Los procesos de retroalimentación, que involucran mecanismos biológicos y físicos, estabilizan a los estados alternos.

Para el caso de los arrecifes de coral, se denomina cambio de estado o cambio de fase cuando ocurre un decremento importante en la cobertura del coral que coincide con el incremento sustancial en la cobertura de otros organismos bentónicos alternos, debido a un disturbio o por cambios en las condiciones ambientales que han persistido por más de cinco años. Algunos de estos estados alternos de los arrecifes incluyen a los dominados por organismos coralimorfarios, aquellos en que predominan los corales blandos, a los dominados por esponjas y a arrecifes dominados por erizos; sin embargo, el cambio de estado mejor evidenciado en estos ecosistemas es la transformación de un arrecife dominado por corales o donde predominen las macroalgas; estos cambios de estado alternos pueden ser temporales o estables (permanentes); cuando existe un cambio de estado alterno estable es muy probable que permanezca de esta forma. Se resalta la importancia de estos estados alternos estables debido a que el manejo de tales ecosistemas requiere un entendimiento de las condiciones bajo las cuales es probable que ocurran las transformaciones de fase a diferentes estados [Norström et al., 2009].

También desde el enfoque de los socioecosistemas, este concepto de estados alternos y estados alternos estables se ha presentado con algunos ejemplos; un evento de tsunami representa un disturbio externo que tiene el potencial de llevar a un socioecosistema de un estado a otro nuevo, y la capacidad de respuesta humana determinará si estos nuevos estados serán alternos o estables [Hughes et al., 2005]. Por lo cual, evitar los umbrales que

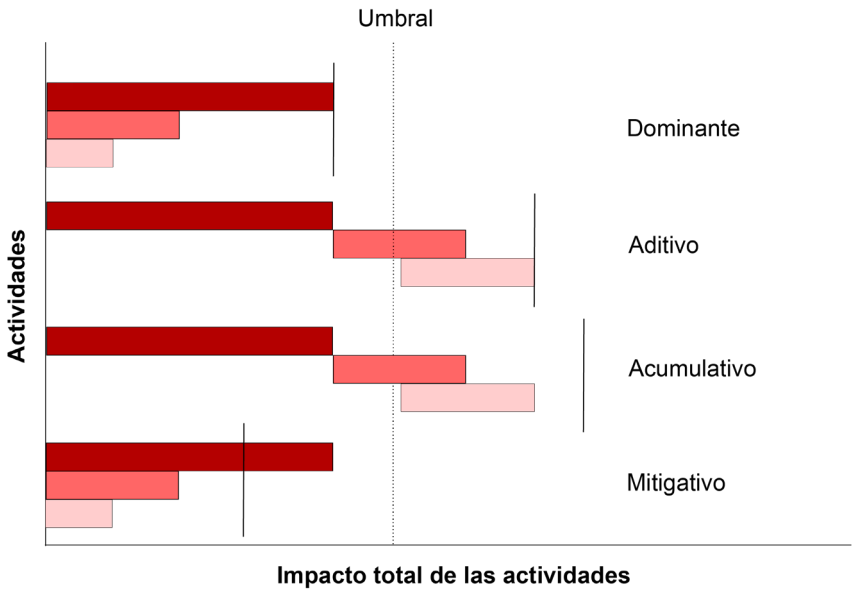
provocan los cambios de estado es un punto focal del manejo basado en la resiliencia de los arrecifes de coral [Norström et al., 2016].

Impactos acumulativos

Aunque el cambio de régimen es diferente entre los socioecosistemas costeros por la manera como operan las distintas relaciones dentro del sistema [Conversi et al., 2014], el que un umbral se rebase depende también del tipo de impacto, y en la zona costera uno de los más frecuentes son los acumulativos (figura 3.2), que tienen un efecto creciente sobre la resiliencia de los socioecosistemas costeromarinos [Halpern et al., 2008].

El esquema muestra el efecto de múltiples actividades y los diferentes tipos de impactos: i) el efecto de una actividad es dominante y anula los de otras actividades; ii) los impactos de las actividades son totalmente aditivos; iii) las acciones tienen un efecto total que es multiplicativo y, por tanto, más grande que la suma de las partes; y iv) una actividad mitiga el impacto de otra. La línea sólida indica el efecto total de las actividades y la punteada el umbral hipotético del funcionamiento del ecosistema.

Figura 3.2 Tipos de impactos derivados de múltiples actividades.



Fuente: Halpern et al. [2008].

Dominante

El impacto de una actividad es dominante cuando se sobrepone a los efectos causados por otras acciones. Esto se advierte regularmente cuando se monitorea a ciertas especies y ecosistemas prioritarios y/o mejor conocidos. Por ejemplo, la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA) define como zona de exclusión el área circular que abarca niveles de ruido de hasta 180 dB re 1 μPa (RMS) medido desde el punto central de la fuente de energía sísmica; siendo este el umbral de ruido que tiene la capacidad potencial de provocar daños fisiológicos en el sistema auditivo de los cetáceos [Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión, 2014].

En el caso de la pesca como actividad dominante, se ha encontrado evidencia [Blythe, 2015] que ilustra que ante la disminución de las capturas (30 %, 50 % y 90 %), algunas comunidades se mantienen pescando y no se observan cambios significativos en las sociedades; sin embargo, también se ha observado que otros pescadores dejaron la actividad. La decisión se relacionó con la intensidad del vínculo que tuvieran con la acción (mantenerse pescando, aunque haya que migrar para seguir a los peces) o con el lugar (cambiando de ocupación, pero manteniéndose en el lugar).

Por otro lado, se ha encontrado que la diversificación es una estrategia importante durante el aumento de la incertidumbre y la volatilidad del mercado y del medio ambiente. Otorgar autonomía a las organizaciones de pescadores (como las cooperativas) y crear mecanismos más fuertes que integren a los pescadores en los ámbitos de las políticas será importante para lograr una pesca de pequeña escala resiliente al cambio [Finkbeiner, 2015]. A través de experimentos económicos, se reconoció que los pescadores pueden tomar medidas locales para responder a los factores externos de incertidumbre y cambio sin socavar la resiliencia a largo plazo. Anticipar las crecientes incertidumbres puede ser clave a la hora de brindar apoyo a comunidades locales para abordar sus dilemas de acción colectiva. Con el apoyo institucional, social, económico y ecológico adecuado, las comunidades e individuos empoderados pueden ser proactivos para crear oportunidades a partir de posibles eventos catastróficos [Finkbeiner et al., 2018].

En otros casos, se ha utilizado un enfoque de modelación. Hardy et al. [2017] diseñaron un modelo bioeconómico del desempeño de algunas pesquerías de pequeña escala de Micronesia que utilizan dispositivos de agregación de peces. Los resultados destacan la importancia de la diversificación

de artes y pesquerías, pero también señalan que en el largo plazo esto no es suficiente para garantizar la viabilidad de estas sociedades.

Para otro tipo de socioecosistemas, en donde el turismo destaca como actividad de reciente importancia económica y los pescadores dependen menos del ambiente marino para su subsistencia o ingresos, la pesca adquiere un carácter que brinda identidad personal y cultural [Leenhardt et al., 2016]. Incorporar estas complejidades a la toma de decisiones es un reto para la gobernanza de estos sistemas. Si bien se cuenta con mayores avances en la comprensión de los umbrales ecológicos, queda pendiente la investigación socioecológica que permita vincular este conocimiento con la forma en que las sociedades responderán.

Aditivo

Un impacto aditivo entre una perturbación antropogénica (pesca) y climática (huracán) fue descrito por Elmqvist et al. [2003] en su estudio de los arrecifes de corales en Jamaica. La sobrepesca de los grandes depredadores y de los pequeños peces herbívoros causó la disminución en los grupos funcionales de los pastoreadores. Esto ocasionó la pérdida de resistencia, la cual es medida por la tasa de daño o la distancia que hay para que el sistema llegue al umbral antes de experimentar un cambio de régimen. Tal pérdida, en el corto plazo, fue absorbida (retroalimentación) por el súbito incremento de los erizos debido a su consumo de algas, y de esta forma mantuvieron la dominancia de los corales y la estabilidad del sistema. Sin embargo, cuando las especies patógenas disminuyeron de manera notable la población de erizos, y los arrecifes fueron impactados por un huracán, las poblaciones de diferentes especies de herbívoros disminuyeron considerablemente (decremento de la diversidad). Como resultado, las algas invadieron los arrecifes y provocaron un cambio de régimen y de la estructura del hábitat. Al final, las consecuencias directas para este socioecosistema costero fueron la pérdida de especies comerciales y la disminución de la actividad pesquera, así como la reducción del valor paisajístico y del atractivo turístico. La importancia de los herbívoros en los cambios de régimen de los arrecifes de coral (mantienen estable la colonización de las algas y su crecimiento) también fue probada ante otros estresores antropogénicos como las actividades turísticas [Jouffray et al., 2014].

En general, para los ecosistemas de coral la probabilidad de blanqueamiento es uno de los fenómenos que se han relacionado con diversos factores climáticos con sus umbrales; Kumagai, Yamano y Sango Map Project [2018] presentan un listado de estos indicadores de estrés térmico y sus umbrales (teóricos y modelados), que incluye la temperatura superficial del mar (TSM), la TSM semanal, el máximo sobre el promedio climatológico de la TSM, las semanas calientes acumuladas y las semanas frías acumuladas. Otro umbral propuesto en estos sistemas se vincula con el porcentaje de cobertura de coral versus el porcentaje de cobertura de macroalgas; si este último porcentaje es ≥ 50, entonces se presenta un cambio de fase del arrecife, mayormente registrado en el Caribe en relación con otros sitios a nivel mundial [Bruno et al., 2009].

En 2005 ocurrieron en el Caribe mexicano dos de los huracanes más fuertes registrados en los últimos años: "Emily" y "Wilma". Para el Parque Nacional "Arrecifes de Cozumel", después del paso de "Emily", más del 50 % de los individuos muestreados no sufrió daño, pero después de "Wilma", solo un pequeño porcentaje de individuos permaneció sin daño aparente, impactando de manera importante a ciertos géneros como Agaricia y Porites [Álvarez, Millet y Reyes, 2009]. Este tipo de eventos puntuales extremos pueden ayudar a determinar los umbrales de resistencia de estos ecosistemas y sus especies. Sin embargo, es importante resaltar que las consecuencias para el ecosistema de que se crucen estos umbrales pueden demorar décadas (o incluso siglos) y quizá no sean obvias en escalas de tiempo humanas. Ante esta incertidumbre, se establece un nuevo enfoque para establecer espacios operacionales para los ecosistemas dentro de tres categorías: espacios seguros de operación, zona de incertidumbre y zona de riesgo alto, relacionados con la pesca, la calidad del agua y el cambio climático antropogénico [Norström et al., 2016].

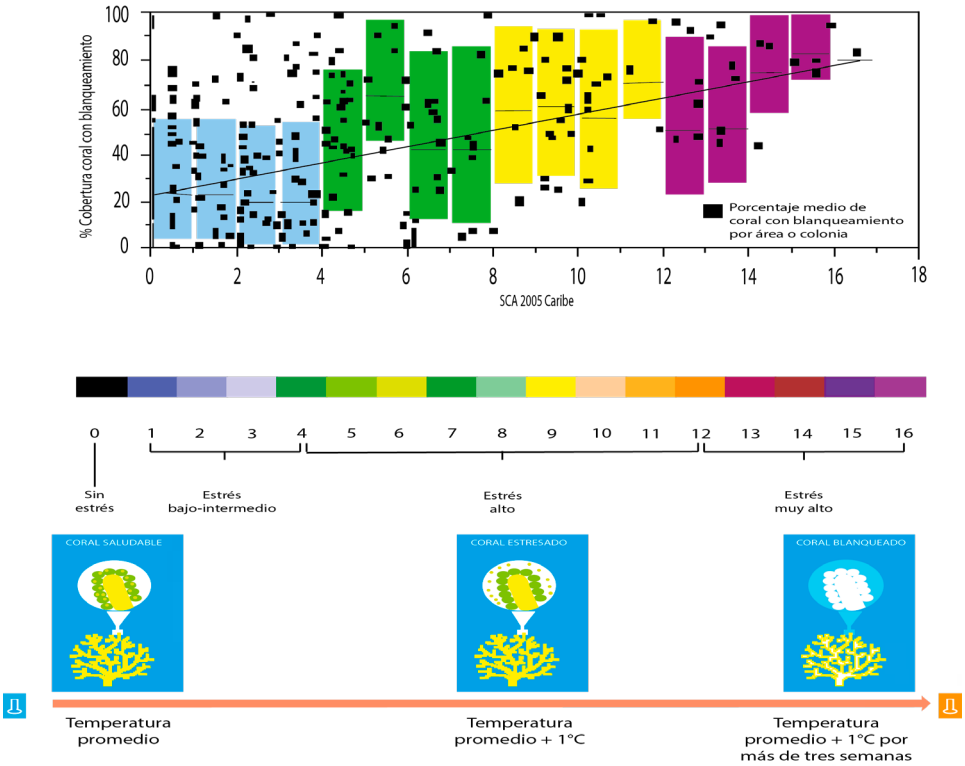
Recuadro 3.3 Umbral térmico de blanqueamiento en los corales.

El blanqueamiento de los corales es causado por diversos estresores vinculados con el cambio de la temperatura del océano, la contaminación y el aporte de sedimentos, la sobreexposición a la luz solar y a los eventos extremos de mareas bajas. En el caso del blanqueamiento por el aumento de la temperatura del océano, se propone

el concepto de "umbral de blanqueamiento" cuando la temperatura de la superficie del océano (SST, por sus siglas en inglés) es 1° C más alta que la temperatura media mensual más alta de un sitio en específico que causa estrés y blanqueamiento a los corales. Además, si este umbral de blanqueamiento perdura en el tiempo, se produce un estrés térmico, por lo que las semanas calientes acumuladas (SCA) permiten medir el tiempo que este umbral permanece en un sitio [NOAA, s.f.].

En el esquema se observa el nivel de estrés (sin él, bajo-intermedio, alto y muy alto) relacionado con el número de semanas que permanece este umbral en un sitio. Se presenta el caso del estrés térmico en el Caribe (SCA en 2005) y su relación con el porcentaje de cobertura de coral con blanqueamiento; los mayores porcentajes de este blanqueamiento se registran en los sitios donde las SCA perduraron más tiempo (estrés muy alto). La línea sólida negra indica la regresión lineal significativa entre las SCA y este porcentaje de blanqueamiento [Eakin et al., 2010].

Proceso de las algas simbiontes ante un estrés térmico.



En la parte inferior se muestra gráficamente cómo las algas simbiontes abandonan el coral cuando ocurre un estrés térmico para pasar al estado de blanqueamiento; este estado puede revertirse si el estrés se interrumpe. Si este umbral persiste y el coral sufre un estrés muy alto, puede ocurrir la mortalidad y no podrá revertirse.

Multiplicativos

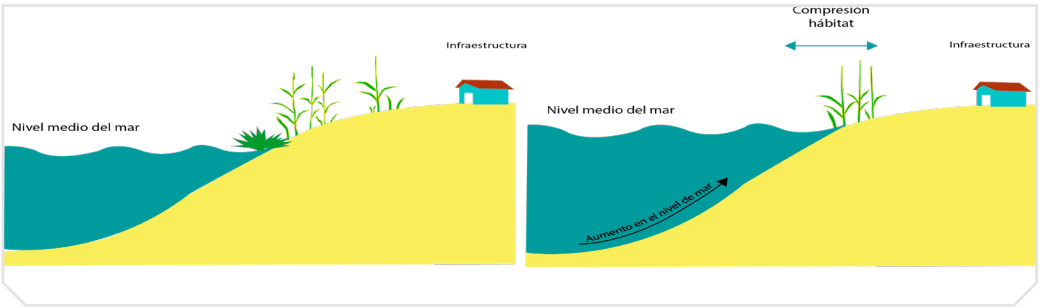
Impactos multiplicativos se pueden dar en lagunas costeras y estuarios, pues son marcadamente distintas de otros ecosistemas marinocosteros, debido a que son ambientes de interacciones entre los ríos y el mar. Funcionan de modo normal en los umbrales de estrés de la mayoría de los parámetros fisicoquímicos que los caracterizan, y eso los hace más vulnerables aun a los impactos que marca el cambio climático. Si los efectos de las acciones del hombre en las cuencas hidrológicas cambian la calidad del agua y sedimentos que entran en el sistema, las consecuencias serán severas para el medio ambiente costero.

Varoli et al. [2008] mencionan que los disturbios en estos ecosistemas lagunares pueden inducir a cambios importantes tanto a nivel de comunidad como al de ecosistema (cambios de estado); si bien es necesario alcanzar ciertos umbrales con una intensidad determinada para que existan estos cambios de estado en el ecosistema, también es cierto que pueden presentarse múltiples escenarios alternativos o estados estables que pueden coexistir durante varias generaciones después de que desaparecen los disturbios. Estas transformaciones de estado y su intensidad están determinados por las respuestas de las variables bióticas que tienen ante las anomalías de estrés abióticas; cuando esta relación es lineal, entonces los cambios son muy pequeños y el ecosistema se altera de manera lineal y continua. Al contrario, si la relación no es lineal, los cambios serán abruptos y repentinos y, como consecuencia, surgirá un nuevo estado en equilibrio que difícilmente volverá a recuperarse y ser como originalmente fue (en calidad y propiedades). Además, proponen tres estados (fanerógamas, macroalgas y fitoplancton) con sus umbrales para el nitrógeno inorgánico disuelto (NID) (g m^{-2} a^{-1}) y para el sulfuro de hidrógeno (H_2S) en aguas intersticiales (µM) de la siguiente manera: fanerógamas NID < 10 g m^{-2} a^{-1} y H_2S < 10 µM; macroalgas NID 10 a 50 g m^{-2} a^{-1} y el H_2S sin efecto; y fitoplancton NID > 50 y el H_2S sin efecto.

Recuadro 3.4 Compresión costera y las dunas costeras, umbral de presión antropogénica ante su capacidad de adaptación y resiliencia.

Las playas y las dunas costeras son ecosistemas muy dinámicos caracterizados por una habilidad excepcional de responder a diversos factores de perturbación natural (enterramiento, aspersión salina, entre otros), por lo que son ecosistemas y especies ideales para identificar umbrales de tolerancia a factores físicos extremos. Hay un concepto interesante conocido como compresión costera (coastal squeese), que es el proceso en el cual los ecosistemas costeros están amenazados por la combinación del aumento del nivel del mar y de la presencia de una barrera física que les impedirá migrar como lo hacen naturalmente. Las barreras físicas son, por ejemplo, la infraestructura portuaria o las ciudades costeras que impiden la migración natural de estos ecosistemas dinámicos y de sus especies. Se habla de la posibilidad de su extinción local [Martínez et al., 2014].

En México, se ha documentado este fenómeno en las costas de Veracruz donde la urbanización paralela a la costa se ha sucedido rápidamente durante los últimos años. Como consecuencia, se ha desplazado tanto a los ecosistemas naturales (manglares y dunas costeras) como a los sistemas transformados (campos de cultivo y pastizales), por lo que se ha definido el umbral del ancho de costa que causa compresión costera. En escenarios futuros del aumento del nivel del mar, el nicho potencial de distribución de ciertas especies de dunas y manglares se perdería debido a esta compresión. Los sistemas urbanos y agropecuarios también son susceptibles a este fenómeno debido al creciente riesgo de erosión e inundaciones que amenaza a la infraestructura y a las vidas humanas. Para contrarrestar y mitigar la compresión costera, los estudios locales a largo plazo permitirán evaluar la evolución de los hábitat costeros, implementar estrategias que equilibren la dinámica natural de las zonas costeras con los intereses humanos, fomentar programas de urbanización apropiados dentro de los esquemas de manejo costero, eliminar ciertas infraestructuras en zonas de riesgo inminente, y la restauración y rehabilitación de ecosistemas degradados y conservación de ciertos ecosistemas que se encuentran intactos y aún son funcionales [Martínez et al., 2014]. En síntesis, la importancia de la compresión costera radica en que disminuye la capacidad de migración tanto de los ecosistemas como de sus especies, por tanto, es necesario conocer el umbral de presión antropogénica que suprime la resiliencia de los ecosistemas costeros.



Fuente: tomada de <https://www.escp.org.uk/what-coastal-squeeze>.

Mitigante

Respecto de los procesos costeros y sus alteraciones, un ejemplo interesante de que un impacto mitiga a otros 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 (por ejemplo, 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 [Semarnat, 2013].

Cuando el sistema es capaz de mantener balanceadas la cantidad de material que pierde y la que recupera, se dice que existe un estado de equilibrio [Ruiz et al., 2010]. Una playa se encuentra en equilibrio estático cuando su forma y su 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. A la larga puede surgir un evento que altere otra vez la playa y que ocasionará un nuevo ajuste del entorno que, a su vez, conducirá a un estado de equilibrio distinto del que se tenía antes del evento extremo. Este tipo de equilibrio se conoce como metaestable o hiperestático [Woodroffe, 2003].

La ocupación de espacios públicos por parte de diferentes actividades económicas tanto formales como informales es una situación común en todas las sociedades. Sin embargo, el caso de la ocupación de espacio de playa es mucho más sensible, teniendo en cuenta que es un ámbito limitado y de uso recreativo que depende a su vez de diversos procesos, fenómenos y elementos naturales. Estos ecosistemas costeros poseen un alto potencial para la recreación y representan valiosos recursos que requieren un manejo especial en función del número de usos y ocupación, derivado de una presión directa por las actividades de ocio, recreativas e inmobiliarias que se llevan a cabo sobre o adjuntas con efectos directos e indirectos, alterando sus procesos, características y, por ende, su atractivo que se fundamenta en su permanencia, calidad ambiental y turística; como resultado de las tendencias de desarrollo principalmente de la actividad turística. Lo anterior depende en gran medida del mantenimiento de sus condiciones naturales que se relacionan con los factores limitantes y la capacidad de resiliencia del ecosistema, y con estresores o drivers de cambio, como el espacio ocupado permanente y temporalmente (colonización y rigidización), modificaciones a la barra sumergida y de las dunas, de la dinámica litoral, así como la implementación y cumplimiento de la legislación ambiental aplicable.

Evaluación de umbrales: medios de vida y capitales

Los hogares rurales tienen diferentes medios de vida para responder a diversos estresores y shocks. Chambers y Conway [1991], y posteriormente Ellis [2000], han señalado que dichos medios dependen de sus capacidades así como de su contexto. En particular, estas capacidades son el conjunto de capitales que tienen y pueden ser de diferentes tipos: social, financiero, humano, natural y físico. Mientras mejores sean las condiciones de cada uno de los capitales, el hogar tendrá mayores posibilidades de afrontar diversas perturbaciones. Por otro lado, como dichos capitales se vinculan entre sí y con su contexto, los hogares han sido identificados como socioecosistemas en razón de que están sujetos a elementos naturales y sociales que interactúan. La resiliencia de los hogares rurales depende entonces en gran medida de los cambios en estos capitales, de tal manera que el conjunto de variables que se presentan pueden ser utilizadas como umbrales

de estos últimos. En la tabla 3.2, se puede observar la clasificación de los capitales con base en Chambers y Conway [1991], así como los elementos o indicadores que pueden servir para medirlos y evaluarlos, con la finalidad de establecer una línea base, a partir de la cual se tenga un punto de referencia para establecer umbrales y determinar cuándo un socioecosistema es resiliente. Por ejemplo, estudios como el de Qasim, Qasim y Shrestha [2016], encontraron que dentro de la resiliencia humana existen indicadores como la salud en los ámbitos de comunidad, hogares e individual, la cual es determinada por el acceso a los servicios de atención, y sirve para explicar aquellos hogares que tendrán una mayor capacidad de respuesta ante los shocks y estresores como las inundaciones. De la misma forma, Ge, Dou y Liu [2017] propusieron indicadores a escala nacional, los cuales pueden considerarse para establecer parámetros de la sostenibilidad y la resiliencia. Además, los mismos autores propusieron variables como la educación y el estado civil del jefe/a de hogar (capital humano) como indicadores de medición sobre los hogares que pueden ser más o menos resilientes, donde el sostenimiento recae en una sola persona, la cual absorbe todas las funciones y roles del hogar.

En la tabla 3.2 se incluyeron variables que conforman el capital social; por ejemplo, en el caso de las inundaciones de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín en la planicie costera central del estado de Veracruz, los hogares que mantenían redes sociales con los vecinos, grupos de cooperativas, o bien tenían familiares en el extranjero cuando las inundaciones causadas por el paso del huracán “Karl" en 2010, tuvieron una capacidad de respuesta mayor durante las etapas de emergencia e inmediata después del shock, debido a que contaron con diversas fuentes de auxilio y apoyo para su recuperación [Tejeda, 2012]. La misma área de estudio, cinco años antes, experimentó el impacto de las inundaciones provocadas por el huracán “Stan" en 2005; las viviendas que tenían más de un piso pudieron reaccionar reacomodando los bienes del hogar en el segundo piso, de manera que tuvieron una mayor capacidad de respuesta y menor daño en sus capitales [Acevedo y Díaz, 2006].

En síntesis, para la construcción de la línea base de un socioecosistema costero, cuyo propósito sea medir su vulnerabilidad (estado antes de la aparición del shock o estresor), definir las variables que sirvan como parámetros para construir los umbrales y explicar su resiliencia, y cuya unidad

de análisis sean los hogares, es factible tomar el marco analítico de los capitales, los cuales agrupan diferentes características como condiciones humanas, físicas, financieras, sociales y su relación con el medio natural que mantienen los hogares. Como resultado, aquellos hogares cuyos capitales tengan un rendimiento o mejores características tendrán menor vulnerabilidad y probablemente mayor resiliencia ante la ocurrencia de shocks o estresores.

Tabla 3.3 Capitales como indicadores de umbrales.

Capitales	Indicador	Variable	Fuente de la variable en México	Medida seleccionada como umbral	Referencia
Humano	Salud	Acceso a servicios de salud públicos	ITER del Inegi [2010]	1) Sí tienen 2) No tienen	Qasim, Qasim y Shrestha [2016], adaptado del PNUD-ONU [2000]; Coneval [2010] y Conapo [2010]
			Información de encuestas en campo		Propuesto por el estudio de caso
		Acceso a servicios de salud privados			
	Educación	Grado académico promedio	ITER del Inegi [2010]	Nivel de estudios promedio alcanzado	Qasim, Qasim y Shrestha [2016], adaptado del PNUD-ONU [2000]
		Número de personas por grado académico		N/A	Ge, Dou y Liu [2017]
	Jefatura	Sexo de la jefatura		1) Hombre 2) Mujer	Mishra et al. [2017]
		Estado civil del jefe		1) Casado 2) Divorciado 3) Viudo 4) Unión libre 5) Soltero	Ge, Dou y Liu [2017]
	Empleo	Número de personas que trabajan		Diversificación de la carga laboral en el hogar	Serrat [2017], Akter y Mallick [2013], propuesto por el estudio de caso
	Edad promedio	Edad de los habitantes		Edad promedio mayor a 65 años	
	Sexo predominante	Número de hombres mayores de 15 años		N/A	

Tabla 3.3 Capitales como indicadores de umbrales (continuación).

Capitales	Indicador	Variable	Fuente de la variable en México	Medida seleccionada como umbral	Referencia
Financiero	Ingreso	Ingreso total del hogar	Encuestas de Ingreso-Gasto por hogar (Inegi)	Ingreso < 2.5 salarios mínimos (acumulado en el hogar)	Feofilovs y Romagnoli [2017], adaptado del Coneval [2010]
	Créditos	Acceso a créditos (diferentes tipos)	Información de encuestas en campo	N/A	Serrat [2017] Mishra et al. [2017]
	Ahorro	Dinero ahorrado en el hogar			
	Ingreso complementario	Ingreso por familiares en otras partes del país			
		Ingreso por familiares en el extranjero			
Físico	Patrimonio de la vivienda	Número de electrodomésticos	Información parcial en el ITER del Inegi [2010]	N/A	Serrat [2017] Mishra et al. [2017]
	Características de la vivienda	Material de construcción	ITER del Inegi [2010]	Concreto 1) Sí 2) No	Akter y Mallick [2013], adaptado del Conapo [2010]
		Número de pisos de la vivienda		N/A	Qasim, Qasim y Shrestha [2016]
		Nivel sobre la calle	Información de encuestas en campo	1) Debajo del nivel de la calle = muy crítico 2) Al mismo nivel = crítico 3) Sobre la calle = normal	Pereyra y Pérez [2006] y Tejeda [2012], propuesto por el estudio de caso
	Servicios públicos	Acceso a energía eléctrica	ITER del Inegi [2010]	1) Sí tienen 2) No tienen	Mishra et al. [2017], Serrat [2017], Ge, Dou y Liu [2017], adaptado del Conapo [2010] y del ITER del Inegi [2010]
		Acceso a agua potable			
		Acceso a alumbrado público			
		Acceso a drenaje			
	Servicios privados	Acceso a teléfono (fijo)	Información de encuestas en campo	1) Sí tienen 2) No tienen	Serrat [2017]
		Acceso a teléfono (celular)		1) Sí tienen 2) No tienen	Propuesto para la planicie costera central del estado de Veracruz
		TV señal cerrada		1) Sí tienen 2) No tienen	Propuesto para la planicie costera central del estado de Veracruz

continúa...

Tabla 3.3 Capitales como indicadores de umbrales (continuación).

Capitales	Indicador	Variable	Fuente de la variable en México	Medida seleccionada como umbral	Referencia
Social	Migración	Familiares en otras partes del país	Información de encuestas en campo	1) Sí tienen 2) No tienen	Ge, Dou y Liu [2017]
		Familiares en el extranjero			
	Redes sociales de trabajo	Personas que pertenecen a alguna cooperativa o grupo social de crédito		1) Sí tienen 2) No tienen	Serrat [2017]
	Creencias religiosas	Hogares que consideran las inundaciones como parte sobrenatural	ITER del Inegi [2010]	1) Sí tienen 2) No tienen	Qasim, Qasim y Shrestha [2016]
Natural	Disponibilidad del uso de los humedales	Distancia con respecto al cuerpo de agua o humedal más cercano	Ortofotos digitales del Inegi, [2008a]	1) Colindan con humedales 2) 100 m de distancia 3) 200 m de distancia 4) Más de 200 m de distancia	Feofilovs y Romagnoli [2017], propuesto por el estudio de caso
		Ubicación en zonas que fueron humedales	Series de uso del suelo y vegetación del Inegi [2008b]	1) Se encuentran en zonas que fueron humedales 2) No se encuentran en zonas que fueron humedales	Qasim, Qasim y Shrestha [2016], propuesto por el estudio de caso
	Servicios hidrológicos	Profundidad del espejo de agua	Información generada en campo	1) 20 cm 2) 40 cm 3) 50-100 cm 4) Más de 100 cm	
		Consumo de agua de pozo antes	Información de encuestas en campo	N/A	Propuesto para la planicie costera central del Estado de Veracruz
		Consumo de agua de pozo ahora			

Efectos de sobrepasar los umbrales

Diferentes estudios acerca del impacto socioeconómico de las inundaciones han mostrado el efecto de sobrepasar los umbrales. Tal es el caso de Oubennaceur et al. [2019], quienes definieron los umbrales a partir de los niveles de profundidad que la inundación puede alcanzar en las zonas habitadas. De esta forma, estimaron las pérdidas en el capital físico y financiero ocasionadas por las inundaciones, que fueron desde 180 130 USD/año a 9 261 506 USD/año, dependiendo del nivel de inundación alcanzado, es decir,

del umbral rebasado. En el caso del estudio expuesto de la planicie costera central del estado de Veracruz, existe evidencia de los efectos que el cambio de uso del suelo y de la vegetación de los humedales costeros y los manglares ha provocado en las zonas urbanas. Vázquez et al. [2019] estimaron en ciento cincuenta millones de dólares las pérdidas en capital físico de las viviendas por las inundaciones durante el paso del huracán "Karl" en 2010. Este shock fue el resultado de sobrepasar el umbral de cambio de uso del suelo de los humedales costeros y los manglares para el desarrollo habitacional urbano y periurbano, lo que provocó la pérdida de los servicios ecosistémicos que los humedales proveen, como el control y la prevención de inundaciones, explicado por De Groot et al. [2012]. Derivado de lo anterior y de la información utilizada para el análisis, Vázquez et al. [2019] estimaron que el valor monetario aproximado de los humedales por la prevención y control de tormentas es el siguiente: potreros inundables en 148 277 USD/ha/2007, popales y turales en 190 863 USD/ha/2007 y manglares en 193 674 USD/ha/2007. Cabe señalar que el mismo fenómeno se presentó cinco años antes durante el paso del huracán "Stan" en 2005; sin embargo, los efectos socioeconómicos fueron menores, porque no existía la misma superficie de desarrollo habitacional sobre lo que fueron humedales y manglares, el impacto del huracán "Stan" fue menor. Por lo anterior, la conservación de los humedales costeros y los manglares en el caso del estudio expuesto resulta atractiva si el rendimiento se analiza desde la perspectiva no solo ecológica, sino también socioeconómica, ya que la degradación y, en el peor de los casos, la pérdida de los humedales costeros, tienen consecuencias directas sobre la exposición y la vulnerabilidad de las zonas urbanas, las cuales deben afrontar las pérdidas económicas por los daños en el capital físico que provocan los shocks y los estresores como las inundaciones.

Consideraciones finales

La situación actual de la zona costera evidencia la necesidad de entender, evaluar y monitorear los socioecosistemas que hemos creado en esta importante franja del territorio. En países en desarrollo como México, los socioecosistemas costeros enfrentan en mayor grado 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 [Gobierno de la República, 2007]. La atención a esta problemática se vuelve todavía más urgente cuando consideramos las potenciales, pero crecientes amenazas, como el cambio climático.

Conservar el equilibrio en los socioecosistemas costeros requiere conocer las complejas e iterativas relaciones entre la naturaleza y el hombre en este espacio tan dinámico. Necesitamos conocer los límites, las variables de las que dependen, así como sus sistémicas respuestas de adaptación a los distintos impactos que se suscitan en diferentes escalas de tiempo y espacio. Una reducción en la diversidad, la conectividad y la retroalimentación de un socioecosistema costero puede reducir las vías disponibles para los procesos naturales y sociales y, por extensión, erosionar su resiliencia.

Es de suma importancia generar información científica sobre la definición de los umbrales de los socioecosistemas costeros y utilizarla para respaldar una planeación preventiva, efectiva y adaptativa [Selkoe et al., 2015]. Actualmente existen grandes retos ante la limitación de los datos ecológicos para evaluar la resiliencia ecológica, y determinar sus umbrales, pero se ha incrementado la disponibilidad de los datos masivos y en línea de programas de monitoreo [Scheffer et al., 2015] que podrían ser utilizados de forma novedosa para inferir las propiedades de estabilidad de los ecosistemas.

En la práctica, definir un umbral es complicado [Bueno y Basurto, 2009; Bueno, 2012], ya que casi nunca este es evidente en cuanto a las características del sistema o en términos de prestación de servicios. La definición de lo que es "aceptable" dependerá de las condiciones sociales y económicas locales, así como de las proyecciones, percepciones y expectativas sociales; puede haber puntos de vista muy diferentes sobre lo que constituye un "límite aceptable" apropiado [FAO, 2011]. Además, aunque una gobernanza efectiva favorece el manejo sostenible de los recursos costeros, generalmente se carece de marcos legales e institucionales para la regulación y la normatividad que existe, pero que casi nunca se implementa, lo que termina inhibiendo medidas que puedan prevenir el cambio de régimen de los sistemas [Pinsky et al., 2018].

La medición de los umbrales también es complicada porque existe incertidumbre al establecerlos y casi siempre la única manera cierta de identificarlos es cruzándolos [Blythe et al., 2014]. Los ecosistemas pueden

ser manipulados a fin de identificar estos umbrales, pero en las sociedades es prácticamente imposible inducir este cambio (por motivos prácticos o éticos). La única manera de entender estas transformaciones parece ser a través de estudios de casos, en los que evaluemos el efecto que puede tener el cambio en los ecosistemas sobre las sociedades que de ellos dependen. Este enfoque metodológico nos permite responder preguntas como: ¿cuánta perturbación puede ser absorbida por las comunidades?, ¿cuáles son los umbrales de cambio? y ¿cómo se desempeñan estas comunidades después de estos umbrales?

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), contrarrestar la incertidumbre que crea la alta heterogeneidad de contextos requiere de inicio dos aspectos básicos: el empleo del principio precautorio en una toma de decisiones adaptativa; y la inclusión social en la creación de información para monitorear los socioecosistemas costeros [FAO, 2011].

Para la FAO, un enfoque precautorio procura conservar la mayor biodiversidad posible; si se aceptan ciertas pérdidas locales (por ejemplo, bajo una jaula de cultivo de peces), entonces es viable la recuperación en los alrededores. En el establecimiento de límites al cambio, es esencial que se mantenga la capacidad de prestación de servicios. Esto implica dos condiciones:

- Límites aceptables incluyen un margen de seguridad.
- Factores que fortalecen la resiliencia del sistema (por ejemplo, biodiversidad, diversidad de medios de subsistencia) deben ser promovidos tanto como sea posible.

La misma FAO propone que un indicador de umbrales puede ser establecido por las autoridades ambientales, pero también pueden ser determinados por los propios interesados (por ejemplo, niveles de tolerancia, criterios de calidad del agua). Las variables a medir también se pueden establecer mediante un proceso participativo de los interesados en espacios costeros donde se practique, por ejemplo, la acuicultura o el turismo. Los programas de monitoreo y el uso de indicadores se pueden realizar a distintos niveles: los interesados y autoridades pueden realizar estudios simples y de bajo costo cuando los impactos esperados son mínimos (indicadores de emergencia temprana); en tanto que cuando se esperan efectos mayores se deben llevar a cabo investigaciones más detalladas y

frecuentes por empresas o autoridades especializadas. Los resultados de los estudios han de configurar un plan para tomar acciones correctivas cuando algunos de los impactos han sobrepasado los límites establecidos.

Referencias

Acevedo Rosas, F., y A. Luna Díaz Peón [2006], "Principales fenómenos meteorológicos que afectaron al estado de Veracruz en el año 2005", pp. 53-66, en A. Tejeda Martínez y C. Welsh Rodríguez (eds.), Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz, México, Universidad Veracruzana, Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología, Xalapa, Veracruz, 432 pp.

Akter, S. y B. Mallick [2013], "The poverty-vulnerability-resilience nexus: Evidence from Bangladesh", Ecological Econonomics, núm. 96, pp. 114-124, <doi: http://dx. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.10.008>.

Álvarez Filip, L., M. Millet Encalada y H. Reyes Bonilla [2009], "Impact of hurricanes Emily and Wilma on the coral community of Cozumel Island, Mexico", Bulletin of Marine Science, núm. 84, pp. 295-306.

Baggio, J. A., K. Brown y D. Hellebrandt [2015], "Boundary object or bridging concept? A citation network analysis of resilience", Ecology and Society, vol. 20, núm. 2, p. 2, <doi: 10.5751/ES-07484-200202>.

——— y R. Calderón Contreras [2017], "Socioecosistemas y resiliencia, fundamentos para un marco analítico", pp. 23-38, en R. Calderón Contreras, (coord.), Los sistemas socioecológicos y su resiliencia: casos de estudio, Ciudad de México, Universidad Autónoma Metropolitana, Gedisa, 261 pp.

——— y V. Hillis [2016], "Success biased imitation increases the probability of effectively dealing with ecological disturbances", Proceedings-Winter Simulation Conference, pp. 1 702-1 712.

Beveridge, M. C. M. [2004], Cage Aquaculture, 3ra ed., Oxford, United Kingdom, Blackwell Publishing Ltd., 380 pp.

Biggs, R., et al. [2012], "Toward principles for enhancing the resilience of ecosystem services", Annual Review of Environment and Resources, vol. 37, núm. 1, pp. 421-448.

——— M. Schlüter y M. L. Schoon [2015], Principles for building resilience: sustaining ecosystem services in social-ecological systems, Cambridge, Cambridge University Press, 283 pp.

Blythe, J. L. [2015], "Resilience and social thresholds in small-scale fishing communities", Sustainability Science, núm. 10, pp. 157-165, <doi: 10.1007/s11625-014-0253-9>.

——— G. Murray y M. Flaherty [2014], "Strengthening threatened communities through adaptation: insights from coastal Mozambique", Ecology and Society, vol. 19, núm. 2, p. 6.

Bruno, John F., et al. [2009], "Assessing evidence of phase shifts from coralto macroalgal dominance on coral reefs", Ecology, vol. 90, núm. 6, pp. 1 478-1 484.

Bueno, N. [2012], "Assessing the resilience of small socio-ecological systems based on the dominant polarity of their feedback structure", System Dynamics Review, vol. 28, núm. 4, pp. 351-360, <doi: 10.1002/sdr>.

——— y X. Basurto [2009], "Resilience and collapse of artisanal fisheries: A system dynamics analysis of a shellfish fishery in the Gulf of California, Mexico", Sustainability Science, núm. 4, pp. 139-149, <doi: 10.1007/s11625-009-0087-z>.

Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión [2014], "Reglamento Interior de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos", Diario Oficial de la Federación, 31 de octubre de 2014, pp. 1-58.

Carpenter, S., et al. [2001], "From metaphor to measurement: resilience of what to what?", Ecosystems, vol. 4, núm. 8, pp. 765-781.

——— y L. H. Gunderson [2001], "Coping with collapse: ecological and social dynamics in ecosystem management", Bioscience, núm. 51, pp. 451-457, <doi: 10.1641/0006-3568(2001)051[0451:>.

Chambers, R., y G. Conway [1991], Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century, Londres, United Kingdom, Discusion Paper 296, Institute of Development Studies, 29 pp.

Christensen, L., y N. Krogman [2012], "Social thresholds and their translation into social-ecological management practices", Ecology and Society, vol. 17, núm. 1, p. 5, <doi: 10.5751/ES-04499-170105>.

Conapo [2010], Índices de marginación 2010, <http://www.conapo.gob.mx>.

Coneval [2010], Índice de pobreza 2010, <http://www.conapo.gob.mx>.

Conversi, A., et al. [2014], "A holistic view of marine regime shifts", Philosophical Transactions of the Rotal Society B Biological Sciences, núm. 370, pp. 20130279-20130279, <doi: 10.1098/rstb.2013.0279>.

Crutzen, P. J. [2002], "Geology of mankind", Nature, núm. 415, p. 23, <doi: 10.1038/415023a>.

D'Amario Fernández, María Julieta [2015], Evaluación del riesgo de erosión hídrica, su distribución espacial y el efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo, en la cuenca hidrográfica del Río Tunuyán Superior (Mendoza) (Tesis de grado), Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias, Ingeniería en Recursos Naturales Renovables.

De Groot, R., et al. [2012] "Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units", Ecosystem Services, vol. núm. 1, pp. 50-61, <doi: 10.1016/j.ecoser.2012.07.005>.

Eakin, C. M., et al. [2010], "Caribbean corals in crisis: Record thermal stress, bleaching, and mortality in 2005", PLoS One, vol. 5, núm. 11, pp. 1-9, <doi: 10.1371/journal.pone.0013969>.

Ellis, Frank [2000], Rural livelihoods and diversity in developing countries, Oxford, Oxford University Press.

Elmqvist, T., et al. [2003], "Response diversity, ecosystem change, and resilience", Frontiers in Ecology and the Environment, vol. 1, núm. 9, pp. 488-494, <doi: https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0488:RDECAR]2.0.CO;2>.

fao [2011], "Desarrollo de la acuicultura 4. Enfoque ecosistémico a la acuicultura", FAO Orientaciones técnicas para la pesca responsable, vol. 5, núm. 4, 60 pp.

Feofilovs, M., y F. Romagnoli [2017], "Measuring community disaster resilience in the Latvian context: an apply case using a composite indicator approach", Energy Procedia núm. 113, pp. 43-50 <doi: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.04.012>.

Finkbeiner, E. M. [2015], "The role of diversification in dynamic small-scale fisheries: lessons from Baja California Sur, Mexico", Global Environmental Change, núm. 32, pp. 139-152, <doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.03.009>.

——— et al. [2018], "Local response to global uncertainty: insights from experimental economics in small-scale fisheries", Global Environmental Change, núm. 48, pp. 151-156, <doi: 10.1016/j.gloenvcha.2017.11.010>.

Fogarty, M. J. [2013], "The art of ecosystem-based fishery management", Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, vol. 71, núm. 3, pp. 479-490, <doi: 10.1139/cjfas-2013-0203>.

Folke, C. [2006], "Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses", Global Environmental Change, vol. 16, núm. 3, pp. 253-267, <doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>.

——— [2018], "Why resilience?", Rethink, núm. 2, pp. 2-5.

——— et al. [2002], "Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations", Ambio, vol. 31, núm. 5, pp. 437-440.

Ge, Y., W. Dou y N. Liu [2017], "Planning resilient and sustainable cities: Identifying and targeting social vulnerability to climate change", Sustainability, vol. 9, núm. 8, p. 1 394.

Gesamp [1986], "Environmental capacity. An approach to marine pollution prevention", Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, Gesamp Reports and Studies, núm. 30, p. 49.

Gobierno de la República [2007], "Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012", Diario Oficial de la Federación, p. 323.

Gunderson, L. H. y C. S. Holling (eds.) [2001], Panarchy: understanding transformations in human and natural systems, Washington, DC, Island Press, 450 pp.

Halpern, B. S., et al. [2008], "Managing for cumulative impacts in ecosystem-based management through ocean zoning", Ocean and Coastal Management, núm. 51, pp. 203-211, <doi: 10.1016/j.ocecoaman.2007.08.002>.

Hardy, P. Y., et al. [2017], "Strengthening the resilience of small-scale fisheries: A modeling approach to explore the use of in-shore pelagic resources in Melanesia", Environmental Modelling and Software, núm. 96, pp. 291-304, <doi: 10.1016/j.envsoft.2017.06.001>.

Harley, C. D. G., et al. [2006], "The impacts of climate change in coastal marine systems", Ecology Letters, núm. 9, pp. 228-241, <doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00871.x>.

Hauck, M., y N. A. Sweijd [1999], "A case study of abalone poaching in South Africa and its impact on fisheries management", ICES Journal of Marine Science, núm. 56, pp.1 024-1 032, <doi: 10.1006/jmsc.1999.0534>.

Herrera Silveira, J. A., y S. M. Morales Ojeda [2009], "Evaluation of the health status of a coastal ecosystem in southeast Mexico: assessment of water quality, phytoplankton and submerged aquatic vegetation", Marine Pollution Bulletin, vol. 59, núms. 1-3, pp. 72-86.

Holling, C. S. [2001], "Understanding the complexity of economic, ecological and social systems", Ecosystems, núm. 4, pp. 390-405, <doi: 10.1007/s10021-00>.

——— [2004], "Foreword: The backloop to sustainability", en F. Berkes, J. Colding y C. Folke (eds.), Navigating social-ecological systems. Building resilience for complexity and change, Cambridge University Press, pp. 33-47.

Hughes, T. P., et al. [2005], "New paradigms for supporting the resilience of marine ecosystems", Trends in Ecology and Evolution, núm. 20, pp. 380-386, <doi: 10.1016/j.tree.2005.03.022>.

Inegi [2008a], Ortofoto digital 2008, México, Inegi.

——— [2008b], Uso de suelo y vegetación: serie IV, México, Inegi.

——— [2010], Censo General de Población y Vivienda 2010, México, Inegi.

Jacobs, J. [1975], "Diversity, stability and maturity in ecosystems influenced by human activities", pp. 187-207, en W. H., van Dobben y R. H. Lowe McConnell (eds.), Unifying concepts in ecology, Dordrecht, Springer.

Jouffray, J. B., et al. [2014], "Identifying multiple coral reed regimes and their drivers accros the Hawaiian archipelago", Philosophical Transactions B Royal Society B, núm. 370, pp.1-8, <doi: 10.1098/rstb.2013.0268>.

Krebs, C. J. [2008], The ecological world view, California, University of California Press.

Kumagai, N. H., H. Yamano y Sango-Map-Project [2018], "High-resolution modeling of thermal thresholds and environmental influences on coral bleaching for local and regional reef management", PeerJ, núm. 6, pp. e4382, <doi: 10.7717/peerj.4382>.

Leenhardt, P., et al. [2016], “Complexities and uncertainties in transitioning small-scale coral reef fisheries”, Frontiers in Marine Science, núm. 3, pp. 1-9, <doi: 10.3389/fmars.2016.00070>.

Levin, S. A. [1998], “Ecosystems and the biosphere as complex adaptive systems”, Ecosystems, núm. 1, pp. 431-436, <doi: 10.1007/s100219900037>.

López Pérez, Ramón Andrés, Luz María Hernández Ballesteros y Tania Herrera Escalante [2002], "Cambio en la dominancia de la comunidad arrecifal en Chachacual, Bahías de Huatulco, Oaxaca, México", Ciencia y Mar, vol. 6, núm. 16, pp. 33-38.

Martínez, M. L., et al. [2014], “Land use changes and sea level rise may induce a ‘coastal squeeze’ on the coasts of Veracruz, Mexico”, Global Environmental Change, núm. 29, pp. 180-188, <doi: 10.1016/j.gloenvcha.2014.09.009>.

McLeod, E., et al. [2019], “The future of resilience-based management in coral reef ecosystems”, Journal of Environmental Management, vol. 233, núm. 1, pp. 291-301, <doi: 10.1016/j.jenvman.2018.11.034>.

McPhearson, T., et al. [2015], “Resilience of and through urban ecosystem services”, Ecosystem Services, núm. 12, pp. 152-156, <doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.07.012>.

Mendoza González, G., et al. [2013], "Ecological niche modeling of coastal dune plants and future potential distribution in response to climate change and sea level rise", Global Change Biology, vol. 19, núm. 8, pp. 2 524-2 535.

Millennium-Ecosystem-Assessment [2005], Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis, Washington, DC, World Resources Institute, 68 pp.

Mishra, A., et al. [2017], “Building ex ante resilience of disaster-exposed mountain communities: drawing insights from the Nepal earthquake recovery”, International Journal of Disaster Risk Reduction, núm. 22, pp. 167-178, <doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.03.008>.

Noaa National Oceanic and Atmospheric Administration [s.f.], "50-km Degree Heating Week", recuperado el 15 de noviembre de 2020, en <https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/education/tutorial/crw24_dhw_product.php>.

Norström, A. V., et al. [2009], “Alternative states on coral reefs: beyond coral-macroalgal phase shifts”, Marine Ecology Progress Series, núm. 376, pp. 293-306, <doi: 10.3354/meps07815>.

——— [2016], “Guiding coral reef futures in the Anthropocene”, Frontiers in Ecology and the Environment, vol. 14, núm. 9, pp. 490-498, <doi: 10.1002/fee.1427>.

Oubennaceur, K., et al. [2019], “Flood risk mapping for direct damage to residential buildings in Quebec, Canada”, International Journal of Disaster Risk Reduction, núm. 33, pp. 44-54, <doi: https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.09.007>.

Pereyra Díaz, D., y J. A. Pérez Sesma [2006], "Hidrología de superficie y precipitaciones intensas 2005 en el estado de Veracruz", en A. Tejeda Martínez y C. Welsh Rodríguez (eds.), Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz, Xalapa, Veracruz, México, Universidad Veracruzana, Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología, pp. 81-99.

Pinsky, M. L., et al. [2018], "Preparing ocean governance for species on the move", Science, vol. 360, núm. 6 394, pp. 1189-1191, <doi: 10.1126/science.aat2360>.

Plummer, R., y D. Armitage [2007], "A resilience-based framework for evaluating adaptive co-management: linking ecology, economics and society in a complex world", Ecological Economics, núm. 61, pp. 62-74, <doi: 10.1016/j.ecolecon.2006.09.025>.

pnud-onu [2000], Índice de desarrollo humano a nivel municipal, México, pnud-onu.

Pomeroy, R., et al. [2007], "Fish wars: Conflict and collaboration in fisheries management in Southeast Asia", Marine Policy, núm. 31, pp. 645-656, <doi: 10.1016/j.marpol.2007.03.012>.

Primavera, J. H. [2006], "Overcoming the impacts of aquaculture on the coastal zone", Ocean and Coastal Management, núm. 49, pp. 9-10, 531-545, <doi: 10.1016/j.ocecoaman.2006.06.018>.

Qasim, S., et al. [2016], "Community resilience to flood hazards in Khyber Pukhthunkhwa province of Pakistan", International Journal of Disaster Risk Reduction, núm. 18, pp. 100-106, <doi: 10.1016/j.ijdrr.2016.03.009>.

Ruiz, G., et al. [2010], "La geomorfología como herramienta para el análisis de las formaciones costeras y sus alteraciones de largo plazo. Aplicación a la península de Yucatán", pp. 125-158, en E. Rivera Arriaga, et al. (eds.), Cambio climático en México: un enfoque costero-marino, Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, Cetys-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche.

Scheffer, M. [2009], Critical transitions in nature and society, Princeton, Princeton University Press, 400 pp.

——— et al. [2001], "Catastrophic shifts in ecosystems", Nature, núm. 413, 591-596, <doi: 10.1038/35098000>.

——— et al. [2015], "Dual thinking for scientists", Ecology and Society, vol. 20, núm. 2, p. 3.

Schlüter, M., et al. [2012], "New horizons for managing the environment: a review of coupled social-ecological systems modeling", Natural Resource Modeling, vol. 25, núm. 1, pp. 219-272.

Schoon, M., et al. [2014], "Insights for managers from modeling species interactions across multiple scales in an idealized landscape", Environmental Modelling and Software, núm. 54, pp. 53-59, <doi: 10.1016/j.envsoft.2013.12.010>.

Selkoe, K. A., et al. [2015], "Principles for managing marine ecosystems prone to tipping points", Ecosystem Health and Sustainability, vol. 1, núm. 5, pp. 1-18, <doi: 10.1890/ehs14-0024.1>.

Semarnat [2013], Manejo de ecosistemas de dunas costeras, criterios ecológicos y estrategias, México, 97 pp.

Serrat, O. [2017], "The sustainable livelihoods approach", pp. 21-26, en O. Serrat (ed.), Knowledge solutions: tools, methods, and approaches to drive organizational performance, Singapore, Springer Singapore, 427 pp.

Tejeda Martínez, A. [2012], "Introducción. Apuntes orográficos de las inundaciones en el estado de Veracruz", pp. 23-42, en A. Tejeda Martínez y V. Arenas Fuentes (eds.), Inundaciones 2010 en el estado de Veracruz, Xalapa-Veracruz, México, Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVECyT), 32 pp.

Tolentino Arévalo, O. [2015], Adaptative capacity to climate change in coastal fishermen communities: the case of Tabasco, Mexico (Tesis de maestría), University of Edinburgh.

Vaquer Sunyer, R., y C. M. Duarte [2008], "Thresholds of hypoxia for marine biodiversity", PNAS vol. 105, núm. 40, pp. 15452-15457, <doi: 10.1073/pnas.0803833105>.

Varoli, P., et al. [2008], "Community shifts, alternative stable states, biogeochemical controls and feedbacks in eutrophic coastal lagoons: a brief overview", Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, núm. 18, pp. 105-117, <doi: 10.1002/aqc>.

Vázquez González, C., et al. [2019], "The value of coastal wetland flood prevention lost to urbanization on the coastal plain of the Gulf of Mexico: an analysis of flood damage by hurricane impacts", International Journal of Disaster Risk Reduction, núm. 37, pp. 101-180, <doi: https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101180>.

Vega Peña, E. V. [2005], "Algunos conceptos de ecología y sus vínculos con la restauración", pp. 147-155, en O. Sánchez et al. (eds.), Temas sobre restauración ecológica, México, ine-Semarnat, 255 pp.

Walker, B., et al. [2002], "Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach", Ecology and Society, vol. 6, núm. 1, p. 14.

Woodroffe, C. D. [2003], Coasts: form, process and evolution, Cambridge, Cambridge University Press, 640 pp.

CAPÍTULO 4

Interacciones a diferentes escalas espaciotemporales en socioecosistemas costeros

Vera Camacho Valdez
Federico Morales Barragán
Edgar Torres Irineo
Andrea Sáenz Arroyo

Introducción

Los socioecosistemas son dinámicos y complejos y están en constante adaptación [Scheffer et al., 2009]; involucran interacciones entre actores, instituciones, aspectos ecológicos y recursos limitados [Gunderson y Holling, 2002] y coevolucionan como un todo integrado a diferentes escalas espaciotemporales [Maas, 2018]. En este sentido, para abordar el estudio de estos sistemas se requiere un análisis interdisciplinario que pueda abordar de manera articulada esos diferentes aspectos, centrándose no únicamente en los componentes de un sistema, sino también en sus interacciones [Farhad, 2012].

Glaser y Glaeser [2014] señalan que las condiciones de cambio climático vigentes y previstas obligan a llevar a cabo estudios que contemplen de manera explícita las interacciones entre niveles y escalas referidas a los socioecosistemas costeros. De acuerdo con Gibson, Ostrom y Ahn [2000], las escalas se refieren a las dimensiones, espaciales o temporales, cuantitativas o analíticas utilizadas para medir o estudiar un fenómeno. Los niveles son las unidades de análisis localizadas en diferentes posiciones de una escala.

Actualmente se reconoce que la gestión y el manejo de tales sistemas no pueden desligarse de una perspectiva que incluya la gobernanza ambiental global. Sin embargo, los análisis del cambio climático a nivel planetario han tenido significados limitados para la toma de decisiones referida a estos sistemas. Ello revela el desafío vigente de formular estudios que contemplen distintas escalas, niveles y sus interrelaciones.

Cash y Moser [2000] han ubicado al respecto tres problemas que configuran desafíos imposibles de soslayar. Aquí se enuncian y en la primera sección del capítulo se abordan de manera más amplia: el desfase entre las

escalas biofísicas y las jurisdiccionales; la discrepancia entre las escalas de valoración y gestión; y la omisión del estudio de los vínculos entre escalas y niveles.

Estas cuestiones establecen la urdimbre sobre la cual se tejen argumentos cuya referencia la constituyen los socioecosistemas. La primera sección de este capítulo abunda sobre el problema recién esbozado que exige, en primer lugar, precisar la diferencia entre las escalas y los niveles. Más adelante se hace una revisión de la forma en que las interacciones entre estos han sido atendidas en el marco de los socioecosistemas señalados. Estas reflexiones son acompañadas de recuadros que presentan experiencias ilustrativas del problema que se discute desde el abordaje de los servicios ecosistémicos como un tema importante en el ámbito de la resiliencia.

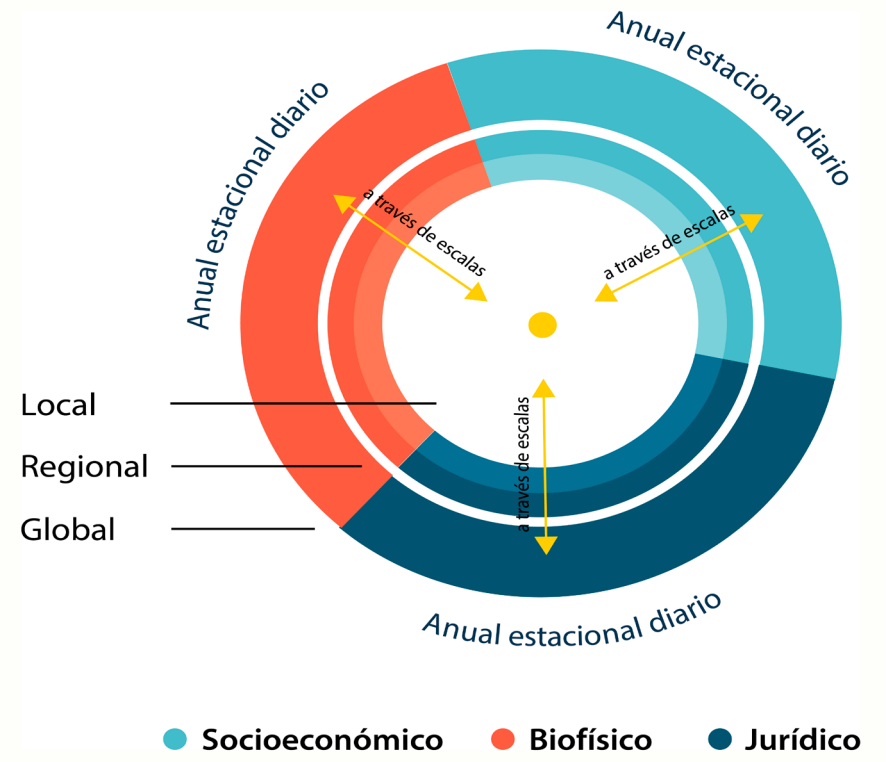
Una de las implicaciones más relevantes de la reflexión aquí desarrollada –véase la sección de Discusión–, corresponde a una aproximación, distinta a la convencional, de los generadores o impulsores de cambios, los llamados drivers. Estos se han concebido mediante una lógica que establece causas generadas en un nivel y efectos desplegados, sin mayor mediación, en el mismo o en otros niveles. Una vez que se toman en cuenta las interacciones entre las escalas y sus niveles, los impulsores de cambios se revelan como resultado de esas interacciones, cuyas repercusiones se manifiestan de forma diferenciada a lo largo y ancho de los socioecosistemas.

Las escalas y sus interacciones en los socioecosistemas costeros

La multiescalaridad es uno de los aspectos más complejos en el estudio de la estructura y el funcionamiento de los socioecosistemas. Su carácter diferenciado hace que estas zonas sean singulares e importantes, donde confluyen procesos biofísicos, socioeconómicos y administrativos a diferentes escalas [De Andrés, Barragán y Sanabria, 2018]. Por ejemplo, la relación de escala espacio-tiempo de la mayoría de los procesos biofísicos en estos sistemas puede alterarse de manera drástica por actividades humanas [Wu y Li, 2006], que a su vez pueden manifestarse en ámbitos globales y locales simultáneamente (figura 4.1). En este sentido, el entendimiento y las soluciones a los problemas ambientales en los socioecosistemas no puede verse tomando en cuenta únicamente los procesos biofísicos, sino que es necesaria una

integración con procesos económicos, políticos e institucionales que también tienen su propia escala espacial y temporal [Rivera y Galicia, 2016].

Figura 4.1 Esquema de las interacciones entre las diferentes escalas y niveles en un socioecosistema.



Fuente: adaptado de Niiranen et al. [2018].

En cuanto a la distinción entre escalas y niveles, Cash y Moser [2002] señalan que, como construcción social, las primeras son referidas a asuntos y objetivos específicos, y configuran dispositivos heurísticos utilizados para la comprensión de las interacciones que ocurren en el mundo. Estas interacciones pueden observarse en diferentes niveles correspondientes a distintas escalas. Como se aprecia en la tabla 4.1, las interacciones pueden darse en diversos sentidos: a lo largo de una escala comprendiendo varios niveles; en un sentido horizontal, las interacciones corresponden a un nivel, pero involucran distintas escalas; finalmente, interacciones cruzadas que relacionan distintos niveles de diferentes escalas.

Tabla 4.1 Distinción entre escalas y niveles.

Niveles	Escalas		
	Espacial (áreas)	Jurisdiccional (administraciones)	Institucional (reglas)
Nivel agregado	Mundo	Federación	Constituciones
Nivel desagregado	Región	Municipio	Reglas de operación

Fuente: elaboración propia con datos tomados de Cash et al. [2006].

Cash y Moser [2002] ubican tres problemas y desafíos fundamentales que merecen atención y plantean problemas metodológicos importantes.

El primero, inadecuación institucional, atañe a un desfase entre las escalas ambientales y las de manejo. El problema emerge cuando un asunto ambiental es atendido en un nivel institucional cuyas competencias no corresponden con el nivel geográfico del asunto en cuestión. Las facultades de ese ámbito jurisdiccional tienen poca incidencia en las fuentes o causas del problema.

Una segunda cuestión, nombrada como discordancia de escala, se refiere al desacople entre la valoración de los problemas y su manejo. Esto es, las explicaciones científicas formuladas para niveles agregados resultan poco útiles para el control local de los problemas ambientales. Las valoraciones agregadas requieren apreciaciones en resoluciones más finas para ser útiles en la toma de decisiones. A su vez, los estudios centrados exclusivamente en impactos locales son de poca relevancia para tomar decisiones que puedan afectar a grupos sociales en otra escala. El análisis de las interacciones múltiples que involucran distintos niveles y escalas plantea una ruta desafiante, pero necesaria, para encarar esta cuestión.

Esta última propuesta constituye el núcleo del tercer problema y desafío, la explicación de la dinámica de relaciones entre escalas y niveles. La caracterización, por ejemplo, de los costos y beneficios del cambio global está constreñida, habitualmente, a una escala y nivel, el de mayor agregación, y esa información se utiliza como parámetro para valorar lo que ocurre en niveles de mayor resolución.

La teoría de la jerarquía, según estos mismos autores, ofrece insumos valiosos para trascender estas prácticas. La clave se encuentra en

documentar los procesos de interacción que se desarrollan en el sistema. "La forma para que un sistema sea comprendido en cualquier escala [y nivel] requiere que simultáneamente se capturen las fuerzas que promueven y restringen sus cambios y se ubican en las escalas [niveles] superiores e inferiores" [Cash y Moser, 2000: 5].

Las propuestas previas ofrecen una referencia útil para seleccionar y presentar un par de contribuciones, relevantes a nuestro juicio, orientadas a encarar el problema planteado en este capítulo: las relaciones entre escalas y niveles en los socioecosistemas.

El análisis del cambio global requiere ser contextualizado en regiones específicas que expresan ensambles sociales, institucionales y biogeofísicos particulares [Glaser y Glaeser, 2014: 2 039]. Por ello, estos autores sugieren que el nivel regional es el más adecuado para analizar las interrelaciones entre las escalas y sus niveles.

Un componente crucial de su propuesta radica en la definición de socioecosistema que asumen. "(1) un territorio biogeofísico, (2) un asunto o problema identificado y (3) los agentes sociales e instituciones asociadas" [Glaser y Glaeser, 2014: 2 042]. En su opinión, el segundo componente es crucial, pues les permite articular distintas escalas y niveles. Este problema, además, tiene como referencia el ámbito regional, de modo que la conjunción región-problema se convierte en la unidad de análisis que tiene conexiones con el resto de las escalas y niveles del sistema. La región-problema y los actores e instituciones asociados se convierten en el punto de referencia para el análisis.

> Desde el nivel regional intermedio, las interacciones multinivel pueden ser investigadas y construidas, y se puede contar con una visión del sistema global construida desde abajo y desde arriba. La referencia regional del problema en la definición del socioecosistema tiene la ventaja de vincular las agendas de los tomadores de decisión en el nivel que los problemas se experimentan, una valoración esencial para la valoración investigación-acción transdisciplinaria que ayuda a vincularla a la práctica [Glaser y Glaeser, 2014: 2 043].

El siguiente paso en la propuesta de estos autores es la construcción de una tipología de zonas costeras mediante una matriz que integra, en las columnas, zonas climáticas y ecorregiones (templado, subtropical y tropical) y, por otro lado, una escala integrada por asuntos específicos que comprende:

análisis multiniveles, conocimiento de los sistemas y gobernanza. Destaca que, a esta segunda escala, los autores la consideran una de índole espacial que corresponde, en el primer caso, al nivel más agregado y en el último, al más detallado. Es decir, asocian un asunto bajo estudio a una escala. Así, por ejemplo, los estudios de gobernanza están referidos a un nivel local. Las objeciones que puedan plantearse a esta matriz, no eliminan la contribución, a nuestro juicio, más significativa, de encarar el asunto de las relaciones entre escalas y niveles a partir de una definición de socioecosistemas que articula el binomio región-problema para analizar el resto de las relaciones del sistema.

La segunda contribución que se presenta se basa en el concepto de crecimiento azul, el cual pone de relieve el papel de los océanos en el crecimiento económico y sostenibilidad ambiental del planeta. La experiencia de las pesquerías del Ártico, documentada por Niiranen et al. [2018], revela una forma diferente de encarar el problema de las interacciones entre escalas y niveles expuesta con anterioridad.

La explicación articula tres ámbitos, la dinámica de los ecosistemas, de la pesca y el comercio internacional y las políticas. Los dos primeros se relacionan a partir de los análisis ligados a la tradición conocida como dinámica ecoevolutiva. En ella se destacan las relaciones entre distintos horizontes temporales en los procesos de evolución de las especies y sus repercusiones económicas en la sociedad. El comercio y las políticas en la materia se abordan mediante marcos centrados en convenios o acuerdos internacionales, pero se destaca la necesidad de abordar el problema del manejo pesquero con base en conceptos como el de gobernanza anidada. El cual sí plantea explícitamente el problema de coordinación entre actores de diferentes niveles y que, de forma estricta, es la contribución central de este estudio.

La gobernanza anidada exige, para promover el crecimiento azul, de un manejo adaptativo que tome en cuenta los efectos en varias escalas de procesos socioeconómicos y ecológicos (figura 4.1).

En términos metodológicos, esta contribución resulta más convencional que la anterior. Por una parte, no evade el problema de las relaciones entre escalas y niveles, lo encara mediante el concepto de gobernanza anidada que exige, para ser viable, un manejo adaptativo que contemple las distintas dinámicas de los procesos sociales y ecológicos. En todo caso,

queda abierto para investigaciones posteriores el análisis de los factores que posibilitan o restringen dicho manejo.

Los servicios ecosistémicos como ejemplo de interacciones multiescalares en socioecosistemas

Las funciones ecológicas en las zonas costeras se mantienen a través de una diversidad de ecosistemas como, por ejemplo: playas, dunas y humedales, entre otros. El funcionamiento de estos ecosistemas costeros depende de su estructura (por ejemplo, tipo de vegetación o suelo) y procesos ecológicos (por ejemplo, fotosíntesis) que ocurren en ellos, de los cuales se deriva una gran variedad de servicios ecosistémicos, considerados importantes por proveer medios de subsistencia y por contribuir a fortalecer la resiliencia de las comunidades costeras en un contexto de cambio climático [Barbier, Koch y Silliman, 2008; Biggs et al., 2012]. Debido a que este concepto combina aspectos sociales y ecológicos, está fuertemente vinculado con cuestiones de escala. Es decir, los servicios ecosistémicos se pueden suministrar, valorar y gestionar a diferentes escalas espaciales y temporales [Scholes et al., 2013]. Por ejemplo, la función de atenuación del oleaje por parte de algunos pastos marinos puede ser máxima durante el verano, cuando las plantas se reproducen, a pasar a niveles medios en primavera y otoño, o no suministrar este servicio de protección durante el invierno, cuando la densidad y la biomasa de los pastos es baja [Chen et al., 2007].

En general, los servicios ecosistémicos son producto de complejos socioecosistemas interconectados que dependen de las interacciones y la retroalimentación de múltiples factores que pueden funcionar a numerosas escalas [Hein et al., 2006]. De hecho, algunas interacciones entre servicios ecosistémicos pueden ser observables en ciertas escalas y en otras no es posible lograrlo. Esta complejidad hace que el tema de escalas en la evaluación de los servicios ecosistémicos casi nunca se considere [Fisher, Turner y Morling, 2009]. En la mayoría de los casos, los estudios se limitan a una sola escala, lo que reduce la relevancia de las evaluaciones para las decisiones ambientales y el desarrollo de políticas públicas. En este sentido, autores como Scholes et al. [2013] describen alternativas metodológicas para evaluar los servicios ecosistémicos en el contexto de los socioecosistemas,

destacando la importancia de tomar en cuenta las múltiples escalas y niveles en las evaluaciones.

El suministro de servicios ecosistémicos y los beneficios que las comunidades costeras obtienen de los ecosistemas están influenciados por normas, prácticas e instituciones que regulan el uso de los recursos naturales [CGIAR, 2014]. La gobernanza, en este sentido, opera en múltiples escalas y niveles. Las intervenciones y decisiones políticas, como desviar las aguas para riego cuenca arriba, pueden tener implicaciones significativas en el suministro de servicios ecosistémicos cuenca abajo. La reducción de los flujos de los ríos en las áreas costeras hace que la sal se desplace tierra adentro y potencialmente aumenta el riesgo de intrusión salina en el agua subterránea, disminuyendo el suministro de agua potable a las comunidades costeras (recuadro 4.1).

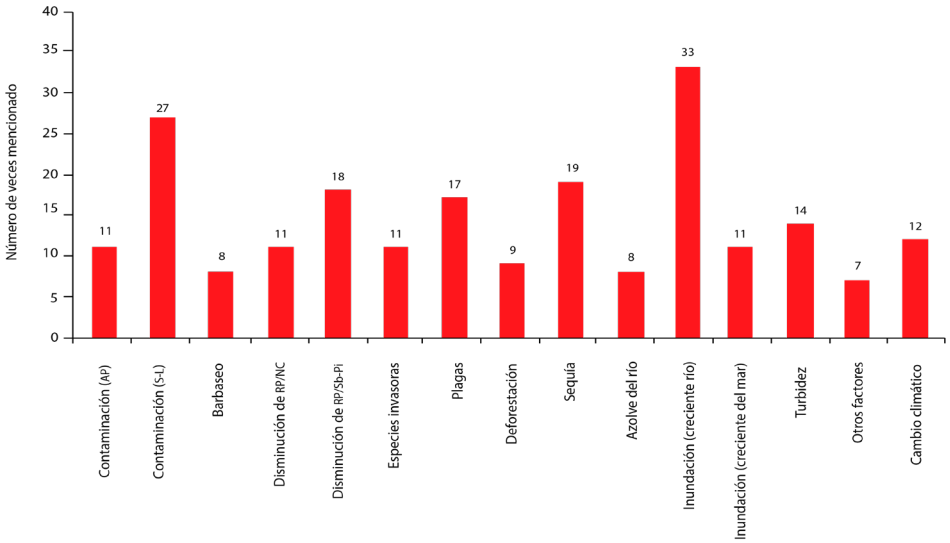
En términos de escalas, la pesca artesanal es un sistema complejo adaptativo socioecológico en el que se ejemplifica la dinámica y la interdependencia de la gente y la naturaleza. La relación de retroalimentación más importante en un sistema pesquero, sin la cual no existiría este tipo de socioecosistema, consiste en la interacción entre los pescadores y las especies objetivo; la dinámica de esta relación de retroalimentación se verá afectada por la disponibilidad espaciotemporal de las especies, la demanda del mercado, así como por las regulaciones establecidas. Un reto central, en el diagnóstico de por qué algunos socioecosistemas son sostenibles

Recuadro 4.1 Sistema de servicios ecosistémicos en el delta del Usumacinta.

Se realizaron entrevistas semiestructuradas para que los habitantes de cuatro comunidades representativas de la zona describieran cómo se interconecta la calidad de los ecosistemas en el delta del Usumacinta con los beneficios que reciben las comunidades de dichos ecosistemas. Se seleccionaron cuatro comunidades que pudieran representar la diversidad cultural y el uso de los servicios ecosistémicos en esta zona baja de la cuenca. Las cuatro comunidades diferían en cuanto a su tamaño, su relación de uso con el río y su etnia, así como en el aspecto geográfico (cubrían los diferentes brazos en los que se convierte el río Usumacinta para inundar la planicie deltaica), entre otras variables. Uno de los resultados que destacan es que la mayor parte de los ingresos

que se obtienen de las diferentes actividades (por ejemplo, pesca, manejo de traspatio, milpa-parcela y jornales) se gasta en salud privada y compra de alimentos manufacturados y de garrafones de agua. Este último gasto está directamente relacionado con una de las amenazas más mencionadas por los entrevistados: la contaminación del agua por residuos sólidos y líquidos. Es decir, las escorrentías de las actividades agrícolas en la parte media de la cuenca, promovidas por el gobierno desde la década de los sesenta, están afectando el suministro de agua potable en las comunidades costeras de la parte baja de la cuenca en un tiempo y espacio determinados.

Amenazas identificadas por las comunidades en el delta del río Usumacinta (cuatro comunidades, cuarenta entrevistas).



Contaminación (AP): actividades petroleras como fuente de contaminación. Contaminación (S-L): contaminación por residuos sólidos-líquidos. Disminución RP/NC: reducción en la captura de recursos pesqueros (no mencionan causa específica). Disminución RP/Sb-Pi: decremento de la captación de recursos pesqueros por sobrepesca o pesca ilegal.

Uno de los servicios de aprovisionamiento más importantes en la zona costera es el soporte a la actividad pesquera. Los ecosistemas, como el manglar o las lagunas costeras, actúan como zonas de refugio y fuente de alimentación de especies marinas, muchas de ellas de importancia comercial, las cuales contribuyen a los medios de subsistencia de las comunidades costeras.

mientras que otros colapsan, es la identificación y análisis de las relaciones entre los múltiples niveles de estos sistemas complejos a diferentes escalas espaciales y temporales. Los socioecosistemas generan adaptaciones que modifican los patrones de uso de los recursos temporal y/o espacialmente para mantener su configuración (recuadro 4.2).

Recuadro 4.2 Operaciones de pesca y estrategias adaptativas de pescadores artesanales.

El presente estudio de caso es un ejemplo de la identificación de respuestas adaptativas de pescadores artesanales a diferentes escalas temporales debido a cambios en la dinámica del socioecosistema al que pertenecen. El estudio realizado toma como caso de estudio la pesca artesanal en el puerto de San Felipe, localizado al oriente de Yucatán. Los pescadores utilizan una variedad de artes de pesca para capturar diversas especies (langosta, pulpo y escama) que van alternando a lo largo del año. Esta alternancia se puede ver afectada por las regulaciones de manejo como vedas temporales, la disponibilidad de las especies, el precio y las condiciones ambientales. Las escalas temporales analizadas por Saldaña et al. [2017] son de tipo interanual y estacional, donde el principal reto que se afrontó en este estudio fue evidenciar las respuestas adaptativas de los pescadores con pocos datos disponibles. En la escala temporal a largo plazo se utilizaron datos provenientes de entrevistas realizadas al momento del desembarco de los pescadores. En estas entrevistas se registró información relacionada con las operaciones de pesca, como hora de salida y de regreso al puerto (tiempo de pesca), costos de viaje, profundidad a la que pescaron, entre otras. Estos datos correspondieron a los años 1991-1992 y 2005-2006. Los resultados mostraron que los pescadores aumentaron: 1) el tiempo de sus viajes de pesca; 2) la profundidad de zonas de pesca; y 3) los costos de su viaje. Estos incrementos evidencian de manera indirecta cambios en la relación predador-presa (pescador-especie) del socioecosistema en San Felipe porque implican menor disponibilidad de las especies objetivo, teniendo como resultado viajes más prolongados a zonas más profundas, con la expectativa de obtener ingresos suficientes para al menos cubrir los costos. A escala estacional, se analizaron datos provistos por los pescadores sobre sus desembarcos diarios durante 1991-1992, 2005-2006 y 2010-2011. A diferencia

de las entrevistas, estos datos no cuentan con información sobre las zonas de pesca, tiempo de viaje y/o costos, por lo que solo comprenden información sobre las especies capturadas, y adicionalmente se puede inferir cuántos viajes de pesca se realizaron diariamente. Cabe resaltar que, en general, las dependencias encargadas del manejo de las pesquerías suelen utilizar el número de viajes realizados como una métrica para controlar el esfuerzo de pesca. La estacionalidad que se consideró para cada periodo de años en el estudio fue de julio a febrero, debido a que en estos meses está permitida la pesca de langosta (julio a febrero), pulpo (agosto a diciembre) y escama (abril a febrero). Esta situación permite que los pescadores puedan alternar el uso de las artes de pesca dependiendo de la especie objetivo de su interés. Los resultados no evidenciaron cambios entre los periodos de tiempo (años), pero sí en la forma en que los pescadores asignan su esfuerzo de pesca dentro de la temporada de esta. De ese modo, al inicio de la temporada de langosta, la probabilidad de que los pescadores lleven a cabo viajes de pesca para capturar esta especie es más alta en comparación con ir a capturar pulpo o escama, lo cual se puede explicar por el alto valor económico que tiene la langosta respecto de las demás especies. Conforme la temporada de pesca avanza y la disponibilidad de la langosta disminuye, se registra un aumento en la probabilidad de que se realicen viajes para capturar pulpo, el cual tiene un precio alto y puede tener altas abundancias, generando un buen ingreso. Sin embargo, cuando la disponibilidad de la langosta es mínima al final de la temporada y comienza la veda del pulpo, los pescadores tienden a realizar mayor número de viajes para capturar escama.

Discusión

Las propuestas sugeridas por Cash y Moser [2000] conducen a una concepción diferente de los llamados drivers, fuerzas o procesos impulsores de cambios. Lo relevante no es aislar un componente particular, sino analizar las interacciones que involucra y las posibilidades y restricciones que se generan. De una causalidad directa, se transita, como orientación metodológica, a una centrada en dar cuenta de las interacciones entre escalas y niveles, que pueden tener detonadores específicos, pero no se agotan en ellos. La dinámica de los sistemas no privilegia una explicación monocausal,

sino multicausal centrada en el análisis de las interacciones multiescalas y multiniveles. Si bien lo anterior es cierto, en la práctica es complejo analizar estas interacciones, de tal suerte que la mayoría de los estudios relacionados con los socioecosistemas costeros ha adoptado esquemas reduccionistas enfocados a analizar sus diferentes componentes en una sola escala o nivel. En este sentido y considerando el contexto global de cambio, es urgente adoptar nuevos enfoques flexibles con los cuales se puedan capturar y explorar las interacciones multiescalas y multinivel en los socioecosistemas costeros y, con esto, proporcionar información útil a los tomadores de decisiones. La teoría de la jerarquía y el nivel regional, propuestos por Cash y Moser [2000], así como Glaser y Glaeser [2014], respectivamente, así como el desarrollo de modelos e indicadores más integrados pueden ofrecer un punto de partida innovador para futuras investigaciones.

Referencias

Barbier, E. B., et al. [2008], "Coastal ecosystem based management with non-linear ecological functions and values", Science, núm. 319, pp. 321-323.

Biggs, R., et al. [2012], "Toward principles for enhancing the resilience of ecosystem services", Annual Review of Environment and Resources, vol. 37, núm. 1, pp. 421-448.

Cash, D., et al. [2006], "Scale and cross-scale dynamics: governance and information in a multilevel world", Ecology and Society, vol. 11, núm. 2.

——— y S. Moser [2000], "Linking global and local scales: designing dynamic assessment and management processes", Global Environmental Change, núm. 10, pp. 109-120.

cgiar Research Program on Water, Land and Ecosystems (wle) [2014], Ecosystem services and resilience framework, Colombo, Sri Lanka, International Water Management Institute (iwmi), cgiar Research Program on Water, Land and Ecosystems (wle), 46 pp., <doi: 10.5337/2014.229>.

Chen, S.N., et al. [2007], "A nearshore model to investigate the effects of seagrass bed geometry on wave attenuation and suspended sediment transport", Estuaries, núm. 30, pp. 296-310.

De Andrés, M., J. M. Barragán y J. G. Sanabria [2018], "Ecosystem services and urban development in coastal Social-Ecological Systems: the Bay of Cadiz case study", Ocean and Coastal Management, núm. 154, pp. 155-167.

Farhad, S. [2012], Los sistemas socioecológicos. Una aproximación conceptual y metodológica, Sevilla, España, Departamento de Economía, Métodos Cuantitativos e Historia Económica, Universidad Pablo de Olavide, 16 pp.

Fisher, B., K. Turner y P. Morling [2009], "Defining and classifying ecosystem services for decision making", Ecological Economics, núm. 68, pp. 643-653.

Gibson, C. C., E. Ostrom y T. K. Ahn [2000], "The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey", Ecological Economics, vol. 32, núm. 2, pp. 217-239.

Glaser, M. y B. Gleaser [2014], "Towards a framework for cross-scale and multi-level analysis of coastal and marine social-ecological systems dynamics", Regional Environmental Change, núm. 14, pp. 2 039-2 052.

Gunderson, L. H. y C. S. Holling (eds.) [2001], Panarchy: understanding transformations in human and natural systems, Washington, DC, Island Press, 450 pp.

Hein, L., et al. [2006], "Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services", Ecological Economics, núm. 57, pp. 209-210.

Maas, M. [2018], "Los sistemas socioecológicos (sse) desde el enfoque socioecosistémico (ses)", pp. 19-66, en V. S. Ávila Foucat y M. Perevochtchikova (coords.), Sistemas socioecológicos: marcos analíticos y estudios de caso en

Oaxaca, México, Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, 334 pp.

Niiranen, S., et al. [2018], "Global connectivity and cross-scale interactions create uncertainty for Blue Growth of Arctic fisheries", Marine Policy, núm. 87, pp. 321-330.

Raudsepp Hearne, C., G. D. Peterson y E. M. Bennett [2010], "Ecosystem service bundles for analyzing trade-offs in diverse landscapes", Proceedings of National Academy of Science, núm. 107, pp. 5 242-5 247.

Rivera Ruiz, N. R., y L. Galicia [2016], "La escala geográfica como concepto integrador en la comprensión de problemas socioambientales", Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, núm. 89, pp. 137-153.

Saldaña, A., et al. [2017], "Fishing operations and adaptive strategies of small-scale fishers: insights for fisheries management in data-poor situations", Fisheries Management and Ecology, núm. 24, pp. 19-32.

Scheffer, M., et al. [2009], "Early-warning signals for critical transitions", Nature, núm. 461, pp. 53-59.

Scholes, R.J., et al. [2013], "Multi-scale and cross-scale assessments of social-ecological systems and their ecosystem services", Current Opinion in Environmental Sustainability, vol. 5, núm. 1, pp. 16-25.

Swaney, D. P., et al. [2012], "Five critical questions of scale for the coastal zone", Estuarine, Coastal and Shelf Science, núm. 96, pp. 9-21.

Wu, J., y H. Li [2006], "Concepts of scale and scaling", pp. 3-15, en Scaling and uncertainty analysis in ecology, Dordrecht, Springer.

CAPÍTULO 5

Trayectoria de los socioecosistemas costeros

V. Sophie Ávila Foucat
Alec Torres Freyermuth
Karina Esqueda Lara
Gabriela Medellín Mayoral
Uberto Salgado Nieto
Cristina González Quintero
Alejandra Ramírez León
Mariana Reyna Fabián

Introducción

La trayectoria de socioecosistemas es un elemento que permite analizar y describir los cambios que ha tenido el sistema y su dirección. Por tanto, es un aspecto fundamental para determinar la resiliencia de cualquier socioecosistema. Por ello, el objetivo de este capítulo es definir el concepto de trayectoria de socioecosistemas en el marco de estudios de resiliencia costera; así como presentar algunos ejemplos de cómo han sido abordados en México. En ocasiones, las trayectorias son medidas a escala local, por ejemplo, en algún sistema lagunar, o a escala nacional, como cuando se mide el producto interno bruto, sin embargo, muchos procesos tienen repercusiones a nivel global y puede analizarse su trayectoria a esa escala, como es el caso del cambio climático. Asimismo, los socioecosistemas costeros dependen de aspectos físicos, como la geomorfología costera, aspectos bioquímicos y aspectos relacionados con la actividad humana. Por ello, en este capítulo se abordan algunos antecedentes en la literatura sobre la trayectoria de socioecosistemas, así como la medición de la trayectoria en playas, calidad del agua y aspectos socioeconómicos y de gobernanza, con la finalidad de conocer la diversidad de técnicas y poder engranarlas para una mejor medición de la trayectoria de sistemas acoplados. Finalmente, se presentan reflexiones para el estudio de las trayectorias de socioecosistemas y su resiliencia en zonas costeras de México.

Antecedentes sobre la trayectoria de socioecosistemas

La trayectoria es el recorrido o camino que realiza un sistema al desplazarse de un estado a otro, lo cual implica un dinamismo. Asimismo, está determinada por la forma en que se producen los cambios en función del tiempo.

Como consecuencia, la trayectoria se define por la dirección que toma un sistema y el patrón de cambio [Bagchi et al., 1998]. Las trayectorias pueden ser cíclicas, lineales, irregulares o estocásticas. Están embebidas en un contexto histórico que cambia en el tiempo en función de eventos (disturbios) específicos que perturban el sistema. El estado intermedio entre dos estados se conoce como transición y el concepto de transformación se refiere a un estado nuevo después de haber cruzado un umbral. Por tanto, para el estudio de las trayectorias es fundamental definir los umbrales tal y como se ha descrito en el capítulo 3; lo que determina las transformaciones y la evolución del sistema.

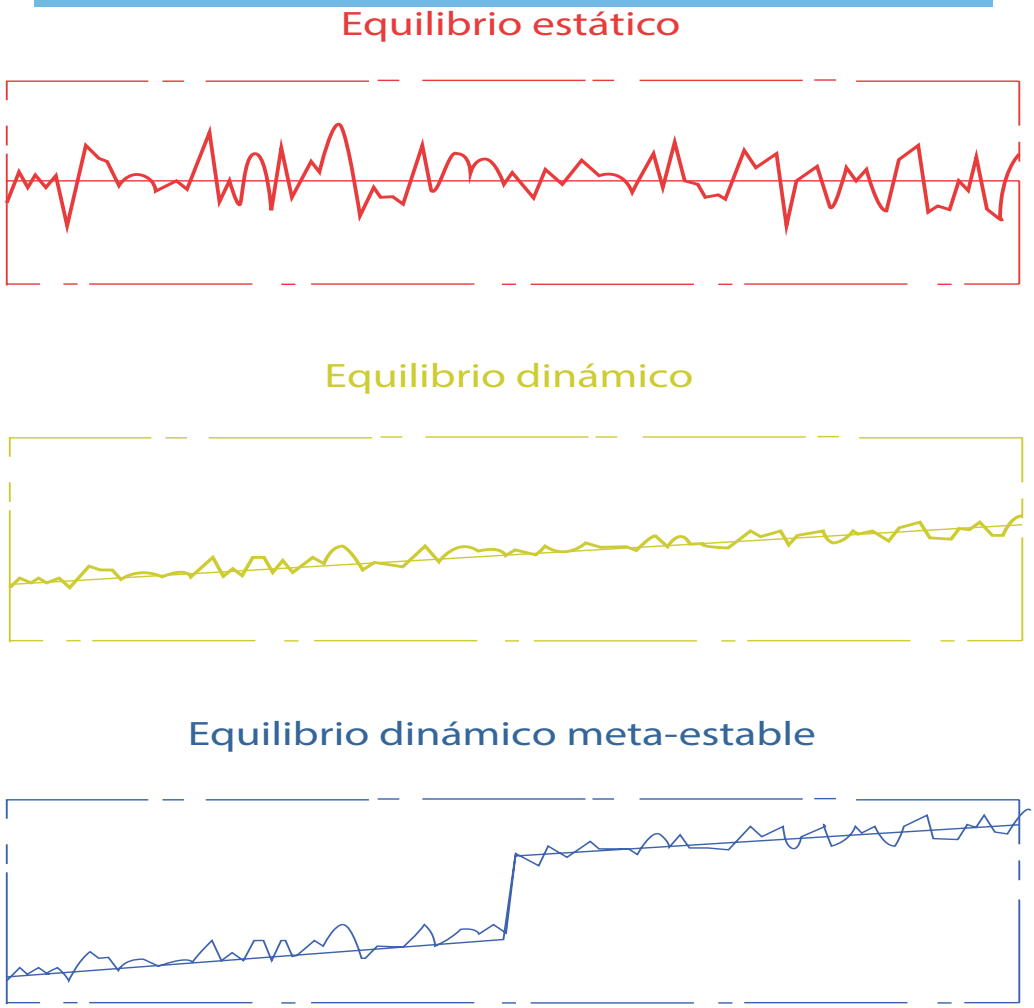
La trayectoria de cualquier sistema está en función de su naturaleza (física, biológica, o social), su grado de integración (socioecológica) y el tipo de estresor al que está sujeto [Chaffin y Scown, 2017]. El estresor puede ser un choque o un estresor progresivo, o una combinación de ambos. Piégay et al. [2019] proponen que en función de su evolución temporal las trayectorias pueden clasificarse en diferentes "estados de equilibro": i) equilibrio estático (ciclicidad); ii) equilibrio dinámico; iii) equilibrio dinámico metaestable (figura 5.1). Es decir, un sistema puede tener una trayectoria que muestra una evolución que no ha implicado un cambio de estado o traspasado un umbral, y en ese sentido esa trayectoria puede ser ascendente (equilibrio dinámico) hasta que pase a otro estado.

Ahora bien, hay quienes definen la trayectoria como un ciclo adaptativo, tal como lo plantea la teoría de la resiliencia [Folke, 2016], en donde hay una etapa de conservación, de liberamiento, de reorganización y aprovechamiento. Esta manera de describir la trayectoria permite identificar umbrales y pseudotrayectorias de manera similar a como se hace en disciplinas como la geomorfología [Piégay et al., 2018] o la biología [Walker y Salt, 2012].

La transición, la transformación y los umbrales son parte de la trayectoria del socioecosistema y suponen una manera de describir su dinámica espaciotemporal. Asimismo, la descripción de estos aspectos define si el sistema es resiliente o no, es decir, la capacidad de un sistema perturbado de recuperarse o adaptarse para conservar su funcionalidad.

Ahora bien, el destino del sistema puede adaptarse y recuperar su funcionalidad, pero no implica necesariamente que su trayectoria tienda a la sustentabilidad, debido a que como se explica en la introducción, resiliencia

Figura 5.1 Tipos de trayectorias.



Fuente: adaptada de Piégay et al. [2019].

no es sinónimo de sustentabilidad. Sin embargo, es posible analizar si la trayectoria del sistema tiende a la sustentabilidad bajo la premisa de que esto incrementa su funcionalidad y, por ende, le confiere mayor resiliencia.

El estudio de la trayectoria de socioecosistemas es muy variado en función no sólo de los límites del sistema, sus variables, estresores y choques, sino también de las preguntas específicas que se pueden hacer sobre la trayectoria. Por ejemplo, se puede estudiar la trayectoria de socioecosistemas asociados con, entre otros, sistemas agroforestales [Gingrich y

Krausmann, 2018], ciudades [Mat et al., 2016], la pesca [Elsler et al., 2019], cambios de uso del suelo [Antoni et al., 2019], o medios de vida [Sallu et al., 2010], e incluso se puede estudiar la trayectoria de algún tipo de interacción en específico (como cuando se estudia la resiliencia específica). Pitman y Armitage [2019], por ejemplo, se interesaron en la trayectoria de la gobernanza en redes para consolidar la relación marinocostera. O bien algunos otros se interesan en la trayectoria de la pesca integrada por variables biológicas y económicas [Elsler et al., 2019].

Los enfoques para el estudio de la trayectoria son, por tanto, muy diversos. Algunos estudian de manera histórica cuáles han sido los eventos que han determinado cambios importantes en el sistema y las etapas de transición entre cada uno de esos eventos [Mat et al., 2016; Antoni et al., 2019]; y otros plantean modelos para predecir las trayectorias de los sistemas. Para la descripción histórica se usan tanto técnicas cualitativas como entrevistas o historias orales, pero también cuantitativas como encuestas, mediciones directas, o bien sistemas de información geográfica que permiten evaluar los cambios del territorio. En el caso de los modelos, se pueden usar datos secundarios o hacer trabajo de campo (ambiental o socioeconómico), pero incluso pueden incorporarse en ocasiones variables que reflejen la percepción de actores, siendo estas variables más cualitativas. Asimismo, Olsson et al. [2006] proponen que la transformación de socioecosistemas está en términos de su gobernanza a través de la formación de conocimiento, las redes y el liderazgo. Aunado a los dos ejemplos anteriores, también se ha estudiado la trayectoria utilizando el concepto de metabolismo social [Gingrich et al., 2018]. Por otro lado, no siempre se hace referencia a la posición del sistema dentro del ciclo adaptativo [Antoni, 2019]; se puede hacer una descripción en el tiempo sin determinar en qué parte del ciclo está el sistema, e incluso muchas veces no se describe el tipo de trayectoria del sistema. Como consecuencia, es probable que no todas las trayectorias tengan una forma cíclica, o que debido a la escala temporal de nuestro análisis no podamos observar en qué etapa del mismo se encuentran. Si los socioecosistemas no tienen necesariamente un ciclo adaptativo, entonces pueden tender a la destrucción, o mantenerse en alguna de las etapas como la de conservación o reorganización de manera constante como si fuera un estado de equilibrio. En los apartados siguientes se describe cómo se han estudiado en México las trayectorias de algunos elementos de la zona

costera que conforman sus socioecosistemas. No existen estudios integrados o de dinámica de sistemas que analicen la trayectoria del sistema en su totalidad.

Trayectoria de socioecosistemas costeros en México

La trayectoria histórica de los socioecosistemas identifica la evolución con respecto a la situación actual del sistema. En México existen varios esfuerzos por describir los procesos de cambio como, por ejemplo, la evolución de los instrumentos de conservación en una región y sus impactos para la conservación, tal como lo describen Bobadilla et al. [2011] para el alto golfo de California. Existen también descripciones de la evolución de la biodiversidad pesquera a través de historias orales o documentos históricos [Saenz et al., 2006], donde se describe la interacción del humano con la naturaleza y la importancia de la misma.

Otro ejemplo se muestra en el recuadro 5.1, donde se observa la trayectoria en la creación de instituciones y actividades económicas y su relación con los recursos naturales en Baja California.

Recuadro 5.1 Trayectoria temporal de usos y manejo de un espacio geográfico en la península de Baja California.

Se presenta la trayectoria en el tiempo (1900-2013) de un espacio geográfico específico, la región denominada "La Pacífico Norte" en la península de Baja California. "La Pacífico Norte" alberga a comunidades pesqueras localizadas en la costa occidental del Desierto El Vizcaíno, en el centro de la península de Baja California, municipio de Mulegé, Baja California Sur. Desde los primeros pescadores hasta la consolidación de las cooperativas pesqueras, este caso retrata la evolución cultural y socioeconómica de estas comunidades alrededor de la costa conocida como "La Pacífico Norte".[1]

[1] La Pacífico Norte [s.f.], <http://fcm.ens.uabc.mx/~lapacificonorte/>.

En el recuadro se presentan las tres etapas del uso y manejo de este espacio, con la representación geográfica de estos cambios. En la etapa 1: “Los primeros pescadores”, se expone el interés que en 1910 mostraron extranjeros japoneses por explorar las aguas de la península de Baja California para la explotación pesquera; los pobladores, dedicados a la agricultura y la ganadería, eran contratados y entrenados en la pesca de abulón y langosta. Se observa en el mapa la zona de pesca para la compañía japonesa y el área destinada a la ganadería extensiva.

Posteriormente, en la etapa 2: “Integración de 'La Pacífico Norte'”, nacen las cooperativas pesqueras entre 1940 y 1960, de las cuales, las seis primeras se formaron cerca de los campos pesqueros; la creación de las cooperativas trajo crecimiento a los pobladores.

En la etapa 3: “Pesquería sostenible”, se realizaron obras en los últimos años que han fortalecido la calidad de vida de las familias de la región, y se han apoyado proyectos que diversifican las actividades de acuacultura. En el mapa se observa el declive de la ganadería extensiva, sustituida por la agricultura intensiva. Se resalta el crecimiento del área de pesca de abulón y langosta, y la ubicación de estas nuevas cooperativas. Se observa la incorporación de una nueva actividad (la pesca de escama) con la ampliación del espacio geográfico de uso y manejo de los recursos marinos; las familias que fundaron las comunidades pesqueras en su mayoría son originarias de San Ignacio y de rancherías de los alrededores, por lo que comparten lazos familiares de varias generaciones. También se observa que la agricultura intensiva se mantiene igual. Es importante destacar los nuevos caminos de carretera y terracería, pues “La Pacífico Norte” históricamente se había mantenido aislada por el difícil acceso a través del desierto y el mar, y debido a que al norte se localiza la bahía El Vizcaíno, al oeste el Océano Pacífico y al sur la laguna costera San Ignacio.

Se realizaron talleres con los jóvenes de estas comunidades para conocer su visión a futuro del uso y manejo de este espacio geográfico, misma que refleja el interés por la diversificación de actividades, así como una nueva trayectoria temporal del manejo de esta región.

Etapa 1

"Los primeros pescadores"
1900-1939

1900 - 1927
Primeros pescadores en la Pacífico Norte

1912
Fundación Bahía Tortugas

1914 - 1915
Tormentas Invernales

1920
Constitución de muelle en Bahía Tortugas

1927 - 1931
Construcción de primera planta procesadora de productos pesqueros

1929 - 1930
Fuerza Aérea Mexicana construye pistas de aterrizaje de tierra

1930 - 1940
La gente se trasladaba en burro a la costa

1931 - 1935
Pesquerías sin planta procesadora

28 junio 1932
Decreto de veda del abulón

26 de agosto 1932
Publicación de la Ley de Pesca

27 noviembre 1932
Ampliación de la veda de abulón

3 septiembre 1932 y 20 enero 1933
Publicación del reglamento a la Ley de Pesca

Isla de Cedros 1932
Primera sociedad de pescadores de abulón en la región

24 julio 1936
Decreto en el que se reserva la pesca del abulón exclusivamente a las sociedades cooperativas pesqueras

Ensenada 1930
División de la primera cooperativa en el Pacífico Norte

1939
en dos cooperativas, una de ellas langostera con domicilio social en San Ignacio

1939 - 1940
Fuente de agua pequeños pozos salobres y traída de Isla de Cedros

Etapa 2

Integración de "La pacífico Norte"

1940-1979

1941
Constitución de cooperativa almejera

1942
Establecimiento de cooperativa pesquera en Isla Natividad

1944
Construcción de desaladoras y primeras casas

1948
Mudan su domicilio dos cooperativas a Bahía Tortugas

Principios 1950
Establecimiento del Banco de Fomento Cooperativo

1950
Primer Carnaval en Bahía Tortugas

1950
Comienza el acceso a Bahía Tortugas por camión

1954
Dotación de energía eléctrica y servicios públicos de las cooperativas a las comunidades

1954
Correos Mexicanos instala agencia en Bahía Tortugas

1954
Dotación de casas en Bahía Tortugas y constitución del Sindicato de Trabajadores

Finales 1950
Empresa pesquera de Bahía Asunción arregla el camino Bahía Asunción - Punta Abreojos

1957 - 1958
Fenómeno del Niño

1960
Conflicto laboral dentro de las cooperativas pesqueras de Bahía Tortugas

1965
Construcción de pequeño hospital de Bahía Tortugas

1966
Venta de las empresas pesqueras de la región al Gobierno Federal

1968
Inauguración de escuela primaria

1970 - 1976
Construcción planta de atún

1970 - 1976
Socios de las cooperativas pesqueras se constituyen en ejidos ganaderos

1970
Comisión Nacional de Aguas Salinas comienza a suministrar agua en camiones cisterna

inicio 1970
Construcción de planta para filetear pescado de escama y calamar

1972 - 1974
Instalación de planta desaladora en Bahía Tortugas

1976 - 1982
Construcción de planta procesadora de algas y cocedora de langosta

1975 - 1981
Se proyecta carretera Pacífico - Norte

1981 - 1987
Constitución de la 1ra. etapa e inicio 2da. etapa de acueducto Viscaíno - Tortugas

1978
Fuertes torrenciales

Etapa 3

"Pesquería sostenible"

1980-2013

1980
Inicia operaciones el Centro de Acuicultura de Estudios Biológicos de Pesca Zona Pacífico Norte

1981 - 1982
Construcción de clínica del IMSS y consultorio del ISSSTE en Bahía Tortugas

1982
Comenzó a tener presencia el guaterismo (pesca furtiva)

1982
Construcción de más escuelas primarias y primera escuela de nivel medio superiror

1985
Teléfonos de México instala caseta telefónica rural

1987-1990
Culminación de 2a etapa de acueducto Vizcaíno-Tortugas

1990
Venta de las empresas pesqueras a las cooperativas pesqueras

1990
Construcción de planta procesadora de concha de abulón entre cooperativa pesquera y empresa coreana

1995
Delegación Estatal de Sofemar concesiona a las cooperativas las playas

1996 - 1997
Fenómeno del Niño

1996
Construcción de escuelas nivel jardín de niños

1998 - 2010
Cierre de la primera planta procesadora de productos pesqueros

1999 - 2004
Pavimentación de 135 km carretera Vizcaíno-desviación Bahía Asunción-Bahía Tortugas

2011 - 2013
Culminación de etapa final de acueducto a La Bocana y Punta Abreojos

Por otro lado, se describe la trayectoria de los socioecosistemas analizando los diferentes elementos que los componen para después idealmente hacer una análisis integrado, aunque en muchas ocasiones se enfrentan retos de escalas de análisis, de compatibilidad de los datos y de metodologías para agruparlos.

En este sentido, a continuación se presenta la trayectoria de tres de los componentes de los hogares de dos comunidades rurales de Oaxaca: la trayectoria y resiliencia de los capitales de los hogares rurales; la trayectoria de su capital social; y la trayectoria de cambio de uso del suelo.

Por otro lado, se analizó el contexto institucional al que se refiere Ellis [2000] y la gobernanza. "La gobernanza se concibe como una forma de

Recuadro 5.2 Resiliencia socioecológica a nivel hogar: un caso de estudio en la costa de Oaxaca, México.

Los métodos propuestos para operacionalizar o medir resiliencia socioecológica normalmente son a escala cuenca, municipio, comunidad, y pasan por alto la importancia de los hogares. Los hogares rurales se consideran socioecosistemas ya que dependen fuertemente de sus recursos naturales, por tanto en estos confluyen dimensiones ecológicas y sociales. Además, los hogares rurales en zonas costeras de países en vías de desarrollo se han identificado como prioritarios debido a su vulnerabilidad ante el cambio climático. Por esta razón, estudiar cómo los hogares pueden absorber disturbios de acuerdo con sus capacidades, recursos y actividades para generar sus medios para sobrevivir es fundamental. El objetivo de este estudio es operacionalizar y medir resiliencia socioecólogica a nivel hogar a través de la trayectoria en el tiempo de nueve indicadores: capitales natural, social, físico, financiero y humano, diversidad, dependencia de sus propios recursos, conectividad así como capacidad de aprendizaje. Para esto, primero se hizo una revisión de la literatura relacionada con resiliencia socioecológica, hogares y medios de vida para la selección de variables [González y Ávila, 2019]. Con base en lo anterior, se llevó a cabo una encuesta semiestructurada en las localidades de Ventanilla y Escobilla, en la costa de Oaxaca. En la primera localidad se aplicó la encuesta a 25 (72 %) hogares y en la segunda a 60 (60 %) en 2013 y 2016. Posteriormente se construyeron los indicadores relacionados con la resiliencia socioecológica del hogar. Los resultados muestran que los hogares en las dos comunidades están perdiendo la habilidad de absorber disturbios.

Escobilla muestra una reducción estadísticamente notable en capital natural, diversidad, conectividad y dependencia de sus propios recursos de 2013 a 2016. Ventanilla, por su parte, muestra una disminución en el capital social, capital financiero, diversidad y dependencia de sus propios recursos de 2013 a 2016. La erosión de los indicadores de capitales se relaciona con una menor capacidad de respuesta a disturbios, ya que son los cimientos básicos de los cuales dependen los hogares. La pérdida de conectividad y de dependencia de sus propios recursos se traduce en una reducción de autoorganización interna. Por último, la reducción en diversidad se relaciona con poca capacidad de persistencia y renovación. La operacionalización y medición de la resiliencia a través de estos indicadores nos proporciona información acerca de las fortalezas y debilidades del sistema hogar. Además, estos indicadores son fáciles de comunicar y visualizar para una posterior toma de decisiones acerca de la asignación de recursos o monitoreo del progreso de proyectos implementados.

gobierno que tiene como finalidad dar respuesta a la complejidad propia de la resolución de problemas públicos que requieren de la implicación y participación de un amplio número de actores públicos y privados. El elemento clave lo constituye las características de las redes de colaboración inter-actor, y su conocimiento y comprensión se convierten en el centro de atención no sólo para caracterizar la gobernanza como forma de gobierno, sino para descubrir los patrones de interacción y poder intervenir sobre ellos con el objetivo de incidir en la mejora de la acción pública" [Merinero et al., 2019 : 2]. Con respecto al desarrollo sustentable, Crona y Hubacek [2010] y Bodin y Crona [2009] han estudiado los procesos de gobernanza en recursos naturales a partir del análisis de redes. Señalan que las redes sociales entendidas como el arreglo institucional entre varios actores son muy importantes para la eficiencia y eficacia de las políticas públicas, debido a que facilitan la transmisión de conocimiento y la resolución de conflictos sobre el manejo de los sistemas ambientales [Bodin y Crona, 2009]. Aunque no es muy común un análisis temporal de las redes, en el recuadro 5.3 se presenta un ejemplo de cómo han cambiado en el tiempo las relaciones entre cooperativas ecoturísticas en la costa de Oaxaca.

Aunado a lo anterior se analizó el cambio de uso del suelo entre 2000 y 2006, así como sus efectos en la provisión de leña [Deschamps, 2018].

Recuadro 5.3 Trayectoria de la gobernanza del ecoturismo comunitario en ecosistemas costeros.

La promoción de actividades económicas sustentables es considerada un componente clave en las estrategias de crecimiento verde en muchos países, debido a que tales actividades pueden incrementar los ingresos rurales con un mínimo de interferencia en ecosistemas marinos [Ávila et al., 2013]. Así, el ecoturismo ha sido promovido como una actividad económica sustentable, una estrategia para la superación de la pobreza, la sustentabilidad y la conservación. El ecoturismo es definido en términos de "viajes responsables a áreas naturales para conservar el medio ambiente y mejorar el bienestar de la población local" [The International Ecotourism Society, 2017].

Una de las modalidades del ecoturismo impulsado en ecosistemas costeros es el ecoturismo comunitario (EC). El EC es una práctica donde la comunidad local tiene control significativo y participación equitativa en su propio desarrollo y administración [Stone, 2015]. Paralelamente, impulsa instituciones locales existentes (o las crea), para que gestionen el acceso y uso de recursos naturales.

Para ello se requiere colaboración en diferentes escalas entre diversos actores, como: autoridades comunitarias, agentes económicos, organizaciones internacionales, gobiernos, asociaciones civiles y academia [Stone, 2015]. Esa colaboración crea redes que facilitan la coordinación y el flujo de información y recursos entre organizaciones heterogéneas. Así, surgen arreglos de gobernanza local que permiten empoderar a los participantes locales y consolidar la actividad.

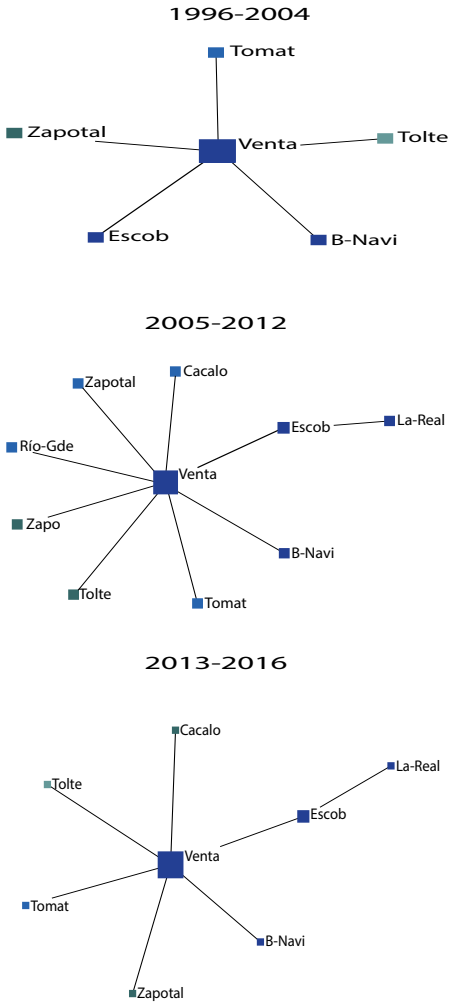
En particular aquí se presenta la relación con otras cooperativas como una forma de apoyo y colaboración, no solo en temas de turismo sino también de actividades productivas sustentables. En la región costeña de Oaxaca, hay varias cooperativas que surgieron del apoyo de organizaciones de la sociedad civil, el gobierno federal o de otras cooperativas de la región. Este proceso inició hacia 1990 con el decreto de veda para la pesca de tortuga marina y la consecuente búsqueda de nuevas actividades productivas de bajo impacto ambiental. Para analizar la colaboración en el tiempo entre cooperativas en el municipio de Santa María Tonameca, se hizo un estudio longitudinal de estas, desde su fundación, hasta 2016.

La siguiente imagen muestra la evolución de estas relaciones. Entre 1996 y 2004, surgieron las primeras cooperativas en la región, destacando la cooperativa (Venta) de la localidad de Ventanilla que fue una de las primeras en constituirse, en 1994. La línea

con la cooperativa (Escob) de la localidad de Escobilla representa la fuerte interacción entre ellas, dado que Venta ayudó a los emprendedores de Escob a capacitarse y constituir su cooperativa en 2004.

Entre 2005 y 2012, se registraron más relaciones entre Venta y diversas cooperativas. Esta etapa coincide con un proceso de expansión de la actividad en la región. Permanece una fuerte relación con Escob y surgen nuevas cooperativas en la zona. Finalmente, entre 2013 y 2016 se observa un proceso de maduración en el que la cooperativa más importante sigue siendo Venta.

Relaciones entre cooperativas de ecoturismo.



Nombre de la cooperativa	Tipo de actividad
Productoras Ecológicas del Tomatal Flores y Semillas (Tomat)	Mujeres productoras de cachuate y ajonjolí orgánico
Unión de productores de San Rafael Toltepec (Tolte)	Producción de chocolate orgánico
Sociedad Cooperativa de Producción Ecoturística Colotepec (B-Navi)	Prestación de servicios ecoturísticos
Sociedad Cooperativa Zapotalito (Zapotal)	Prestación de servicios ecoturísticos
Sociedad Cooperativa de Producción y Servicios Ecoturísticos Playa el Cacalote (Cacalo)	Prestación de servicios ecoturísticos
Sociedad Cooperativa Zapotengo Pacheco (Zapo)	Prestación de servicios ecoturísticos
Sociedad Cooperativa Lagarto Real (La-Real)	Prestación de servicios ecoturísticos
Sociedad Cooperativa de Producción Ecoturística La Encomienda (Río-Gde)	Prestación de servicios ecoturísticos

MUNICIPIOS

- Santa Ma. Tonameca
- Santa Ma. Colotepec
- Villa de tututepec
- San Pedro Pochutla

Los hogares rurales en zonas costeras están generalmente cercanos a la playa y son en muchas ocasiones usuarios de esta para la pesca o el turismo. Evidentemente, hay una multiplicidad de actores que dependen de la trayectoria de la línea de costa. Las playas son un socioecosistema importante ya que constituyen el hábitat de varias especies, brindan protección natural a la costa y representan una fuente de ingresos por actividades turísticas. El turismo de sol y playa se ha incrementado en las últimas décadas y con ello la presión a los ecosistemas en esta zona. Uno de los principales problemas en la costa está relacionado con la reducción del ancho de playa debido a la pérdida de arena (erosión). Este problema puede exacerbarse en el contexto del cambio climático debido al incremento del nivel del mar y la intensificación de las tormentas (ver capítulo 3). Asimismo, el desarrollo de infraestructura costera (puertos, marinas, obras de protección costera) puede contribuir a la aceleración de las tendencias erosivas. En este contexto resulta importante entender las trayectorias de las playas. Por tanto, existen varios estudios alrededor del mundo enfocados en el monitoreo de las playas. Estos consisten principalmente en la medición de perfiles de playa en sitios específicos, utilizando estación total o sistemas de geoposicionamiento global para obtener la variación de la playa emergida y sumergida. Más recientemente, el uso de vehículos aéreos no tripulados e imágenes de satélite ha permitido estudiar mayores extensiones con un menor costo.

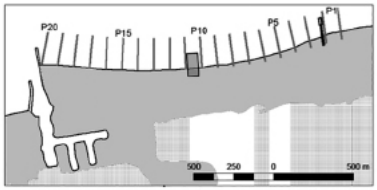
Asimismo, la biosfera marina es afectada por el cambio climático, la acidificación del océano y el calentamiento global, mismos que son agravados por las emisiones antropogénicas continuas de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, las cuales se evidencian a través de sus síntomas, como el aumento de huracanes intensos, las olas de calor, los incendios forestales [Schoolmeester et al., 2019] y los cambios en las comunidades biológicas marinas. De tal suerte que el estudio de estos aporta información valiosa para entender la trayectoria del cambio en el ecosistema marino global y regional.

Una de las comunidades biológicas marinas más importantes que ya están siendo abordadas para conocer la trayectoria de los océanos son las fitoplanctónicas. Esto en razón de su importancia como base de las redes tróficas, estar constituidas por organismos que expresan de manera rápida los cambios fisicoquímicos y ser vulnerables a las perturbaciones

Recuadro 5.4 Trayectoria de la playa de Sisal, Yucatán.

La playa de Sisal se encuentra localizada en una isla de barrera ubicada en la costa norte de la península de Yucatán. La zona de estudio se localiza al este del Puerto de Abrigo de Sisal. El oleaje predominante del noreste, asociado con brisas marinas, genera un transporte neto de sedimento de este a oeste. Esto ha ocasionado el incremento del ancho de playa en la zona de estudio. Con el fin de estudiar la trayectoria de la morfología de la playa se inició un monitoreo en mayo de 2015 que consistió en la medición de perfiles de playa en veinte transectos perpendiculares a la costa.

Zona de estudio en la playa de Sisal (Yucatán)

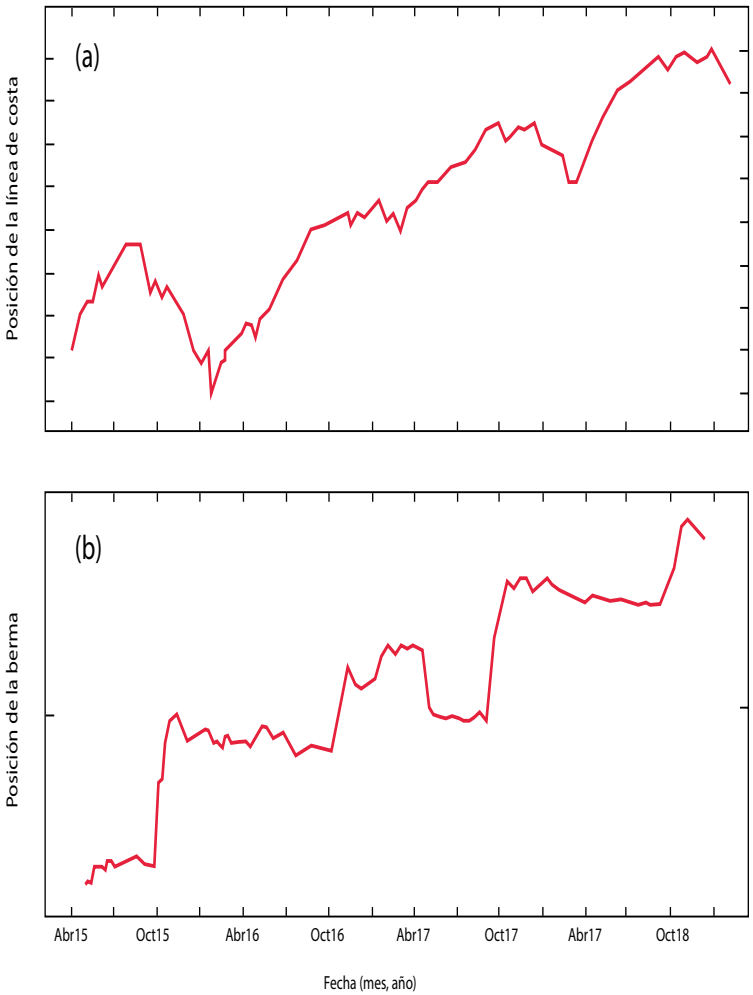


El monitoreo multianual a lo largo de dos kilómetros de playa realizado por Medellín y Torres [2018] se llevó a cabo en los veinte transectos señalados por líneas rojas. La imagen está orientada al Norte.

Los autores mencionados estudiaron las trayectorias de dos indicadores obtenidos a partir de las mediciones multianuales: i) posición de la línea de costa; y ii) de la berma. Las trayectorias se estudiaron analizando el primer modo temporal de las fuciones empíricas ortogonales. Las tendencias son positivas para ambos indicadores, sugiriendo un incremento de la playa. Sin embargo, las trayectorias de las variables muestran un equilibrio dinámico con diferencias claras entre ellas (ver figura siguiente). Por ejemplo, la trayectoria de la línea de costa muestra cierta ciclicidad superpuesta a una tendencia positiva, lo cual indica una trayectoria compleja (figura a). Por otro lado, la posición de la berma muestra un equilibrio dinámico metaestable, con una etapa de transición en octubre de cada año, permaneciendo relativamente estable entre transiciones (figura b) [Medellín y Torres, 2018]. Esos resultados sugieren un cambio de estado de la playa de Sisal que implica un incremento de la funcionalidad a lo largo del tiempo y, por tanto, un incremento de su resiliencia. Sin embargo,

la playa al oeste del Puerto de Abrigo ha estado sujeta a un proceso de erosión, por lo que la resiliencia de esta playa no es sustentable.

Trayectoria de la (a) línea de costa y (b) posición de la berma en la playa de Sisal a lo largo de los últimos 3.5 años. La línea de costa muestra una trayectoria compleja y la posición de la berma una trayectoria de equilibrio dinámico metaestable [Medellín y Torres, 2018].



del ecosistema [Guinder y Molinero, 2014]. Incluso, por considerarse una de las firmas más claras de los cambios en la base del ecosistema marino [Dutkiewicz et al., 2019].

Una de las formas en que se ha estudiado a estas comunidades es a través del monitoreo de su distribución y biomasa en la superficie del océano, usando estimaciones globales y derivadas de la clorofila a (Chl-a) a partir de la reflectancia de la detección remota (RRS, por sus siglas en inglés), el uso de algoritmos y métodos cuasianalíticos, lo que permite deducir cantidades relevantes desde el punto de vista ecológico. Sin embargo, recientemente Dutkiewicz et al. [2019] propusieron que sean los RRS en el espectro azul-verde (490-510 nm) los que se usen para la detección de señales más fuertes y tempranas impulsadas por el cambio climático. Argumentan que mediante el uso de RRS (475 y 500 nm) de dos décadas y modelos numéricos como el modelo biogeoquímico/ecosistema/óptico númerico (biogeochemical/ecosystem/optical numerical model) [Dutkiewicz et al., 2015] acoplado al IGSM (integrated global system model, por sus siglas en inglés) [Dutkiewicz et al., 2015, 2019; Monier et al., 2018], se logró obtener resultados que sugieren que la estructura de las comunidades de fitoplancton presentarán modificaciones impulsadas por el cambio climático en el transcurso del próximo siglo y que para el año 2100 el 50 % del océano presentará un color diferente. Incluso han pronosticado que para el 2040, el 21 % del océano mostrará una señal inequívoca de este cambio [Dutkiewicz et al., 2019]. Esto sugiere que las comunidades de fitoplancton presentarán, en su estructura y productividad primaria, modificaciones impulsadas por el cambio climático antropogénico en el transcurso del próximo siglo [Dutkiewicz et al., 2019]. Sin embargo, el modelo utilizado se considera incompleto, ya que hace falta incorporar información de procesos y componentes importantes que afectan la variabilidad fitoplanctónica.

Uno de los procesos que se sabe influyen en dicha variabilidad es la acidificación del océano y aunque a nivel de comunidad la información sobre cómo será afectada no es contundente [Guinder y Molinero, 2014], se sabe que algunos grupos pueden resultar impactados de manera negativa, mientras que otros lo serán positivamente [Kroeker et al., 2013; Seijo, Villanueva y Charles, 2016], y para algunas otras especies esto aún no es concluyente [Riebesell y Tortell, 2011; Seijo, Villanueva y Charles, 2016]. Por un lado, se considera que podrían verse afectados fuertemente los

cocolitofóridos (microorganismos calcáreos importantes para el ciclo del carbono) [Hernández, Esqueda y Torres, 2016] al presentar disminución en su calcificación [Berry et al., 2002; Rost et al., 2003; Delille et al., 2005] o reducir sus tallas [Borchard et al., 2011]; pero, por el otro, se ha evidenciado que podrían presentar un aumento en su calcificación y producción primaria neta. De acuerdo con Iglesias et al. [2008], esto concuerda con la evidencia de campo de registros geológicos de los últimos doscientos años y el correspondiente aumento del CO_2 por actividades antropogénicas [Guinder y Molinero, 2014].

En contraste, otros autores como Schippers et al. [2004] han predicho que con concentraciones elevadas de CO_2 en la atmosfera y condiciones de eutrofización, la productividad fitoplanctónica podría incrementarse hasta 40 % (con especies de baja afinidad por el bicarbonato) y que los florecimientos de fitoplancton podrían agravarse [Guinder y Molinero, 2014], propiciando condiciones favorables para la producción y biomasa de diatomeas y prymnesiofitas [Liu et al., 2017]; en especial, con el incremento de la temperatura los florecimientos de las especies tóxicas serán más comunes [Peperzak, 2005; Marcovecchio et al., 2014], lo que implicaría cambios complejos inducidos en la estequiometría del fitoplancton, la producción y la estructura de estas comunidades en aguas costeras eutrofizadas [Liu et al., 2017].

Dado que se espera que el clima en los ambientes costeros continúe modificándose, al igual que los asentamientos humanos cercanos a la costa [IPCC, 2007], lo cual representa consecuencias graves para estos ecosistemas de gran importancia biológica y económica [Liu et al., 2017], es que se requiere del monitoreo de estas comunidades, incrementando los sitios, midiendo en series de tiempo su diversidad y biomasa in situ a largo plazo [Bracher et al., 2017; Dutkiewicz et al., 2019], así como generar datos que puedan ser observados desde el espacio [Bracher et al., 2017], de modo que permitan entender y trazar la trayectoria del cambio del ecosistema marino ante eventos globales como los cambios del clima y las perturbaciones antropogénicas [Guinder y Molinero, 2014], e incluso poderla predecir, lo que nos permitiría gestionar servicios marinos [Bracher et al., 2017] para proteger la sostenibilidad del hábitat.

De la misma manera, se pueden medir aspectos socioeconómicos a una escala regional, nacional o internacional. En la economía, las trayectorias

más estudiadas se relacionan con el crecimiento económico y la pobreza. En particular, el producto interno bruto (PIB) ha sido una de las principales herramientas de medición de crecimiento en la política pública. El PIB es la suma de todos los bienes y servicios finales que produce un país o una economía, elaborados dentro del territorio nacional tanto por empresas nacionales como extranjeras, y que se registran en un periodo determinado (generalmente un año, aunque pueden ser trimestrales y por sector). Un crecimiento del 3 % del PIB para el siguiente año significa que habrá más inversión, por ejemplo, para la construcción o la infraestructura y que se producirán más bienes y servicios. Para la teoría económica esto significa que habrá más empleo y más oportunidades para hacer negocios y, por tanto, es una medida de crecimiento económico. La trayectoria del PIB se mide en términos porcentuales con respecto a un año anterior (o periodo similar) y no incluye los costos del deterioro ambiental, por lo que el Inegi ha creado las cuentas ambientales para medir los costos de ese deterioro. En los últimos diez años, los costos totales por agotamiento y degradación se han incrementado en términos absolutos en 50.9 %, mientras que el PIB aumentó 102.2 %. Es decir, el crecimiento económico ocurre a expensas del deterioro ambiental. A este respecto existen varias corrientes de pensamiento que describen cómo crecer con menor deterioro. La primera que se plantea es generar una economía desacoplada, es decir, hacer que el PIB tenga menores costos de degradación, que la producción de bienes y servicios sea más eficiente en el uso de los recursos naturales. Otra propuesta es una economía verde que apunta a mejorar el bienestar del ser humano y la equidad social y reducir los riesgos ambientales y las escaseces ecológicas. A diferencia de la anterior, se basa principalmente en tener bajas emisiones de carbono, utilizar los recursos de forma eficiente y ser socialmente incluyente. Otra propuesta más radical es el decrecimiento que no es crecimiento negativo, sino, según señala Latouche [2003], es el "reflejo de una sociedad construida sobre calidad en vez de cantidad, sobre cooperación en vez de competencia". La economía debe decrecer físicamente (reducir) en términos de toneladas de flujos de materiales, rendimiento energético, apropiación humana de la producción primaria neta de biomasa (HANPP, por sus siglas en inglés), uso de agua, emisiones de gases de efecto invernadero. En este sentido, se han desarrollado diversas propuestas metodológicas para integrar no sólo los costos ambientales, sino también diversos

factores de bienestar humano como, por ejemplo, el índice de bienestar económico sustentable (ISEW, por sus siglas en inglés) [O'Mahonya, Escardó y Dufoura, 2018].

Una forma de aproximarse al concepto de resiliencia desde un enfoque económico podría ser a través del concepto de "histéresis", que se emplea en la disciplina económica para explicar cómo las economías reaccionan a las recesiones económicas; pues una recesión puede considerarse como un impacto sistémico que interrumpe o afecta el crecimiento económico [Martin, 2012].

Si se parte de la definición del concepto de "ingeniería de la resiliencia" propuesto originalmente por Holling [1996], tenemos que este alude a la resistencia de un sistema para mantenerse en un equilibrio a pesar de los choques exógenos y la velocidad de recuperación del equilibrio del sistema en un escenario posterior al choque exógeno. Esta noción de equilibrio en la cual permanece o regresa dicho sistema tiene un fuerte paralelismo con las fuerzas estabilizadoras de la economía, como los componentes de la demanda agregada, pues se asume que estos componentes pueden ajustar a la economía ante cualquier desajuste que la desplace fuera de su estado de "equilibrio" o su senda de crecimiento de largo plazo [Martin, 2012]. Si bien la idea de equilibrio es parte de la corriente clásica en la que se asume que el mercado es un estabilizador de la economía y se sabe que la economía keynesiana, poskeynesiana y neoinstitucional han aportado elementos importantes a esta discusión, la histéresis se utiliza como un elemento conceptual interesante. En este sentido, la tasa de crecimiento de la economía puede reflejar parte del equilibrio parcial de esta, dado que el crecimiento es el indicador más utilizado por los hacedores de políticas para conocer la situación económica de un país o una región y, por tanto, esta variable permitirá aproximarse a una versión "simplificada" del equilibrio que puede atribuirse al concepto de resiliencia [Pendall, Foster y Cowell, 2010].

Sobre los factores o estabilizadores de la economía que pueden contribuir a la recuperación del crecimiento de largo plazo tras una crisis, Huerta [2010] señala que son tres los grandes sectores que pueden promover dinamismo a una economía: el sector privado, el cual se sustenta en las expectativas de inversión de las empresas; el sector público, con la participación del gasto erogado por el Estado; y el externo, que responde a las dinámicas de

la economía internacional. Si las expectativas de inversión se reducen por parte del sector privado (lo cual implica una contracción del crecimiento y pérdida de empleos), el sector público puede impulsar el gasto para incrementar la demanda agregada, con la finalidad de estimular el consumo y generar así un panorama económico que aliente las expectativas de inversión; o, por otro lado, si la crisis solo afecta al país en cuestión mientras el resto del mundo registra un mayor dinamismo, el sector externo puede convertirse en un recurso que permita la recuperación del crecimiento a través de las exportaciones.

Sin embargo, en ocasiones, los choques que afectan a un sistema pueden provocar que este no consiga recuperarse y se desplace hacia un punto de equilibrio inferior. Esta característica evolutiva del concepto de resiliencia se puede relacionar con el concepto de "histéresis" empleado en los estudios económicos [Martin, 2012].

Si tenemos en cuenta que en economía no existe estrictamente un solo equilibrio, sino que están presentes múltiples equilibrios o patrones regulares, y la economía se desplaza de un equilibrio o patrón hacia otro como resultado de un choque, en la teoría económica este fenómeno se explica a partir del concepto de "histéresis". Romer [1996 : 447] define este concepto como una situación en la cual las disrupciones afectan de forma permanente el rumbo que sigue la economía; si este impacto es muy severo, puede provocar que los agentes económicos muestren cambios, transformaciones en la composición sectorial de la economía o en la economía en su conjunto, encaminándola así en una nueva trayectoria. Por ejemplo, si una crisis es muy profunda puede deteriorar considerablemente las capacidades productivas de una nación, provocando que la economía no consiga recuperar su nivel de crecimiento previo y, por consiguiente, se mantenga con bajas tasas de crecimiento; o en caso contrario, una crisis puede causar la eliminación de las empresas menos eficientes y que las más competitivas e innovadoras lideren la recuperación económica, permitiendo que la economía crezca a tasas superiores a las observadas en los momentos previos a la crisis; comportamiento que es analizado por Schumpeter [1942] bajo la noción de destrucción creativa.

La mayor parte de estos enfoques se ha centrado en análisis de series de datos temporales por medio del cálculo de índices de variación y de tasas de cambio para visualizar el dinamismo del producto interno bruto de una

economía tras una crisis, las cuales fungen como los estresores que sacan de su senda de crecimiento de largo plazo a una economía [Martin, 2012].

Adicionalmente, algunos trabajos han empleado técnicas econométricas de series de tiempo para medir la resiliencia de una economía tras una crisis. Tal es el caso del trabajo de Fingleton, Garretsen y Martin [2012], en el cual emplean un conjunto de variables dummy para identificar los periodos de las crisis económicas, y por medio de la metodología del modelo de corrección de error se prueban formalmente los cambios y quiebres en el patrón de largo plazo tras una recesión. Esto debido a que esa metodología descompone la información de las series de tiempo respecto de sus componentes del corto y largo plazos, pues el modelo consiste en llevar a cabo una estimación de una ecuación en diferencias, la cual solo captura el comportamiento cíclico de las series, al que se le incorpora el vector de cointegración o la relación de largo plazo entre las variables, como un regresor en dicho modelo. De tal forma que ese coeficiente estimado refleja la velocidad de ajuste del corto hacia el largo plazo [Enders, 2008].

De manera paralela, en las discusiones sobre desarrollo, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) creó el índice de desarrollo humano (IDH), con el fin de determinar el nivel de desarrollo que tienen los países del mundo, no solo en términos de ingreso o PIB, sino en función de otros parámetros que generan bienestar. Incluye, por ejemplo, indicadores como la esperanza de vida al nacer, la educación y el PIB per cápita. La trayectoria del IDH también es referida a cambios porcentuales o tasas de cambio.

Por otro lado, la pobreza es una medida de desarrollo económico debido a que analiza las condiciones socioeconómicas de la población y con ello se puede observar si existen rezagos importantes. La medición de la pobreza en un inicio se basaba únicamente en el ingreso de la población, pero ahora es una medición multidimensional. En este sentido, hoy en México se mide la pobreza con indicadores de: bienestar económico (ingreso), derechos sociales referentes a rezago educativo, acceso a servicios de salud, acceso a seguridad social, acceso a la alimentación, calidad y espacios de la vivienda, acceso a servicios básicos de la vivienda (tabla 5.1). En México, el 43.6 % de la población es pobre y el 7.6 % está en pobreza extrema. El Coneval ha hecho mediciones de pobreza para los años 2009, 2011, 2013, 2015, 2016 y 2017 a nivel nacional y por entidad federativa.

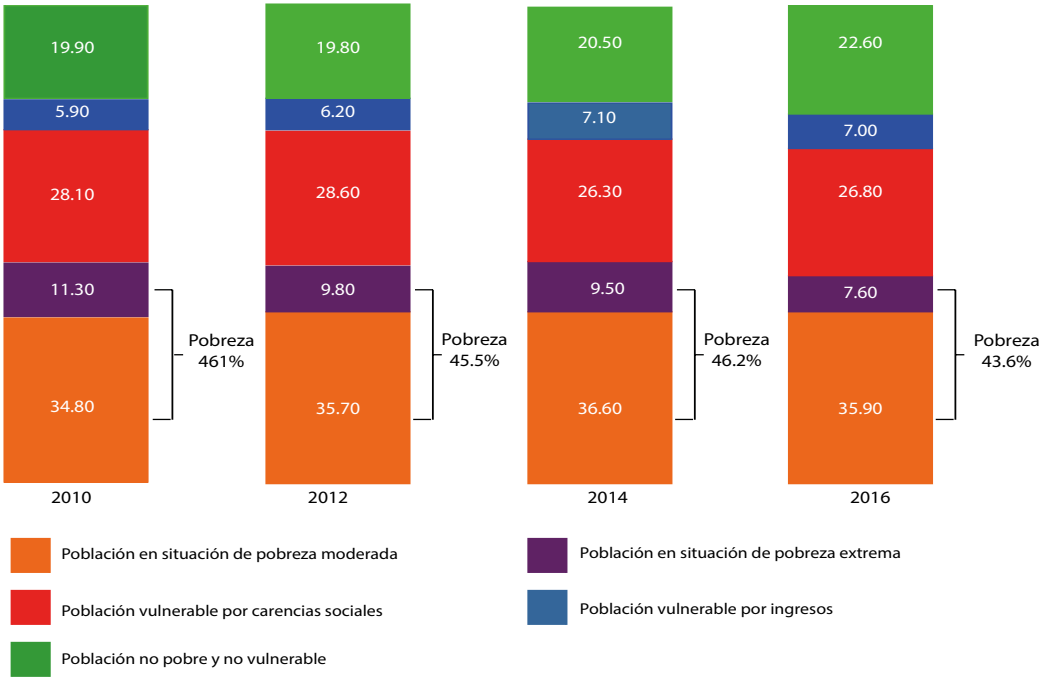
Tabla 5.1 Definiciones de pobreza del Coneval, 2019.

Pobreza	Una persona se encuentra en situación de pobreza cuando tiene al menos una carencia social (en los seis indicadores de rezago educativo, acceso a servicios de salud, acceso a la seguridad social, calidad y espacios de la vivienda, servicios básicos en la vivienda y acceso a la alimentación) y su ingreso es insuficiente para adquirir los bienes y servicios que requiere para satisfacer sus necesidades alimentarias y no alimentarias.
Pobreza extrema	Una persona se encuentra en situación de pobreza extrema cuando tiene tres o más carencias, de seis posibles, dentro del índice de privación social y, además, se encuentra por debajo de la línea de bienestar mínimo. Las personas en esta situación disponen de un ingreso tan bajo que aun si lo dedicasen por completo a la adquisición de alimentos, no podrían adquirir los nutrientes necesarios para tener una vida sana.
Pobreza moderada	Es aquella persona que siendo pobre, no es pobre extrema. La incidencia de pobreza moderada se obtiene al calcular la diferencia entre la incidencia de la población en pobreza menos la de la población en pobreza extrema.
Pobreza por ingresos	La pobreza por ingresos consiste en comparar los ingresos de las personas con los valores monetarios referentes a diferentes aspectos: alimentación, capacidades y patrimonio. Pobreza alimentaria: incapacidad para obtener una canasta básica alimentaria, aun si se hiciera uso de todo el ingreso disponible del hogar para comprar solo los bienes de dicha canasta. Pobreza de capacidades: insuficiencia del ingreso disponible para adquirir el valor de la canasta alimentaria y efectuar los gastos necesarios en salud y educación, aun dedicando el ingreso total del hogar nada más que para estos fines. Pobreza de patrimonio: insuficiencia del ingreso disponible para adquirir la canasta alimentaria, así como realizar los gastos necesarios en salud, vestido, vivienda, transporte y educación, aunque la totalidad del ingreso del hogar fuera utilizado exclusivamente para la adquisición de estos bienes y servicios.
Vulnerables por carencias sociales	Aquella población que presenta una o más carencias sociales, pero cuyo ingreso es superior a la línea de bienestar.
Vulnerables por ingresos	Aquella población que no presenta carencias sociales, pero cuyo ingreso es inferior o igual a la línea de bienestar.

Fuente: <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Glosario.aspx>.

De la misma manera que el PIB, la trayectoria se mide en función de cambios porcentuales o tasas de cambio anuales o trimestrales. Sin embargo, existen muchos modelos para explicar la pobreza y su evolución, así como las condiciones de desigualdad en la sociedad. Una muestra de esto son los modelos econométricos de corrección de error vectoriales (VECM, por sus

Figura 5.2 Porcentaje de la población en pobreza 2010-2016.



Fuente: Coneval.

siglas en inglés), los cuales consisten en estimar las elasticidades de corto y largo plazos entre las variables con la finalidad de analizar el dinamismo de la pobreza; tal es el caso de los trabajos de Agusalim [2017]; Nansadiqa et al. [2019] que por medio de dicha metodología analizan cómo diversos factores, por ejemplo la apertura comercial o el nivel de empleo de una economía, pueden afectar la pobreza en el corto y largo plazos.

Por otro lado, la marginación es un fenómeno multidimensional que considera la exclusión de la población del proceso de desarrollo y del disfrute de sus beneficios. El cálculo del índice de marginación (IM) involucra la construcción de indicadores de carencias o déficit en educación, vivienda e ingresos monetarios en la distribución de la población. El esquema siguiente muestra las formas de exclusión y sus indicadores en el cálculo del IM [De la Vega, Romo y González, 2011].

Los indicadores se calculan principalmente con información de los Censos y Conteos de Población y Vivienda del Inegi y, recientemente, con

Figura 5.3 Indicadores para medir el índice de marginación por entidad federativa y municipio, 2010.

Fuente: Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010, Conapo, 2011: 14.

los resultados de la Encuesta Intercensal 2015 también realizada por el mismo Instituto.

Aspectos importantes para la trayectoria de socioecosistemas y su resiliencia en zonas costeras de México

Los estudios de las trayectorias de socioecosistemas como los presentados en los apartados anteriores muestran una diversidad de escalas espaciotemporales. Por un lado, los escenarios de los efectos climáticos en el fitoplancton pueden estimarse para cientos de años y, por otro lado, el crecimiento económico puede calcularse para algunas décadas, pero usualmente son escenarios más cortos. En cuanto a las escalas espaciales, las trayectorias pueden medirse para ámbitos locales, regionales o globales. En la mayoría de los elementos presentados se ha hecho un esfuerzo por identificar umbrales o parámetros mínimos de las variables más importantes,

lo cual es un avance significativo debido a que pueden ser elementos que determinen la trayectoria y resiliencia de un sistema acoplado. En el caso del fitoplancton es muy importante medir la abundancia y densidad de organismos fitoplanctónicos, la clorofila a, la ficoeritrina, la temperatura, el oxígeno disuelto y el pH más potencial redox, así como el nitrógeno y el fósforo para poder trazar los umbrales y la trayectoria de dicha comunidad biológica. No obstante, por lo general es muy difícil identificar los patrones de transformación, si son cíclicos o no, debido a que se requieren muchos datos y líneas de tiempo. En el ejemplo de la trayectoria de playas, sí se observa la descripción de la trayectoria, sin embargo, la obtención de los datos puede ser muy costosa. Dependiendo del tamaño del socioecosistema, quizá sea poco viable el uso de mediciones in situ como perfiles de playa debido al esfuerzo y costo que ello conlleva. En este contexto, el uso de sistemas de percepción remota es una herramienta que permitiría conciliar el estudio de trayectorias para socioecosistemas de la costa de una menor resolución espacial. Asimismo, incorporar el contexto de cada uno de los sistemas en la medición es un reto; por ejemplo, en el caso del fitoplancton, saber cuál es el estresor o actividad específica que provoca el crecimiento algal no siempre es fácil. Es decir, mientras más complejidad se quiere añadir al sistema, más difícil es modelar su trayectoria. Incluso en el caso de las variables socioeconómicas y de gobernanza, no siempre es posible tomar en consideración todos los factores que la afectan, pero sí se puede priorizar a los más importantes. En este sentido, la delimitación de los socioecosistemas cobra mucha relevancia para distinguir los factores internos y externos que generan cambio en ellos.

Con respecto a la literatura sobre la trayectoria de socioecosistemas, se muestra una diversidad de temas, enfoques teóricos y métodos. Por lo general, se estudia la trayectoria asociada con una parte del sistema. Las escalas espaciotemporales varían dependiendo de la pregunta de investigación y del sistema, y los métodos son tanto cualitativos como cuantitativos. Los marcos de estudio utilizan descripciones históricas, y otros aplican el ciclo adaptativo, o bien de modelaje de sistemas. Algunos aspectos importantes para analizar la trayectoria de socioecosistemas son conceptualizar y operacionalizar el socioecosistema en términos de sus variables y procesos más importantes, de su delimitación espaciotemporal y de los principales estresores que lo afectan. Posteriormente, es muy trascendente identificar

las variables que determinan la transformación del sistema en su totalidad, pensando en términos sistémicos y no en función de sus partes. Sin embargo, en el caso de los sistemas costeros, la trayectoria de la calidad del agua y del crecimiento del fitoplancton son variables que se vinculan con las actividades productivas, por lo que constituye una variable clave para el sistema y su transformación. En algunos casos, tiene entonces sentido acoplar modelos específicos para determinar los parámetros o ecuaciones que puedan tener relación con otros componentes del sistema. Incluso es posible incorporar medidas de percepción, de efectos en la sociedad para que sea más fácil vincularlos con aspectos sociales. De la misma manera, las variables asociadas con el bienestar social son indispensables en el estudio de los socioecosistemas, y la transformación de la línea de costa es sin duda reflejo de los estresores antropogénicos y naturales.

En este sentido, y a partir del análisis de los estudios de trayectorias en zonas costeras de México descritos anteriormente, se subrayan los siguientes aspectos:

- Es difícil saber si el socioecosistema sigue un ciclo adaptativo debido a la temporalidad de los estudios, pero también a la dificultad de medirlo. Por otro lado, así como en la ingeniería costera, en los socioecosistemas puede haber una diversidad de patrones en su trayectoria y cabe la posibilidad de que tengan un comportamiento no cíclico.
- El estudio de las transiciones y los umbrales son de gran ayuda para ubicar la trayectoria del socioecosistema en un contexto histórico y espacial. Por lo general, el conocer las trayectorias pasadas nos ayuda a establecer escenarios futuros.
- Es deseable que se integren de manera más estrecha las variables ambientales y sociales, y se estudie la trayectoria del sistema en su totalidad, aun cuando sea enfocado a un choque o estresor específico. Además, pocos estudios de trayectorias hacen visibles las repercusiones espaciales de dicha evolución, es decir, el sistema puede comportarse de una manera, pero su representación espacial quizá sea muy variada.

Para el estudio de la trayectoria de las interacciones marinocosteras en México es importante nutrirse de la diversidad de métodos que existen, por ejemplo descripciones históricas, modelos y análisis de redes, así

como las metodologías cuantitativas y cualitativas, como lo plantean Pitman y Armitage [2019]. Además, en países como el nuestro donde un estado deseable es muy diferente para cada actor, resulta difícil construir una trayectoria hacia la gobernanza adaptativa, o hacia la sustentabilidad, por lo que es indispensable la participación de diversos actores y percepciones en la construcción de la resiliencia. Del mismo modo, hay que abrirse a diversos caminos y patrones de cambio, pues es posible que el sistema esté en una etapa de reorganización constante con algunas ventanas de oportunidad o eventos que hacen posible una transformación. En este contexto, el desarrollo de observatorios interdisciplinarios costeros es una herramienta fundamental para el estudio de las trayectorias de los socioecosistemas a largo plazo.

Referencias

Agusalim, L. [2017], "The dynamic impact of trade openness on poverty: an empirical study of Indonesia's economy", International Journal of Economics and Financial Issues, vol. 7, núm. 1, pp. 566-574.

Antoni, C., et al. [2019], "Socio-ecological dynamics of a tropical agricultural region: Historical analysis of system change and opportunities", Land Use Policy, núm. 81, octubre 2018, pp. 346-359, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.10.028>.

Arroyo Sáenz, A., et al. [2006], "The value of evidence about past abundance: marine fauna of the Gulf of California through the eyes of 16th to 19th century travelers", Fish and Fisheries, núm. 7, pp. 128-146.

Ávila Foucat, V. S., et al. [2013], "The impact of vessels crowding on the probability of tourists returning to whale watching in Banderas Bay, Mexico", Ocean and Coastal Management, núm. 78, pp. 12-17.

Bagchi, D. K., et al. [1998], "Conceptual and methodological challenges in the study of livelihood trajectories: case-studies in eastern India and western Nepal", Journal of International Development, núm. 10, pp. 453-468.

Berry, I., et al. [2002], "Calcification and inorganic carbon acquisition in coccolithophores", Functional Plant Biology, núm. 29, pp. 289-299.

Bobadilla Jiménez, Mariana, et al. [2011], "Evolution of environmental policy instruments implemented for the protection of totoaba and the vaquita porpoise in the Upper Gulf of California", Journal of Environmental Science and Policy, núm. 14, pp. 998-1 007.

Bodin O y B. Crona [2009], "The role of social networks in natural resource governance: what relational patterns make a difference?", Global Environmental Change, vol. 19, núm. 3, agosto, pp. 366-374.

Borchard, C., et al. [2011], "Biogeochemical response of Emiliania huxleyi (PML B92/11) to elevated CO_2 and temperature under phosphorous limitation: a chemostat study", Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, núm. 410, pp. 61-71.

Bracher, A., et al. [2017], "Obtaining phytoplankton diversity from ocean color: a scientific roadmap for future development", Frontiers Marine Science, núm. 4, p. 55.

Chaffin, Brian C., y M. W. Scown, [2017], "Social-ecological resilience and geomorphic systems", Geomorphology, vol. 305, núm. 15, marzo, pp. 221-230.

Crona, B. y K. Hubacek [2010], "The rights connections: how do social networks lubricate the machinery of natural resource governance?", Ecology and Society, vol. 15, núm. 4, p. 18.

De la Vega, S., R. Romo y A. González [2011], Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010, 1ª edición, Conapo, México.

Delille, B., et al. [2005], "Response of primary production and calcification to changes of pCO_2 during experimental blooms of the coccolithophorid Emiliania huxleyi, Global biogeochem", Cycles, núm. 19, p. GB2023, <doi: 10.1029/2004gb002318>.

Deschamps Lomelí, J. [2018], Consumo del servicio de provisión de leña y su relación con los cambios de uso de suelo y vegetación en dos localidades rurales de la costa de Oaxaca, México, Tesis de maestría en Ciencias de la Sostenibilidad, unam, 180 pp.

Dutkiewicz, S., et al. [2015], "Capturing optically important constituents and properties in a marine biogeochemical and ecosystem model", Biogeosciences, núm. 12, pp. 4 447-4 481.

——— et al. [2019], "Ocean colour signature of climate change", Nature Communications, núm. 10, p. 578.

Ellis, F. [2000], Rural livelihoods and diversity in developing countries, Nueva York, Oxford, 279 pp.

Elsler L., et al. [2019], "Local, global, multi-level: Market structure and multi-species fishery dynamics", Ecological Economics, núm. 156, pp. 185-195.

Enders, W. [2008], Applied econometric time series, John Wiley & Sons.

Fingleton, B., H. Garretsen y R. Martin [2012], Recessionary shocks and regional employment: evidence on the resilience of U.K. regions", Journal of Regional Science, vol. 52, núm. 1, pp. 109-133, <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2011.00755.x>.

Folke, C. [2016], "Resilience (Republished)", Ecology and Society, vol. 21, núm. 4, p. 44, <https://doi.org/10.5751/ES-09088-210444>.

Gingrich, S. y F. Krausmann [2018], "At the core of the socio-ecological transition: Agroecosystem energy fluxes in Austria 1830-2010", Science of the Total Environment, núm. 645, pp. 119-129.

González Quintero, C. y V. S. Ávila Foucat [2019], "Operationalization and measurement of social-ecological resilience", Sustainability, vol. 11, núm. 6073, pp. 1-18, <http://dx.doi.org/10.3390/su11216073>.

Guinder, V. A. y J. C. Molinero [2014], "Climate change effects on marine phytoplankton", en A. H. Arias y M. C. Menéndez (eds.), Marine ecology in a changing world, Boca Raton, Londres, Nueva York, CRC Press, pp. 68-90.

Hernandéz Becerril, D. U., K. Esqueda Lara y R. Torres Martínez [2016], Cocolitofóridos del Pacífico y del Golfo de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste A. C., Miguel Ángel Porrúa, 97 pp.

Hervé Piégay, Antoine Chabot e Yves François Le Lay [2018], “Some comments about resilience: from cyclicity to trajectory, a shift in living and nonliving system theory”, Geomorphology, ISSN 0169 555X, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.09.018>.

Holling, C. S. [1996], "Surprise for science, resilience for ecosystems, and incentives for people", Ecological Applications, vol. 6, núm. 3, pp. 733-735.

Huerta, A. [2010], La crisis en Estados Unidos y México: la dificultad de su salida, México Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía y Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial.

Iglesias Rodríguez, M. D., et al. [2008], “Phytoplankton calcification in a high-CO_2 world”, Science, núm. 320, pp. 336-340.

ipcc [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, Cambridge, Cambridge University Press.

Kroeker, K. J., et al. [2013], “Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming”, Global Change Biology, núm. 19, pp. 1 884-1 896.

Latouche, S. [2003], “Por una sociedad en decrecimiento”, Le Monde Diplomatique, núm. 97.

Liu, X., et al. [2017], “Effects of elevated CO_2 on phytoplankton during a mesocosm experiment in the southern eutrophicated coastal water of China”, Nature, núm. 7, p. 6868, <doi: 10.1038/s41598-017-07195-8>.

Marcovecchio, J. E., et al. [2014], “Potential effects of climate change on the marine ecosystem stability: assessment of the water quality”, pp. 1-42, en A. H. Arias y M. C. Menéndez (eds.), Marine ecology in a changing world, Boca Raton, Londres, Nueva York, crc Press, 270 pp.

Martin, R. [2012], “Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks”, Journal of Economic Geography, vol. 12, núm. 1, pp. 1-32.

Mat, N., et al. [2016], “Socio-ecological transitions toward low-carbon port cities: trends, changes and adaptation processes in Asia and Europe”, Journal of Cleaner Production, vol. 114, núm. 2016, pp. 362e-375.

Medellín, G., y A. Torres Freyemouth [2018], “Seasonal beach variablity on a sea-breeze dominated beach”, Coastal Engineering Proceedings, núm. 36, p. 2.

Merinero Rodríguez, R. y O. Ledesma González [2019], “Analizando la gobernanza urbana mediante la aplicación del análisis de redes sociales (ars): el caso del segundo plan estratégico de Málaga”, Boletín de la Asociación de Geografía Española, vol. 80, núm. 2593, pp. 1-38.

Monier, E., et al. [2018], “Toward a consistent modeling framework to assess multi-sectoral climate impacts”, Nature Communications, núm. 9, p. 660, <doi: 10.1038/s-41467-018-02984-9>.

Nansadiqa, L., R. Masbar y M. S. A. Majid [2019], "Does economic growth matter for poverty reduction in Indonesia?", East African Scholars Journal of Economics, Business and Management, vol. 2, núm. 2, pp. 46-52.

Olsson P., et al. [2006], "Shooting the rapids: navigating transitions to adaptive governance of social-ecological systems", Ecology and Society, vol. 11, núm. 1, p. 18.

O'Mahonya T., P. Escardó Serraa y J. Dufoura [2018], "Revisiting isew valuation approaches: the case of Spain including the costs of energy depletion and of climate change", Ecological Economics, núm. 144, pp. 292-303.

Pendall, R., K. A. Foster y M. Cowell [2010], "Resilience and regions: building understanding of the metaphor", Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, vol. 3, núm. 1, pp. 71-84, <https://doi.org/10.1093/cjres/rsp028>.

Peperzak, L. [2005], "Future increase in harmful algal blooms in the North Sea due to climate change", Water Science Technology, núm. 51, pp. 31-36.

Pitman J., y D. Armitage [2019], "Network governance of land-sea social-ecological systems in the Lesser Antilles", Ecological Economics, núm. 156, pp. 61-70.

Riebesell, I. U., y P. D. Tortell [2011], "Effects of ocean acidification on pelagic organisms and ecosystems", en J. P. Gattuso y L. Hansson (eds.), Ocean acidification, Oxford, Oxford University Press, pp. 99-116.

Romer, D. [1996], "Advanced macroeconomic theory" (McGraw-Hill, Ed.) Estados Unidos.

Rost, B., et al. [2003], "Carbon acquisition of bloom forming marine phytoplankton", Limnology and Oceanography, núm. 48, pp. 55-67.

Sáenz Arroyo A., et al. [2006], "The value of evidence about past abundance: marine fauna of the Gulf of California through the eyes of 16th to 19th century travelers", Fish and Fisheries, vol. 7, núm. 2, pp. 128-146.

Sallu, S. M., C. Twyman y L. C. Stringer [2010], "Resilient or vulnerable livelihoods? Assessing livelihood dynamics and trajectories in rural Botswana", Ecology and Society (a journal of integrative science for resilience and sustainability), vol. 15, núm. 4, <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art3/. ISSN 1708-3087>.

Schoolmeester, T., et al. [2019], Global Linkages - A graphic look at the changing Arctic, Nairobi and Arendal, un Environment and grid-Arendal, <www.grida.no>.

Seijo, J. C., R. Villanueva Poot y A. Charles [2016], "Bioeconomics of ocean acidification effects on fisheries targeting calcifier species: a decision theory approach", Fisheries Research, núm. 176, pp. 1-14.

Schippers, P., M. Lürling y M. Scheffer, [2004], "Increase of atmospheric CO_2 promotes phytoplankton productivity", Ecology Letters núm. 7, pp. 446-451.

Schumpeter, J. [1942], "Creative destruction", Capitalism, Socialism and Democracy, núm. 825, pp. 82-85.

Stone, M. T. [2015], "Community-based ecotourism: a collaborative partnerships perpective", Journal of Ecoturism, vol. 14, núms. 2-3, pp. 166-184, <doi: http://dx.doi.org/10.1080/14724049.2015.1023309>.

The International Ecotourism Society [2017], The International Ecotourism Society, recuperado el 12 de mayo de 2017 de <http://www.ecotourism.org/ties-ecotourism-espa%C3%B1ol>.

Walker, B., y D. Salt [2012], Resiliencie practice. Building capacity to absorb disturbance and maintin function, Estados Unidos, Island Press, 225 pp.

CONCLUSIONES

V. Sophie Ávila Foucat, Ileana Espejel,
Alec Torres Freyermuth y Paulo Salles

La zona costera es un espacio donde confluyen múltiples fenómenos, por lo que es compleja por naturaleza. Por ello, la solución de la problemática costera no puede abordarse desde perspectivas unidisciplinarias, sectoriales y unidireccionales. El binomio que acopla la sociedad con la naturaleza, en unidades espaciales denominadas socioecosistemas, solo puede explicarse como un conjunto de procesos no lineales, estrechamente vinculados entre sí y con su entorno, que confluyen en espacios anidados versátiles y desiguales en el tiempo.

La franja costera, entendida como un conjunto de socioecosistemas, tienen una capacidad propia de autoorganizarse, adaptarse y aprender en respuesta a las perturbaciones internas y externas en un entorno dinámico de cambio e incertidumbre. En principio, los socioecosistemas de las zonas costeras podrán desarrollar la capacidad para persistir, mantener sus funciones, absorber anomalías constantes y aun proveer servicios ecosistémicos a diversas escalas espaciales y temporales. En estos sistemas se han desarrollado en México diversas investigaciones uni, inter y transdisciplinarias, de las cuales solo se presentan algunos ejemplos que permiten identificar los retos y oportunidades respecto del tema de la resiliencia en el ámbito académico y de políticas públicas en el país. La identificación de umbrales y trayectorias de los sistemas permite documentar procesos y con ello establecer especificaciones para el manejo adaptativo y políticas

con objetivos mejor diseñados. Se identifican claramente los componentes que hacen posible evaluar la resiliencia costera: estresores, umbrales, interacciones entre escalas y trayectorias. El libro cuenta con gran diversidad de estudios de caso que si bien no son exhaustivos revelan esfuerzos importantes en cada una de las temáticas.

Los socioecosistemas costeros se han abordado en México desde diversos marcos teóricos y metodológicos. Dicha diversidad es muestra de una gran riqueza de aproximaciones ontológicas y epistemológicas. Sin embargo, esto hace difícil la comparación de estudios de caso y tener una perspectiva de los procesos a escala nacional, lo cual a su vez hace complejo su aprovechamiento y utilidad para los tomadores de decisiones y para el diseño de políticas públicas. Uno de los grandes retos es poder identificar patrones, sin perder la heterogeneidad y especificidad de cada SES, que permitan comprender la resiliencia a nivel regional para implementar mejores políticas públicas y estrategias de manejo adaptativo.

Existen varios trabajos enfocados en la caracterización de diferentes tipos de estresores de origen biofísico o socioeconómico. Sin embargo, la mayoría de los estudios existentes es resultado de investigaciones aisladas que estudian el efecto del estresor y las variables que indican cambios y tolerancias. Hay estudios de estresores que afectan a comunidades sociales y bióticas, e investigaciones que identifican el impacto de un estresor en una sola variable de una población o de un grupo de variables u organismos. Muchos de estos trabajos no se llevaron a cabo bajo el pensamiento resiliente (resilent thinking), pero aportan insumos para analizarlos desde esa óptica. La investigación sobre estresores en sistemas costeros es una oportunidad para proporcionar insumos a la toma de decisiones sobre cuestiones de planeación urbana, vertimiento de contaminantes, aprovechamiento racional de recursos, entre otras. Es fundamental que la identificación de los estresores claves considere el socioecosistema en su conjunto y las interacciones entre sus componentes.

Los umbrales, es decir, las tolerancias máximas de un socioecosistema para mantenerse como tal o para transformarse o desaparecer, ofrecen ejemplos relacionados con la capacidad de carga. Estos son útiles para diseñar normas o planes de desarrollo urbano costero específicos. Sin embargo, existen menos esfuerzos dirigidos a identificar umbrales que permitan determinar la trayectoria de todo el sistema, para lo que la investigación

transdisciplinaria es fundamental; con ella tanto la identificación de los problemas y el desarrollo de los proyectos como el diseño de recomendaciones y propuestas de solución no se limitan sólo a la academia, sino que hace partícipes a los actores (stakeholders) durante todo el proceso. El conocimiento actual de los umbrales que generan cambios en un socioecosistema permite que el diseño de las políticas públicas deje de ser desde la planeación estratégica, y sea más bien desde un enfoque de resiliencia y manejo adaptativo, donde mientras las políticas se aplican, a la vez se van mejorando, en tanto sean apoyadas por investigación aplicada y particularizada a las regiones costeras y socioecosistemas propios de esas regiones.

Otro de los grandes retos para caracterizar la dinámica de los socioecosistemas costeros es el análisis de las interacciones a multiescalas y multiniveles. Los ejemplos que se presentan dejan clara la complejidad de los socioecosistemas costeros. Cualquier política pública que se aplique a la zona costera, necesariamente debe incorporar el acople de los sistemas naturales y sociales, pero también la complejidad entre las diferentes escalas y niveles de gobierno. Las escalas temporales de los estresores, las interacciones y respuestas del socioecosistema frecuentemente son dispares, lo cual representa un gran reto. Asimismo, la investigación y las políticas públicas deben considerar para su acoplamiento e interpretación la relación de los procesos ecosistémicos a diferentes escalas espaciotemporales.

Para evaluar la resiliencia de un socioecosistema es fundamental conocer sus trayectorias, las cuales dependen de las características de los estresores y shocks, los umbrales, las interacciones y las escalas. Una política pública puede desencadenar que estos se mantengan funcionales de manera estable, se transformen o desaparezcan. Los ejemplos de trayectorias que se presentan son para el Pacífico, así como el sur y sureste de México desde un enfoque unidisciplinario. Aquí se vislumbran varios retos y oportunidades, pero sobre todo se observa la diversidad de trayectorias que puede tener un socioecosistema y las dificultades científicas para su estudio.

Para llevar a cabo el estudio de la resiliencia de socioecosistemas costeros en México de manera transdisciplinaria y sistemática, es urgente identificar las variables clave que permiten caracterizar las trayectorias. Por consiguiente, es necesario contar con observatorios, modalidades de monitoreo y grupos de investigación centrados en el estudio de la resiliencia en

un marco de trabajo común. En cuanto se tengan identificadas las variables socioambientales más relevantes para describir la resiliencia y podamos medirlas de manera sistemática y con la calidad suficiente a largo plazo, antes, durante y después de las perturbaciones, estaremos en posibilidad de medir de forma más precisa y directa la resiliencia. Es importante entonces crear una política de investigación que apoye estos recursos, donde se puedan manejar grandes bases de datos con equipos humanos inter y transdisciplinarios en las diferentes regiones del país. Es necesario introducir en la docencia el pensamiento para la resiliencia (resiliencie thinking), que permita la formación de profesionales que a través de la teoría de cambio y el manejo adaptativo puedan paralelamente alimentar el diseño de políticas públicas ad hoc a la complejidad propia de los socioecosistemas de las zonas costeras. De forma simultánea es fundamental crear herramientas de comunicación con la sociedad dirigidas a promover su participación en la implementación de las acciones que permitan incrementar la resiliencia en la costa. En ese sentido, el Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera está trabajando en crear las condiciones para que estas iniciativas logren consolidarse.

AUTORES

Arce Ibarra, Ana Minerva
El Colegio de la Frontera Sur Unidad Chetumal
aarce@ecosur.mx
Avila Foucat, Véronique Sophie
Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México
savila_1@yahoo.com.mx; savila@iiec.unam.mx
Camacho Valdez, Vera
El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristobal de las Casas
vcamacho@ecosur.mx
Carmona Escalante, Armando
Facultad de Ciencias, Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación del SISAL, Universidad Nacional Autónoma de México
acarmona@ciencias.unam.mx
Cervantes Rosas, Omar Darío
Facultad de Ciencias Marinas Universidad de Colima
omar_cervantes@ucol.mx
Espejel Carbajal, Ileana
Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California
ileana.espejel@uabc.edu.mx
Espinoza Tenorio, Alejandro
El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche
aespinoza@ecosur.mx
Esqueda Lara, Karina
Centro de Cambio Global para la Sustentabilidad
karina.esqueda@ccgss.org
González Quintero, Cristina
Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México
cristina.goqui@gmail.com
Jiménez Orocio, Oscar Alberto
Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California
jimenez.oscar@uabc.edu.mx
Medellín Mayoral, Gabriela
Instituto de Ingeniería, Laboratorio de Procesos costeros, Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación del SISAL, Universidad Nacional Autónoma de México
gmedellinm@iingen.unam.mx

Morales Barragán, José Federico
Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH), Universidad Nacional Autónoma de México
jfmoralesb@gmail.com
Pérez Espejo, Rosario
Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México
rosarioperezespejo@gmail.com
Ramírez León, Alejandra
Posgrado del Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México
tanukino@hotmail.com
Reyna Fabián, Mariana Berenice
Consultora independiente
marianabe@yahoo.com
Rodríguez Fuentes, Gabriela
Facultad de Química, Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación del SISAL, Universidad Nacional Autónoma de México
gabyrod@gmail.com
Sáenz Arroyo, Andrea
El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristobal de las Casas
msaenz@ecosur.mx
Salgado Nieto, Uberto
Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México
ubertosalgado@comunidad.unam.mx
Salles de Almeida, Paulo
Instituto de Ingeniería, Laboratorio de Procesos costeros, Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación del SISAL, Universidad Nacional Autónoma de México
psallesa@iingen.unam.mx
Torres Freyermuth, Alec
Instituto de Ingeniería, Laboratorio de Procesos costeros, Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación del SISAL, Universidad Nacional Autónoma de México
atorresf@iingen.unam.mx
Torres Irineo, Edgar
Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México
edgar.torres@ciencias.unam.mx
Tovilla Hernández, Cristian
El Colegio de la Frontera Sur Unidad Tapachula
ctovilla@ecosur.mx
Vázquez González, César
Universidad Veracruzana, Posgrado en Ecología y Pesquerías
cesargonzalez84@gmail.com

Vidal Hernández, Laura Elena
Facultad de Ciencias, Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación del SISAL,
Universidad Nacional Autónoma de México
laurae.vidal@ciencias.unam.mx
Zepeda Domínguez, José Alberto
Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California
zepeda.jose@uabc.edu.mx