

15. Análisis transdisciplinario de los efectos del cambio climático en los socioecosistemas costeros de Campeche



EVELIA RIVERA ARRIAGA*

ANGELINA DEL CARMEN PEÑA PUCH**

BEATRIZ EDITH VEGA SERRATOS***

GREGORIO POSADA VANEGAS****

YASSIR EDÉN TORRES ROJAS*****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.319.15>

Resumen

Las costas tienen un gran valor social, económico y ambiental en México y particularmente en Campeche. Los sistemas costeros son complejos y son impactados de manera significativa por el aumento de población y por cambios en los ecosistemas. Los sistemas socioecológicos costeros son particularmente vulnerables al cambio climático debido al impacto ocasionado por el aumento en las temperaturas del aire y del mar, la acidificación del océano, el aumento del nivel del mar, cambios en la precipitación, condiciones de vientos y oleaje y la subsecuente erosión costera. En un sistema

* Doctora en Política Marina. Profesora-investigadora titular C en el Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8467-7307>

** Doctora en Ecología y Desarrollo Sustentable. Investigador invitado en el Instituto EPOMEX, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3860-7345>

*** Doctora en Ingeniería. Profesora-investigadora titular B en el Instituto EPOMEX de la Universidad Autónoma de Campeche, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7709-1807>

**** Doctor en Ingeniería. Profesor-investigador titular C en el Instituto EPOMEX de la Universidad Autónoma de Campeche, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0795-7759>

***** Doctor en Ciencias Marinas. Profesor-investigador titular C en el Instituto EPOMEX de la Universidad Autónoma de Campeche, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9452-5224>

socioecológico (SES) hay una interacción entre elementos biofísicos y sociales, que generan dinámicas que pueden ser observadas, procesos adaptativos y con capacidad de organización propia o gobernanza que permite enfrentar la incertidumbre de los cambios por el clima y construir una resiliencia para poder sobrevivir. El concepto de resiliencia soporta un enfoque de manejo holístico, integrando no-linearidades y complejidad, lo cual puede apoyar una gobernanza costera que responda a problemas urgentes de frente a la incertidumbre por el cambio. La única forma de analizar los efectos del cambio climático en los SES costeros es a través de un enfoque transdisciplinario que permita comprender desde múltiples puntos de vista, qué es lo que sucede y cómo puede adaptarse un SES.

Palabras clave: *socioecosistemas costeros, cambio climático, análisis transdisciplinario.*

Introducción

De acuerdo con el SROCC/IPCC (2019) más del 50 % de la población mundial vive a lo largo de las costas marinas y producen más del 70 % del total de la producción mundial de bienes y servicios. Muchas de las ciudades más grandes del mundo están ubicadas sobre o cerca de las costas donde las actividades económicas son intensas. De alguna manera, las zonas costeras están vinculadas con las regiones tierra adentro. De forma que los impactos en las costas afectan seriamente la economía y condiciones de vida, aun en lugares que están lejos de ellas (Glavovic et al., 2022).

Las zonas costeras son altamente vulnerables a los efectos del cambio climático. El mayor peligro que afrontan es la elevación del nivel medio del mar, tormentas más intensas que generan mayores inundaciones y erosión litoral e incremento en la frecuencia de eventos climáticos extremos (Sandifer y Scott, 2021). La elevación del nivel medio del mar ha estado ocurriendo de manera continua durante los últimos 100 años. Ha aumentado 17 cm en el transcurso del siglo XX. Esto representa un peligro para las costas bajas o para aquellas por debajo del nivel del mar (IPCC/AR5, 2014; IPCC/SROCC, 2022).

El SROCC/IPCC (2019) plantea que el aumento en el nivel del mar en el mundo desde la mitad del siglo XIX ha sido más rápido que el promedio en los 2000 años anteriores. En los últimos 100 años, los niveles alcanzaron 1.7 mm por año entre 1901 y 2010. El incremento entre 1971 y 2010 fue de 2.0 mm por año, y entre 1993 y 2010 fue de 3.2 mm. En la quinta evaluación del IPCC se presentaron varios escenarios en los que el nivel del mar se elevará entre 17 y 38 cm en el periodo desde el 2050, y entre 26 y 82 cm para el año 2100. Este mismo reporte establece que en promedio el aumento del nivel del mar para finales del siglo XXI será de entre 40 y 63 cm, lo cual representa un serio peligro para las zonas costeras, en especial para las islas del Pacífico y Caribe mexicanos.

Es importante reconocer que el aumento del nivel del mar será desigual y se espera que sea mucho mayor en los trópicos, donde en el siglo XXII puede haber elevaciones de 1 a 3 m, seguidos por un incremento de 5 a 10 m de los niveles de corrientes en el próximo siglo. Un océano que se eleva puede inundar asentamientos humanos e infraestructura costera e islas, por lo que sus habitantes serán forzados a emigrar y buscar refugio en otros países (IPCC/AR5, 2014).

De acuerdo con el capítulo 6 del SROCC/IPCC (2019), los eventos extremos como las tormentas en las costas se han vuelto más frecuentes e intensas. Los vientos de las tormentas extremas pueden ocasionar urgencias, como una elevación súbita en el nivel del mar. Éstas están acompañadas frecuentemente por precipitaciones extremas e inundaciones, poniendo en peligro el movimiento de embarcaciones, el trabajo en plataformas marinas de hidrocarburos y el turismo de playa, así como ocasionar erosión costera (CNE, s. f.).

La erosión es un problema muy serio en la línea de costa en las zonas bajas. Afecta los asentamientos humanos, la infraestructura costera, los puertos, las tuberías de conducción de gas y petróleo, al turismo de playa y a los ecosistemas y recursos costeros (Paice y Chambers, s. f.). De acuerdo con Cooley et al. (2022), los ecosistemas de zonas costeras bajas son particularmente vulnerables a la elevación del nivel del mar y a la erosión. Muchas especies de plantas y animales que viven en las zonas someras tienen un papel importante en la acumulación de nutrientes, por ejemplo, los manglares, humedales salinos y salobres que sostienen las cadenas alimentarias. Los ecosistemas costeros responden de manera diferente a los estresores

relacionados con el cambio climático, dependiendo del ecosistema, la composición e interacción de especies y de cómo los estresores locales interactúan acumulativamente con las presiones que ejercen los efectos del cambio climático (Trégarot et al., 2024).

La acidificación del agua marina afecta a los arrecifes de coral y a todos los organismos con caparazón, ya que se vuelven más débiles y pequeños de tamaño, afectando la cadena alimentaria del mar. La acidificación marina pone en riesgo los servicios ecosistémicos valiosos que el mar provee a las comunidades costeras, tales como pesquerías, acuicultura y protección de la línea de costa (Doney et al., 2020). El aumento de la temperatura atmosférica y del mar afecta la reproducción de los peces dificultando la restauración de poblaciones y provocando enfermedades en los corales además del blanqueamiento, cubriéndose de algas. Los peces emigran a latitudes donde la temperatura del agua es más baja afectando a las pesquerías. La pérdida de hábitats costeros y marinos como los corales, manglares, humedales y pastos marinos es otro peligro para la productividad de los peces (Huang et al., 2021).

Sistemas socioecológicos

La relación entre ambiente y sociedad es dinámica y compleja y se le ha estudiado desde diversas perspectivas, algunos estudios son teóricos con un enfoque de los sistemas complejos adaptativos (Buckley 1968; Holland 1992, 2006; Gell-Mann 1994; Gunderson y Holling 2002; citados por Urquiza y Cadenas, 2015), y otra visión son los sistemas socioecológicos (Holling 2002; Norbert y Cumming 2008; Ostrom 2009; Rappaport 1977; citados por Urquiza y Cadenas, 2015). Los sistemas socioecológicos se explican como una red de relaciones de los recursos naturales que prestan bienes y servicios a los seres humanos, con variables sociales y económicas (Ostrom 2009; citado por Urquiza y Cadenas, 2015), es por esto que se trata de sistemas sociales humanos que interactúan entre sí en diferentes niveles, con diferentes grados de organización y autonomía dentro de un territorio dado y sus recursos.

En un sistema socioecológico (SES) hay una interacción entre elementos biofísicos y sociales, que generan dinámicas que pueden ser observadas, pro-

cesos adaptativos y con capacidad de organización propia (Norberg y Cumming 2008; Folke et al., 2005; citados por Urquiza y Cadenas, 2015). De acuerdo con Urquiza y Cadenas (2015), para estudiar un SES es necesario determinar la relación entre el sistema social y el ambiente con el que se relaciona. Estos autores mencionan que los SES se mantienen gracias a un flujo bidireccional de materia, energía e información con el ambiente, por lo que la relación es muy estrecha entre ambos. Este constante intercambio y los procesos asociados pueden resultar en modificaciones ya sea en el funcionamiento o bien en la estructura del sistema social, debido a cambios en el ambiente y viceversa (Gallopin 2006; citado por Urquiza y Cadenas, 2015). Esto es, la información del sistema social se produce en acoplamiento con el sistema ambiental, pero es un producto de las operaciones del sistema social.

Urquiza y Cadenas (2015) consideran que el SES se encuentra en un “acoplamiento estructural”, lo cual permite que se disparen mutuamente cambios estructurales. De acuerdo con estos autores, la estructura de un sistema es su aspecto variable, y su organización es su estado constante. Ambos son propiedades de cualquier sistema acoplado a su entorno (Maturana y Varela 1984; citados por Urquiza y Cadenas, 2015). Ahora, para que un sistema sea viable debe ser capaz de mantener su organización haciendo cambios en su estructura. Un sistema socioecológico es una unidad de orden mayor que está delimitada espacialmente a raíz de estas interacciones recurrentes (Urquiza y Cadenas, 2015).

Refugio-Coronado et al. (2021) establecen que las zonas costeras han sostenido comunidades humanas por siglos, y la salud del ambiente costero y marino depende de las interconexiones entre los sistemas sociales y los sistemas ecológicos. Sin embargo, en los últimos 60 años los ambientes costeros han sido sujetos a cambios dramáticos asociados con actividades humanas. El rápido crecimiento de la población ha tenido consecuencias negativas para los litorales en muchas partes del mundo (Li et al., 2018). El daño que resulta del exceso de nutrientes vertidos por fuentes terrestres resulta en hypoxia que provoca la muerte de fauna y flora además del cierre de las playas. Otros daños incluyen sobrepesca histórica en muchas partes del mundo con el colapso de las poblaciones de numerosas especies (Myers y Worm, 2003; Perry et al., 2010). Los plásticos y microplásticos que afectan desde al plancton hasta las ballenas que ingieren basura (Jambeck et al.,

2015). Hasta los derrames de sustancias tóxicas como hidrocarburos de las plataformas marinas y las estaciones de carga en el golfo de México.

Cuando los gobiernos, las comunidades costeras y los individuos reaccionan a estos cambios ambientales y adaptan sus comportamientos, hay efectos de retroalimentación de los ecosistemas costeros y marinos, y es necesario estudiarlos (Refulio-Coronado et al., 2021).

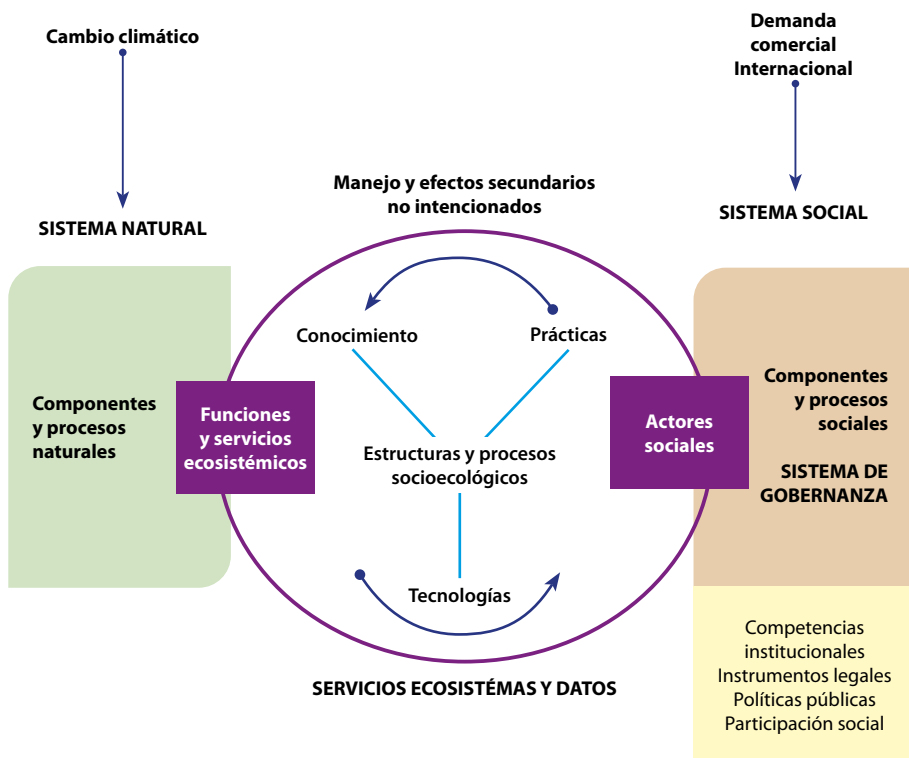
Un elemento importante dentro de los SES costeros es la ubicación de sus elementos y el ambiente, la proximidad geográfica a la línea de costa e infraestructura, la conectividad espacial, lo que permite identificar las relaciones existentes entre elementos y a partir de ellas establecer las propiedades del sistema social y ecológico (Cumming 2011; Norberg y Cumming 2008; citados por Urquiza y Cadenas, 2015).

Cerón-Hernández et al. (2019) consideran que los sistemas socioecológicos incluyen a los diferentes elementos de interacción como entes físico-químicos, sino también entes biofísicos que siguen sus procesos evolutivos, con lo cual se pueden comprender cómo las reglas, las normas, las instituciones y las culturas evolucionan y cambian siguiendo procesos y dinámicas (Axelrod y Cohen, 1999; Costanza, 2014). Por lo tanto, un estudio con este enfoque implica la investigación ecológica, así como las prácticas sociales, la gobernabilidad, las estructuras institucionales, la tecnología (Rincón-Ruiz et al., 2014), al igual que los valores y creencias de las personas hacia el ambiente (Burkhard y Maes, 2017) y las dimensiones que en una relación armónica mantienen la estabilidad del sistema.

Vidal-Hernández et al. (2020) modificaron un esquema de Liehr et al. (2017) donde se aprecia en la figura 15.1 el círculo del centro que 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, geológicos, químicos y físicos; por ejemplo, playas, poblaciones pesqueras, acuicultores, turismo. Los procesos pueden ser: dispersión de semillas, irrigación, cosecha, extracción de agua, inmigración, aprovechamiento de re-

cursores forestales. Además de otros factores relevantes que definen el tipo de las interrelaciones del socioecosistema como: 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 los habitantes o usuarios para interferir con las funciones ecológicas normales, a fin de hacer algunos servicios específicos disponibles para su uso.

Figura 15.1. *Esquema conceptual del sistema socio-ecológico*



Fuente: Ávila-Foucault y Espejel (2020).

Resiliencia en SES

Resiliencia, vulnerabilidad y capacidad adaptativa son tres conceptos clave aplicados para comprender cómo los SES responden al cambio (Gallopin, 2006; Kaplan-Hallam et al., 2017). Estos conceptos se originan de campos diferentes, pero han sido ampliamente usados como indicadores a través de los cuales analizar los vínculos dentro y entre sistemas sociales y ecológicos. Para SES costero-marinos, la resiliencia se refiere a una propiedad interna de un sistema y específicamente su capacidad para mantener el *statu quo* ante un cambio, disturbio o impacto (Refulio-Coronado et al., 2021). Un disturbio incluye factores biofísicos, sociales, económicos, institucionales y políticos que afectan a las comunidades humanas y su ambiente (Lozoya et al., 2015). Un sistema resiliente no cruza un umbral, se mantiene a sí mismo en el mismo estado estable y retiene sus funciones esenciales, estructura, identidad y retroalimentación mientras el sistema se recupera (Walker et al., 2004; Lozoya et al., 2015).

Holling (1973; citado por Urquiza y Cadenas, 2015) plantea que la resiliencia es la mantención de un sistema, su capacidad para absorber las perturbaciones de su entorno, incluyendo su capacidad de cambio, pero también la mantención de las relaciones entre sus componentes. La capacidad del sistema para reorganizarse manteniendo sus características esenciales se relaciona con la mantención de la función y estructura del sistema.

Urquiza y Cadenas (2015) consideran que es necesario identificar la resiliencia de un SES a través de los siguientes elementos:

1. *La magnitud del cambio que es soportado por un sistema manteniendo su estado, el que refiere al ancho de su cuenca de atracción (latitud), o dicho de otro modo, su capacidad de cambio estructural con mantenimiento de su organización;*
2. *La capacidad del sistema para modificar su auto-organización (resistencia);*
3. *La capacidad del sistema de aprender y mejorar sus posibilidades de respuesta;*
4. *El límite o umbral del sistema que al ser cruzado impide la recuperación (precariedad), es decir, cuando se alcanza un punto de no-retorno y*
5. *La posibilidad de influenciar los estados deseados por la dinámica del sistema en sus diferentes niveles (panarquía).*

Todos estos elementos tienen que ver con mantener la organización del sistema, con sus componentes y relaciones en el tiempo y su capacidad de adaptación. Así se pueden seleccionar criterios de observación para la resiliencia. Varios autores citados por Urquiza y Cadenas (2015), como Ostrom (1990), Rappaport (1977), Tompkins y Adger (2004), Olsson et al. (2004), Norberg y Cumming (2008) y Cumming (2011), identifican cuatro características centrales para mantener la resiliencia del sistema:

1. *La diversidad, redundancia y flexibilidad, tanto en el ámbito social como en el ecológico.* Cuando los SES se enfrentan a situaciones inciertas, la variedad de los elementos mejora las posibilidades de enfrentarlas con éxito. Las variedades pueden ser institucionales, tecnológicas, productivas, biológicas, etc. Cuando un SES es diverso, e incluso tiene redundancia de elementos, posee una mayor flexibilidad y por lo tanto una mejor posibilidad de reacción frente a los cambios del entorno, ya que dicha diversidad le entrega más herramientas ante la incertidumbre.

2. *El alto grado de conectividad entre sus elementos y con sus entornos; junto con la capacidad de las organizaciones y comunidades para colaborar vertical y horizontalmente.* En los SES se ha identificado que tanto la fragmentación ecológica como la fragmentación social disminuyen las posibilidades de reacción del sistema, ya que el aislamiento hace que no haya conectividad disminuyendo el acceso a diversidad social y ecológica. La conexión entre actores sociales y la creación de redes estables en el tiempo permiten que surjan nuevas oportunidades de interacciones y con mayor acceso a la diversidad de recursos sociales y ecológicos. Esto es fundamental para combatir la incertidumbre.

3. *La memoria del sistema está vinculada a su capacidad para procesar información y aprender.* La capacidad para aprender en un SES acerca de su relación con el entorno y la sociedad se llama la “memoria socioecológica” (Folke et al., 2005; Olsson et al., 2006; citados por Urquiza y Cadenas, 2015). Esto representa el acervo de conocimientos y aprendizajes de un sistema social acerca del ambiente con el que se relaciona, cómo este ha sido afectado por cambios y las diversas estrategias de adaptación que se han desarrollado.

4. *La capacidad para modificar las estructuras y condiciones del sistema a partir de su autoorganización.* Esta capacidad es la de mantener la identi-

dad original del SES cuando su estado es deseable, o también se refiere a la posibilidad de generar los cambios necesarios para llegar a estados más deseables, esto sucede cuando se enfrenta una amenaza o cuando las condiciones originales del sistema no son las esperadas (Folke, 2006; Engle, 2011; citados por Urquiza y Cadenas, 2015).

Para poder abordar sistemas complejos como los SES costeros, es necesario aplicar investigación transdisciplinaria que busca: (a) comprender una parte relevante de la complejidad del problema, (b) tomando en cuenta la diversidad de percepciones experienciales y científicas y (c) conectando conocimiento abstracto y de casos específicos, (d) para desarrollar conocimientos y prácticas que promuevan lo que es percibido como el bien común (Hoffmann-Riem et al., 2008; citado por Merçon, 2022).

De acuerdo con Refulio-Coronado et al. (2021), el concepto de vulnerabilidad es una propiedad compuesta del sistema que consiste en tres elementos: exposición al disturbio, sensibilidad a esos disturbios y capacidad para adaptarse a los disturbios. Para estos autores, la resiliencia es una propiedad de la fuerza interna del sistema, mientras que la vulnerabilidad recae parte en factores externos tales como la exposición al disturbio. De esta forma para estos autores la evaluación de la vulnerabilidad es un indicador del impacto de uno o más disturbios en los sistemas sociales o ecológicos y hacen una sinergia potencial en los impactos de múltiples disturbios (Murphy, 2015). Tanto en sistemas sociales como ecológicos, la exposición a los disturbios puede variar en número, severidad o duración (Refulio-Coronado et al., 2021).

La capacidad adaptativa denota las características que determinan si un sistema se puede ajustar para sobrevivir y el grado de ese ajuste (Manuel-Navarrete et al., 2007). En los sistemas ecológicos, la capacidad adaptativa se refiere a la capacidad de las especies a persistir a pesar de las condiciones cambiantes y es fortalecido por su diversidad genética, biológica o de paisaje. En los sistemas sociales, la adaptación se refiere a las características que permite el sistema para responder efectivamente a los cambios en los sistemas ecológicos y mantener la calidad existente de vida, así como sus estructuras organizativas, y políticas que pueden promulgar proyectos de infraestructura o estrategias de manejo de riesgos formales o informales (Refulio-Coronado et al., 2021).

El objetivo de este capítulo es aplicar un enfoque transdisciplinario al análisis de riesgos costeros para disminuir la vulnerabilidad, favorecer el empoderamiento y la gobernanza y mejorar su adaptación a amenazas naturales y antrópicas en comunidades costeras precarias. Se va a tomar en cuenta el marco de la Política Nacional de Cambio Climático, su Ley y todos sus instrumentos para la gestión del riesgo. Se incluirán estudios de procesos oceanográficos, de sistemas socioambientales y de manejo de recursos pesqueros de forma sostenible. En la perspectiva transdisciplinar, el manejo costero de riesgos centrados en la población afectada debe contar con la información necesaria social, económica, ambiental, oceanográfica y de cambio climático para actuar sobre situaciones específicas. De esta forma, se facilita la implementación de estrategias y medidas a corto plazo considerando la construcción de resiliencia en el largo plazo.

Descripción física, geológica, ambiental y social de los SES costeros

La descripción física, geológica y ambiental de los SES Costeros analizados, Isla del Carmen, Sabancuy, Champotón, Seybaplaya e Isla Arena (figura 15.2), en el presente trabajo se llevó a cabo a partir de la información publicada por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) en el compendio geográfico de los municipios del Carmen, Champotón, Campeche y Calkiní, (INEGI, 2011). Para cada SES se obtuvo la información relacionada con la fisiografía, tipo de roca, suelo dominante, relieve, clima, región hidrológica, precipitación y temperatura media, así como uso de suelo y vegetación (tabla 15.1), en donde las localidades se presentan en función de su ubicación, comenzando por Isla del Carmen que se encuentra en la parte sur oeste del estado de Campeche y terminando en Isla Aguada que se encuentra al norte, en el límite con el estado de Yucatán.

Figura 15.2. Ubicación de los SES Isla del Carmen, Sabancuy, Champotón, Seybaplaya e Isla Aguada, Estado de Campeche



Fuente: elaboración propia.

Tabla 15.1. Descripción general de los sistemas socioecológicos costeros en estudio

Sistemas socioecológicos Costeros						
Características		Isla del Carmen	Sabancuy	Champotón	Seybaplaya	Isla Aguada
Fisiografía	Provincia	XIII Llanura Costera del Golfo Sur		Península de Yucatán		
	Subprovincia	Llanuras y pantanos tabasqueños		Carso y lomeríos de Campeche		Carso Yucateco
	Topoformas	Llanura de barreras inundable y salina con dunas y playa o barra salina		Lomerío bajo con llanuras, llanura aluvial costera salina	Lomerío bajo con llanuras, playa o barra inundable y salina	Playa o barra inundable y salina
Geología	Roca	Caliza y suelo litoral		Suelo y sedimentaria	Sedimentaria	Suelo
	Suelo Dominante	Arenosol, solonchak y zona urbana	Arenosol y solonchak	Arenosol, zona urbana y leptosol	Phaeozem y vertisol	Arenosol
	Relieve	Playa o barra	Llanura	Llanura	Lomerío	Playa o barra

Clima		Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad	Cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media	Cálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad	Semiseco muy cálido y cálido
	Región Hidrológica	No. 30 Grijalva-Usumacinta	Yucatán Oeste (Campeche)		Yucatán Norte (Yucatán)
Hidrografía	Cuenca	Laguna de Términos	R. Champotón y otros		Yucatán
	Subcuenca	Laguna de Términos	R. Champotón	Toop	N. A.
	Precipitación	1,300 a 2000 mm	1 000 a 1 500 mm	1 000 a 1 200 mm	700 a 1 100 mm
	Temperatura media	26 a 28 °C			
Uso de suelo y vegetación		Zona urbana, selva y manglar	Selva y manglar	Zona urbana, agricultura y manglar	Selva y pastizal
					Manglar y cuerpo de agua

Fuente: elaboración propia.

Descripción ambiental de los SES costeros

La costa norte de Campeche se caracteriza por su provincia carbonatada. Por otro lado, la zona sur se distingue por su provincia deltaica, marcada por la influencia estuarina (Flores-Hernández et al., 2010). Esta diversidad de condiciones marinas contribuye a la riqueza biológica y a la complejidad de los SSE en la región. Entre los SSE que podemos encontrar en la zona norte, se encuentran Seybaplaya que no presenta sitios RAMSAR o Áreas Naturales Protegidas (ANP) y Champotón que presenta un sitio RAMSAR desde 2004 y una ANP a partir de 2024. La zona sur está influenciada por la Laguna de Términos y abarca los SSE Sabancuy, Isla Aguada, Ciudad del Carmen, en esta región el ANP se declaró en 1994 y el Sitio RAMSAR en 2004 (tabla 15.2).

Tabla 15.2. Descripción de la conservación en la zona costera

	Seybaplaya	Champotón	Sabancuy	Isla Aguada	Ciudad del Carmen
Contexto biofísico	Su composición es kárstica, con línea costera que carece de playas.	Amplia plataforma con profundidades bajas y pendiente suave y prolongada. Pequeños bajos que forman barras cerca de la costa. Presencia del río Champotón.	Presencia del sistema fluvio-lagunar estero de Sabancuy, formado por barreras de arena y manglar. Presencia de playas.	Ubicación de la Boca de Puerto Real, que es entrada a la Laguna de Términos. En su porción oriental, cuenta con una amplia plataforma.	Presencia de la Laguna de Términos, con aporte de sedimentos y el desarrollo de llanuras aluviales de los ríos.
Sitio Ramsar	N/A	Es un hábitat crucial para la anidación de especies en peligro de extinción como la tortuga carey (<i>Eretmochelys imbricata</i>) y la tortuga verde (<i>Chelonia mydas</i>). Las playas arenosas de la zona ofrecen el ambiente perfecto para que estas tortugas marinas puedan anidar. Además, Playa Chenkan es hogar de otras especies protegidas como el loro de frente blanca (<i>Amazona albifrons</i>) y el tamandúa mexicano (<i>Tamandua mexicana</i>).	La Laguna de Términos es una vasta región de importante biodiversidad. Con una extensión de 705 016 hectáreas, abarca los municipios de El Carmen, Palizada, Escárcega y Champotón. Cuenta con tres sistemas fluvio-lagunares y una cobertura de manglares que se extiende por más de 127 000 hectáreas, proporcionando un hábitat vital para una diversidad de vida silvestre. Entre las especies destacadas que habitan esta región, se encuentran las colonias de aves acuáticas de gran tamaño, como el majestuoso Jabirú (<i>Jabiru mycteria</i>) y la Cigüeña Americana (<i>Mycteria americana</i>), ambas de gran importancia ecológica y cultural.		
ANP	N/A	Playa Chenkan, ubicada en el municipio de Champotón, es un santuario natural que se extiende sobre 39.55 hectáreas. Este lugar, designado como santuario en el año 2024.	La Laguna de Términos fue declarada como Área de Protección de Flora y Fauna en 1994, esta área es esencial para la conservación de ecosistemas únicos y especies endémicas.		

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Peña-Puch et al. (2020); Vidal et al. (2015).

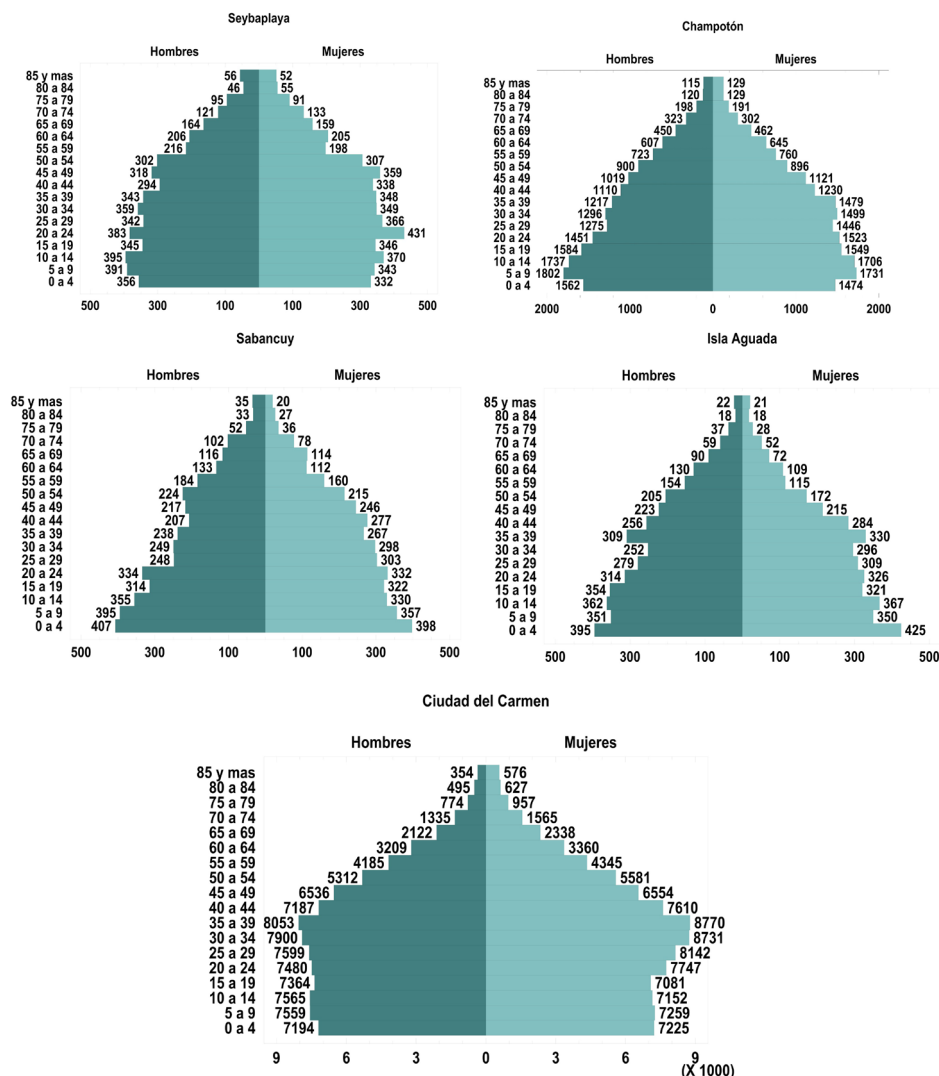
La conservación de los humedales enfrenta desafíos significativos. Los sitios Ramsar, designados por su importancia internacional, han sido cuestionados en su efectividad debido a amenazas como la pérdida de manglares y el riesgo para ciertas especies de aves marinas. Los incendios, la contaminación, los cambios en el uso de la tierra y la disminución de los caudales de agua han alterado los hábitats costeros, exacerbando la pérdida de manglares (Vidal et al., 2015). Las ANP han jugado un papel crucial en la prevención de la pérdida total del patrimonio natural, aunque no

están exentas de problemas socioambientales (Neger y Crespo-Guerrero 2021). Sin embargo, han surgido conflictos sociopolíticos que surgen por la falta de consulta con las comunidades locales y la limitación del desarrollo económico.

En el sector pesquero, los conflictos por el acceso a las zonas de pesca y la regulación de la pesca artesanal se han intensificado, especialmente en torno a la sobrepesca de pulpo (*Octopus maya*) y la captura de especies prohibidas, como el pepino de mar (Géneros *Isostichopus*, *Holothuria*) y los juveniles de camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*) (Villalobos-Zapata y Mendoza 2010; Peña-Puch et al., 2020; Peña-Puch, 2023). Además, los impactos antropogénicos como la urbanización, el desarrollo de infraestructura, la introducción de especies invasoras, la erosión costera (CONANP, 2024) y la explotación petrolera han agravado la situación, con derrames de petróleo que representan una amenaza adicional para la biodiversidad.

Descripción social de los SES costeros

La distribución de la población en la región se concentra principalmente a lo largo de la línea de costa, como en Cd. del Carmen, que cuenta con 191 238 habitantes. Le sigue Champotón con una población de 35 799, Seybaplaya con 9 515, y en menor medida, Sabancuy e Isla Aguada con 7 744 y 7 620 habitantes, respectivamente. En cuanto a la composición de género, Champotón presenta una mayoría femenina con el 51.1 % de mujeres, similar a Cd. del Carmen con el 50.9 %, Seybaplaya y Sabancuy con un 50.3 %. En contraste, Isla Aguada muestra un equilibrio perfecto entre géneros, con un 50 % de mujeres y un 50 % de hombres (INEGI, 2020). Sin embargo, la distribución de la población por rango de edad varía entre localidades, Sabancuy e Isla Aguada tiene la mayor población en el rango de 0 a 4 años y en Champotón destaca entre 5 y 9 años, es decir, se requiere priorizar las necesidades básicas de los infantes, por otra parte, en Seybaplaya la mayor población se encuentra entre 20 y 24 años y Cd. del Carmen en el rango de 35 a 39 años, por lo que se debe fomentar emprendimientos que generen, promuevan la salud y el empleo digno (gráfica 15.1).

Gráfica 15.1. *Pirámides de población*

Fuente: elaboración propia a partir de datos de INEGI (2020).

Respecto al total de la población, el mayor porcentaje de habitantes con acceso a servicios de salud es en Seybaplaya (81.7 %), seguido de Ciudad del Carmen (75.7 %), Sabancuy (72.8 %), Champotón (72.2 %) y en menor medida Isla Aguada (71.1 %). El nivel educativo en diversas localidades de

Campeche muestra una variabilidad reflejando distintos retos y realidades socioeconómicas. En Sabancuy, el promedio de años de estudio es de 7.84, lo que sugiere que una parte considerable de la población no ha completado la educación secundaria. Isla Aguada presenta una situación similar, con un promedio de 8.14 años de escolaridad. Estas cifras contrastan con las de Seybaplaya y Champotón, donde los promedios son de 9.56 y 9.19 años respectivamente, y especialmente con Ciudad del Carmen, que destaca con un promedio de 11 años de estudio (INEGI, 2020).

La población Económicamente Activa (PEA) de Ciudad del Carmen es de 97 515 personas, pero la tasa de desempleo es la mayor de las localidades con de 2.4 %. Champotón tiene una PEA de 16 983 personas y tiene una tasa de desempleo de 1.1 %. Para Seybaplaya la PEA es de 4 351, pero la tasa de desempleo es de 1.5 %. Sabancuy e Isla Aguada tienen una PEA similar de 3 664 y 97 515 personas respectivamente, esta región tiene la menor tasa de desempleo de 0.5 % y 0.6 % (INEGI, 2020). La pobreza, medida por el rango en el que se encuentra la población de estas localidades, también varía considerablemente. Sabancuy e Isla Aguada tienen los rangos más altos de pobreza, con un 60 % a 80 % de su población dentro de esta categoría, respectivamente. Champotón sigue con un rango de pobreza del 40 % al 60 %, mientras que Ciudad del Carmen tiene el rango más bajo, con un 20 % al 40 % de su población en situación de pobreza. Para Seybaplaya, no se dispone de datos (Coneval, 2020).

En las localidades de Sabancuy e Isla Aguada, a pesar de contar con el menor número de viviendas, con 2 880 y 2 889 respectivamente, se observa la mayor tasa de desocupación, alcanzando el 23.9 % y el 24.6 %. Por otro lado, Champotón, con un total de 12 384 viviendas, presenta un 19.1 % de ellas sin ocupar. En contraste, Seybaplaya (con 3 256 viviendas) y Ciudad del Carmen (con 66 661 viviendas) muestran una situación más favorable en cuanto a la ocupación de viviendas, con tasas de desocupación del 16.3 % y 16.6 % respectivamente, siendo estas las más bajas de las localidades mencionadas. En Champotón y Seybaplaya, casi todas las viviendas cuentan con acceso a agua entubada, destacando con un 98.8 % y 98.5 % respectivamente. Por otro lado, Isla Aguada muestra un menor porcentaje, con el 92.5 %, indicando áreas de oportunidad para mejorar el acceso al agua potable. A pesar de la alta distribución de agua entubada en Seybaplaya, esta localidad

presenta el porcentaje más bajo en cuanto a viviendas con drenaje, con un 94 %, lo que podría señalar desafíos en la gestión de aguas residuales. La electricidad es un servicio con una distribución bastante uniforme entre las localidades, manteniendo un promedio del 98.3 %, lo que sugiere una cobertura amplia de este servicio (tabla 15.3).

Sin embargo, el acceso a las comunicaciones muestra gran variabilidad. Sabancuy e Isla Aguada tienen los porcentajes más bajos en cuanto a la posesión de PC, con un 15.6 % y 15.7 % respectivamente, así como en acceso a Internet, con un 14.6 % y 18.8 %, y en teléfono fijo, con un 9.8 % y 3.6 %. Estas cifras podrían reflejar una brecha digital que afecta a estas comunidades, limitando el acceso a la información y a oportunidades educativas y de empleo. Por el contrario, Ciudad del Carmen sobresale con la mayor distribución de tecnologías de la información y comunicación, con un 50 % de las viviendas equipadas con PC, un 67.2 % con acceso a Internet, un 47.4 % con teléfono fijo y un impresionante 93.2 % con teléfono celular (tabla 15.3). Estos datos no solo indican una infraestructura de comunicaciones más desarrollada, sino también una relación con un mayor nivel de ingresos y desarrollo económico. Estas cifras reflejan una disparidad significativa en la distribución y ocupación de vivienda en la región, lo que podría indicar diferencias en el desarrollo económico y social entre estas localidades. Es importante considerar estos datos para la planificación urbana y el desarrollo regional, buscando estrategias que promuevan una ocupación más equitativa y mejoren la calidad de vida de los habitantes de estas áreas.

Tabla 15.3. Descripción del acceso a servicios públicos y medios de comunicación de la zona costera de Campeche

	Seybaplaya	Champotón	Sabancuy	Isla Aguada	Ciudad del Carmen
Viviendas totales	3256	12384	2880	2889	66661
V habitadas	2725	10015	2192	2177	55582
V. con agua entubada al interior	2684	9890	2070	2013	52613
V. con drenaje	2561	9764	2137	2123	54310
V. con electricidad	2688	9894	2152	2132	54342
V. con PC	827	2830	343	342	27788
V. con Internet	736	4624	321	409	37362

V. con teléfono fijo	475	2010	215	79	26367
V. con teléfono celular	2302	8975	1813	1841	51818

Fuente: elaboración propia a partir de datos de INEGI (2020).

Análisis transdisciplinario de planeación ambiental y gobernanza, pesquero y económico

De acuerdo con Pérez-Matos y Setién-Quezada (2008), la transdisciplinariedad es un “proceso según el cual los límites de las disciplinas individuales se trascienden para tratar problemas desde perspectivas múltiples con vistas a generar conocimiento emergente” (Nicolescu, 1998). Según Pérez-Matos (2007), se considera “la transformación e integración del conocimiento desde todas las perspectivas interesadas para definir y tratar problemas complejos”. Pérez-Matos y Setién-Quezada (2008) consideran que es difícil trabajar con la transdisciplinariedad. Nicolescu (1998) postula los fundamentos científicos transdisciplinarios al proponer tres principios básicos, estos son: *la existencia de varios niveles de realidad, la lógica del tercero incluido y la complejidad*.

En la carta de la transdisciplinariedad, elaborada en 1994 en el primer congreso internacional sobre el tema (Pérez-Matos y Setién-Quezada, 2008), plantea en el artículo 2: “El reconocimiento de la existencia de diferentes niveles de la realidad, regidos por diferentes lógicas, es inherente a la actitud transdisciplinaria. Toda tentativa de reducir la realidad a un solo nivel, regido por una única lógica, no se sitúa en el campo de la transdisciplinariedad” (Carta de Transdisciplinariedad, 1994).

El objetivo de la transdisciplinariedad en las zonas costeras de Campeche es reflexionar sobre formas específicas para promover el fortalecimiento de la territorialidad, entendida como la construcción y expresión cultural e intersubjetiva de los sistemas socioecológicos en los territorios de las costas campechanas, desde entidades que proponen la integralidad de las acciones sustantivas que propone el manejo costero integrado.

De acuerdo con Hernández-López (2023), está creciendo la necesidad del diálogo entre las ciencias sociales y las ciencias naturales para comprender y solucionar de manera adecuada los problemas de las costas,

tanto para las entidades gubernamentales, académicos y organizaciones de la sociedad civil que hacen extensión, docencia o investigación científica, y que requieren enfoques transdisciplinarios para los actores que practican la política pública. Esto porque, en México los temas de pobreza o modelos de desarrollo no solo son sociales o económicos, sino que los conflictos ambientales y culturales implican también interacciones geográficas, disciplinares, políticas, ya que movilizan a nuevos actores en las agendas y movimientos sociales, tanto a nivel local, nacional como internacional. Los nuevos temas de agenda piden de la participación pública sobre modelos de desarrollo, acciones y programas que aborden sus necesidades y requerimientos, integrando un nuevo orden con participación ciudadana activa y apropiada de las agendas, que pide una nueva integridad ambiental, política, económica y social, frente a los tradicionales modelos de desarrollo sectorial.

Las zonas costeras son consideradas como sistemas complejos que involucran redes interactivas y vínculos a través de múltiples niveles, con andamiajes verticales y horizontales con las instituciones que son responsables de los cambios en el sistema socioambiental en el tiempo y son sensibles al contexto local, crean nuevas oportunidades para la toma de decisiones y fomentan la colaboración que cataliza las transformaciones. Aquí entran algunos casos donde se identifican los elementos críticos que caracterizan la transformación hacia un manejo comunitario de los recursos: (1) reglas y prácticas; (2) normas, valores y creencias, y (3) distribución del poder, autoridad y recursos.

De acuerdo con Cerón-Hernández et al. (2019), para tratar los problemas complejos se requiere una perspectiva transdisciplinar (Dooley, 2003; Barboza, 2013; Sauvé et al., 2016; Holzer et al., 2018; citados por Hernández et al., 2019). Esto es, se requiere de una propuesta científica reflexiva, integradora, basada en el método científico, dirigido a solucionar problemas sociales, ambientales, económicos, políticos y culturales relacionados, diferenciando e integrando el conocimiento de diversas líneas de investigación científicas y de base social (Burkhard y Maes, 2017; Berrouet et al., 2018; citados por Cerón-Hernández et al., 2019), tomando en cuenta el conocimiento local, el entendimiento y uso espacio-temporal de la comunidad, para tener una idea aproximada más clara de la realidad. La transdisciplinariedad representa, en-

tonces, la coordinación general de la ciencia (Zscheischler y Rogga, 2015, citados por Cerón-Hernández et al., 2019), la educación y la innovación hacia un propósito socialambiental específico (Pohl, 2008; Zscheischler y Rogga, 2015; citados por Cerón-Hernández et al., 2019).

Para Cerón-Hernández et al. (2019), las ciencias ambientales integran el pensamiento complejo con una mayor comprensión de la evaluación de los servicios ecosistémicos prestados dentro de un marco conceptual como los sistemas socioecológicos (Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005; Wang y Ho, 2011; citados por estos autores) y así comprender la interacción entre los activos socioeconómicos y las bases biofísicas del funcionamiento del ecosistema, la representación temporal y espacial de la provisión de servicios ecosistémicos para los sistemas socioecológicos y distinguir entre los tipos de beneficiarios y su poder de influir en las decisiones relacionadas con el manejo, flujo y uso de los servicios prestados por los ecosistemas costeros de cada componente (Cerón-Hernández et al., 2019).

Análisis transdisciplinario de planeación ambiental y gobernanza

Para Camacho-Valdez et al. (2020), los socioecosistemas costeros son dinámicos y complejos y están en constante adaptación; involucran interacciones entre actores, instituciones, aspectos ecológicos y recursos limitados y coevolucionan como un todo integrado a diferentes escalas espacio temporales.

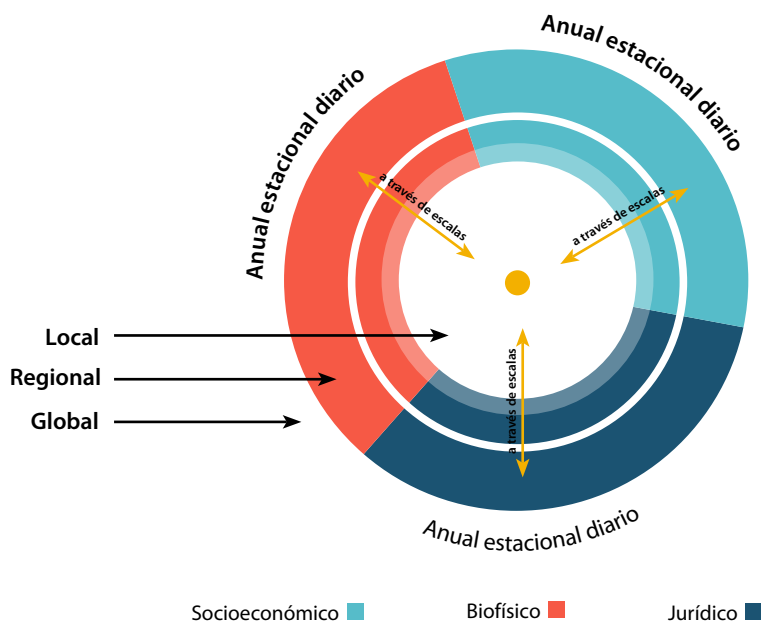
A su vez, Glaser y Glaeser (2014) establecen que los efectos del cambio climático actuales y previstos requieren llevar a cabo investigaciones que consideren de manera explícita las interacciones entre niveles y escalas referidas a los socioecosistemas costeros. De acuerdo con Gibson et al. (2000), las 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.

Dentro de la planeación costera, es importante implementar el manejo integrado de las zonas costeras (MIZC) que incluya la gobernanza socioecológica para la toma de decisiones referida a estos sistemas. Esto conlleva el desafío vigente de formular estudios que contemplen distintas escalas, niveles

y sus interrelaciones. El MIZC aborda los retos que imponen el desfase entre las escalas biofísicas y las jurisdiccionales, la discrepancia entre las escalas de valoración y gestión y la falta de vínculos entre escalas y niveles.

De acuerdo con Camacho-Valdez et al. (2020), la relación de escala espacio-tiempo de la mayoría de los procesos biofísicos en los sistemas costeros socioecológicos puede alterarse de manera drástica por actividades humanas, y éstos a su vez pueden manifestarse en ámbitos globales y locales simultáneamente (figura 15.3). Estos autores establecen que el entendimiento y las soluciones a los problemas ambientales en los socioecosistemas requieren de los procesos biofísicos y de la integración con procesos económicos, políticos e institucionales que también tienen su propia escala espacial y temporal.

Figura 15.3. Interacciones entre las diferentes escalas y niveles en un socioecosistema



Fuente: Camacho-Valdez et al. (2020) modificado de Niiranen et al. (2018).

Para poder implementar el MIZC y por consiguiente la planeación y gobernanza costeras en los socioecosistemas se deben considerar: (1) un

territorio biogeofísico, (2) un asunto o problema identificado y (3) los agentes sociales e instituciones asociadas, construidas con una visión del sistema desde abajo y desde arriba (Glaser y Glaeser, 2014).

Para Eger et al. (2021), el concepto de MIZC ha sido ampliamente utilizado para alcanzar el desarrollo sostenible de las costas desde principios de 1980, cuya meta es el mantener o restaurar la integridad ecológica y fomentar la calidad de vida a la par que se desarrolla la economía en los socioecosistemas costeros (Cicin-Sain y Belfiore, 2005; Ngoran y Xue, 2017; Rodríguez, 2017). El MIZC ofrece una alternativa para el manejo intersectorial de los SES costero-marinos. Sin embargo, estudios recientes concuerdan que la gobernanza permanece como un reto mayor para el avance del MIZC (Cortner et al., 1998; Ehler, 2003; Stojanovic y Ballinger, 2009; Nobre et al., 2017), ya que los usuarios y actores luchan con varios retos fundamentales de la gobernanza. Estos incluyen debates concernientes al papel del control centralizado *versus* la devolución de responsabilidades, como asegurar la estabilidad y funcionamiento del sistema de gobernanza mientras que también se provee de suficiente flexibilidad para adaptarse a cambios en las condiciones sociales y ecológicas y cómo se balancean los objetivos de corto y largo plazos (Stojanovic et al., 2004; Taljaard et al., 2012).

De acuerdo con Eger et al. (2021), la gobernanza se refiere a una serie de procesos e instituciones regulatorias a través de las cuales los usuarios influyen en las acciones y resultados ambientales. Los sistemas de gobernanza incluyen un rango de procesos de gobierno, mercado y sociales que en conjunto influyen en la forma en que los usuarios interactúan con el ambiente y con ellos mismos (Pittman y Armitage, 2016). El MIZC como gobernanza difiere del manejo tradicional sectorial facilitando la integración de esfuerzos, objetivos, actores y procesos, a través y entre redes sociales y ecológicas (i.e. horizontales, verticales, transdisciplinarias y tierra-mar) de forma que se alcanzan los resultados sostenibles socioecológicos. El MIZC como un proceso político involucra varios pasos, incluyendo la planeación y el desarrollo, implementación, monitoreo, evaluación y adaptación (Benham y Daniell, 2016). El MIZC es un término paraguas para otros procesos, herramientas y conceptos relacionados, tales como el manejo basado en ecosistemas, redes de áreas marinas protegidas, planificación espacial marina, entre otras.

El sistema de gobernanza socioambiental está constituido por un grupo de actores localizado en territorios costeros determinados, con objetivos distintos pero con una visión unificada de mejorar el nivel de vida de la población en armonía con los recursos naturales y el ambiente (Rivera-Arriaga y Escofet, 2019).

Para Refulio-Coronado et al. (2021), la gobernanza costera se enfrenta siempre a la incertidumbre profunda y a la evolución de vulnerabilidades de los impactos a través de escalas, multidimensionales e intertemporales del cambio climático en el uso del territorio, biodiversidad, tecnología, condiciones socioeconómicas y políticas de las SES costeras. Es por esto que la gobernanza costera de las SES debe evolucionar para incluir estrategias más adaptativas para la toma de decisiones con el objetivo de fortalecer la resiliencia del sistema ante eventos súbitos (Berkas, 2017; Gladstone-Gallagher et al., 2019; Elsayah et al., 2020).

Los cambios tienen que ver con los umbrales o puntos de inflexión, denotan esos puntos en los cuales los cambios “empujan” al sistema de un estado a otro, frecuentemente de manera irreversible (Broderstad y Eythórsson, 2014; Hossain y Szabo, 2017). Los umbrales biofísicos o ecológicos son definidos por características físicas, químicas y biológicas del sistema ecológico; mientras que los umbrales sociales están definidos por los límites de las habilidades de un individuo o sociedad para aprender y adaptarse (Renaud et al., 2010; Kaplan-Hallam et al., 2017). Los umbrales son tratados usualmente como fronteras estables o como niveles máximos de tolerancia a disturbios por el sistema mientras éste es capaz de mantener su configuración original. Cuando la pérdida de la función de un sistema es muy grande, la configuración del sistema cambia. El proceso de los umbrales en los SES ha sido caracterizado por Hossain y Szabo (2017) como el comienzo con un cambio en una característica del sistema que excede el umbral del sistema mismo y transita hacia otro estado por medio de una retroalimentación positiva y falta de respuesta temprana de gobernanza al cambio.

Análisis transdisciplinario pesquero

La profunda interconexión entre el entorno natural y el ámbito social de la pesca de pequeña escala indica que el conocimiento y la comprensión de esta actividad deben trascender los confines de las disciplinas académicas tradicionales (Said et al., 2018). Es cada vez más evidente que las pesquerías son sistemas complejos que requieren una visión holística que integre las dimensiones sociales y ambientales interconectadas para lograr su sostenibilidad. Si bien el manejo tradicional de los recursos pesqueros se enfoca en las especies objetivo y asociadas (Peña-Puch, 2020). Limitar la evaluación y el manejo de las pesquerías a una escala espacial definida y enfocarse únicamente en las materias primas básicas (FAO, 2015) resulta insuficiente para evitar el deterioro de las pesquerías. El enfoque tradicional descuida otros aspectos que son cruciales como los factores sociales, institucionales y ecológicos, los cuales son indispensables para una gestión pesquera integral y efectiva (Ostrom, 2009; Gutiérrez et al., 2011; Leslie et al., 2015).

Para responder a los desafíos socioambientales que enfrentan las pesquerías, debe asumir una perspectiva socioecológica que integre las dimensiones sociales y ecológicas (Hilborn et al., 2015). Es decir, se debe reconocer que el manejo de los sistemas pesqueros no solo involucra la biología de los recursos marinos, sino también la dinámica institucional, económica y cultural de los usuarios (Espinoza-Tenorio et al., 2011). La simplificación de la compleja relación entre sociedad y el ambiente, junto con la aplicación de medidas de manejo pesquero uniformes en contextos locales diversos, generó omisiones en la gestión, llevando al deterioro de muchas pesquerías (Wyborn y Bixler, 2013). Un enfoque transdisciplinario en la investigación, la capacitación y el aprendizaje sobre la pesca en pequeña escala puede ser una herramienta poderosa para enfrentar los desafíos del mundo real en este sector, abriendo camino hacia soluciones prácticas y efectivas. Este enfoque, que integra conocimientos y perspectivas de diversas disciplinas, como la biología, la ecología, la sociología, la economía y la antropología, permite obtener una comprensión más completa de la complejidad de la pesca de pequeña escala y los desafíos que enfrentan las comunidades pesqueras (Said et al., 2018).

La investigación transdisciplinaria, un enfoque que busca desentrañar la complejidad de los problemas en la pesca en pequeña escala, nos brinda herramientas y métodos valiosos para analizar estas problemáticas desde una perspectiva más holística. En su máximo potencial, la transdisciplinariedad puede impulsar transformaciones en las instituciones y sus funciones, dando lugar a innovaciones en la gobernanza de los sistemas pesqueros (Said et al., 2018). El enfoque holístico busca un equilibrio entre la información ambiental, socioeconómica y el conocimiento tradicional de los usuarios (Berkes et al., 2001; Christie et al., 2007) para promover el desarrollo sostenible (Manson y Die, 2001; Essington y Punt, 2011; Hilborn, 2011). Este marco metodológico holístico implica comprender un sistema complejo y adquirir un conocimiento más profundo para fomentar mejores acuerdos de gobernanza (Basurto et al., 2013; Partelow, 2014).

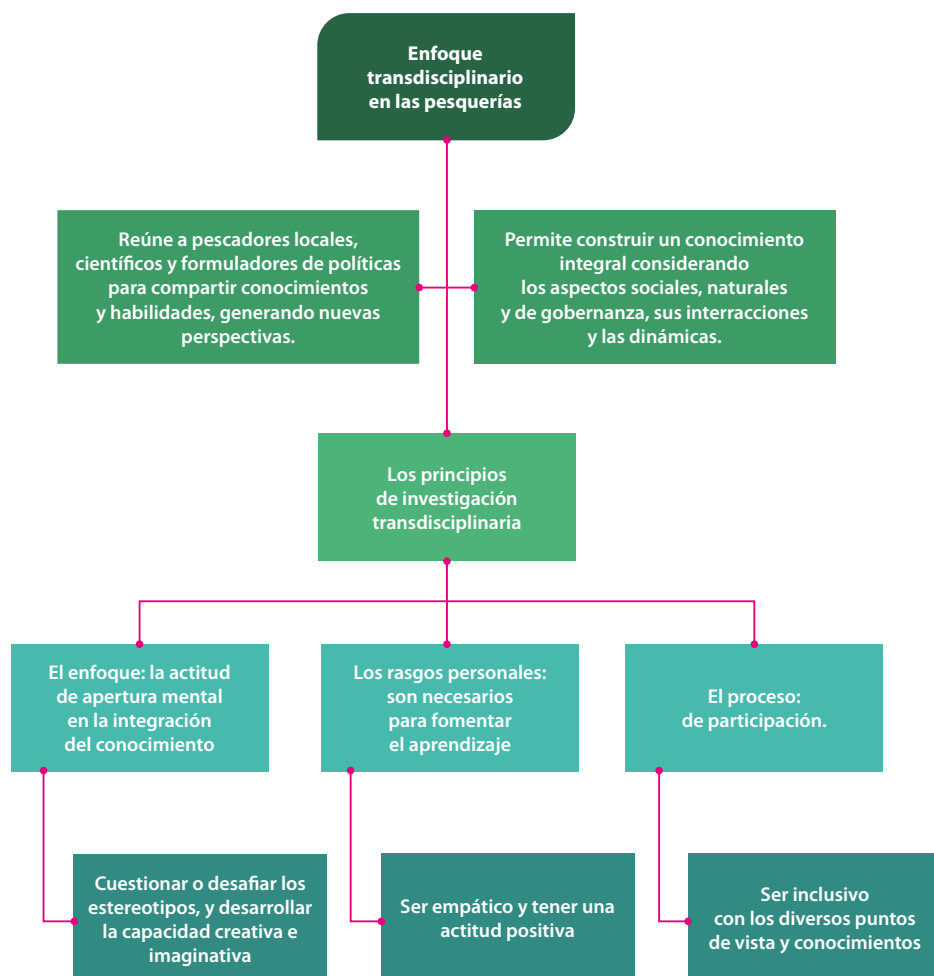
Un enfoque transdisciplinario permite que pescadores locales, científicos y formuladores de políticas, compartan y adquieran habilidades entre sí, y comparten información para generar nuevos conocimientos que no se limitan a una sola disciplina (figura 15.4). De esta manera, el grupo construye un conjunto de conocimientos sobre un sistema pesquero específico, observando los sistemas sociales, naturales y de gobernanza, sus relaciones e interacciones, y cómo se conectan con los procesos e instituciones que operan en diferentes escalas temporales, geográficas y organizativas (Said et al., 2018).

A pesar de que se han desarrollado marcos metodológicos de enfoque socioecológico, la implementación de este manejo puede ser difícil, ya que cada sistema socioecológico pesquero tiene un comportamiento único no solo con los polígonos de pesca, sino también por los usuarios que radican en las localidades pesqueras (Peña-Puch, 2020). Las pesquerías de Campeche necesitan nuevos enfoques de evaluación y manejo que impliquen la corresponsabilidad entre el sector pesquero y los tomadores de decisiones, tomando en cuenta los aspectos ecológicos, sociales y económicos de la actividad pesquera (Villalobos-Zapata y Mendoza, 2010). El principal desafío es implementar estos métodos y enfoques de manejo en pesquerías con poca evaluación y escasa aplicación de medidas de gestión (Anderson et al., 2018; Hilborn et al., 2019).

Adicionalmente, los desafíos en la investigación transdisciplinaria pueden ocurrir en las diferentes etapas, por ejemplo, pueden ocurrir dificulta-

des durante el proceso de identificación y formulación del problema, estos conflictos de interés pueden afectar el nivel de confianza entre los miembros del equipo transdisciplinario, lo que afectaría la de integración de los diferentes tipos de conocimiento y las oportunidades de financiación, que podrían obstaculizar el desarrollo de una completa investigación transdisciplinaria (Said et al., 2018).

Figura 15.4. *Enfoque transdisciplinario en las pesquerías*



Fuente: elaboración propia a partir de datos de Said et al. (2018).

Análisis transdisciplinario económico de los SES costeros

Hay un creciente interés en las ciencias marinas y costeras en desarrollar ciencia transdisciplinar sobre las estrategias adaptativas de las comunidades costeras para abordar los cambios que afectan a los sistemas socioecológicos. Cualesquiera que sean los factores apuntalando las consecuencias de detrimento del cambio en las comunidades costeras (i.e. patógenos, tormentas, inundaciones, florecimientos algales nocivos, sobrepoblación, migración, sobre pesca, etc.), las respuestas sociales necesitan ser rápidas y proporcionadas en magnitud. Las sociedades deben estar preparadas para sorpresas y disturbios inesperados, aceptando seguir algunos principios básicos para adaptarse ellos mismos y para incrementar su nivel de resiliencia. Entre otros principios se tiene la gobernanza policéntrica o colaborativa y la participación de usuarios y actores que es clave para tener éxito (Guillotreau et al., 2020).

Por su parte Cortés-Gómez et al. (2023) consideran que, ante el deterioro de los recursos costeros y marinos, la economía ambiental se presenta como parte de la economía neoclásica y trata de incorporar las problemáticas ambientales derivadas de los patrones de crecimiento económico y asigna un valor monetario al ambiente. En este escenario, los recursos naturales y ecosistemas son insumos reproducibles e ilimitados que no consideran la óptica social. Considerando esto, nace la economía ecológica que es transdisciplinar y propone que los ecosistemas y sus recursos son finitos, este enfoque integra el bienestar social y cultural de las comunidades costeras. Para estos autores, la economía ecológica identifica el valor (natural, junto con el valor de uso y el valor de cambio) de los servicios ecosistémicos para incorporarlos en la toma de decisiones.

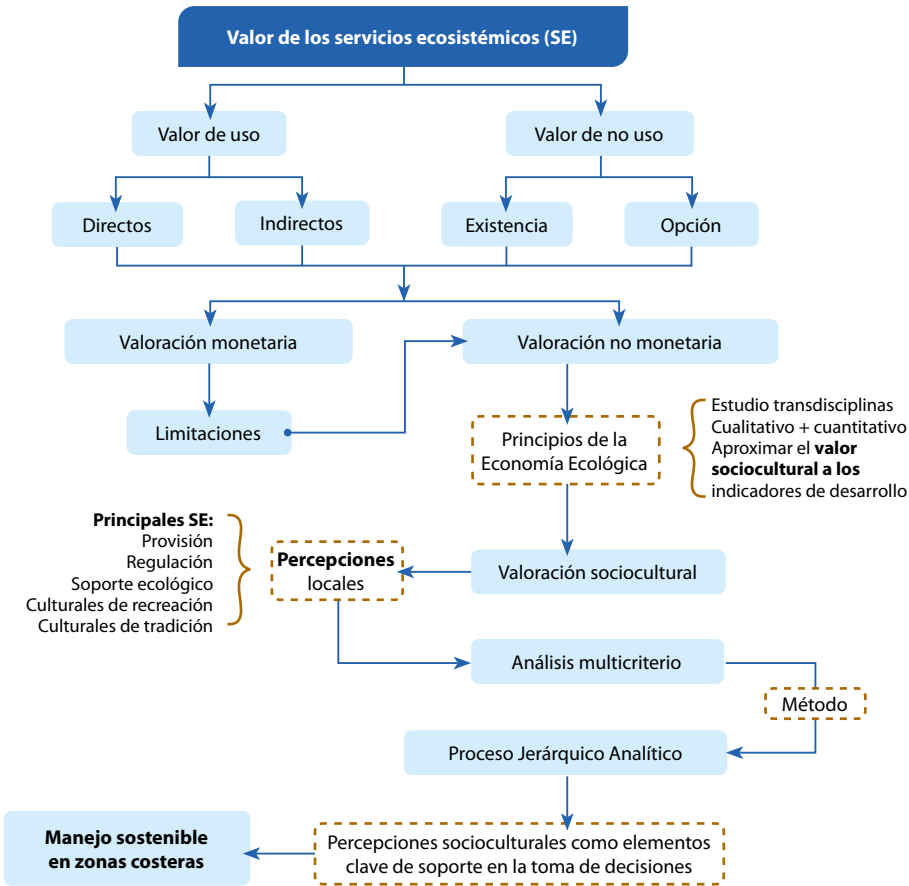
Además, Cortés-Gómez et al. (2023) proponen que la valoración de no mercado de los ecosistemas es aquella basada en el valor que le dan los habitantes costeros que dependen de ellos para su subsistencia, esta valoración es importante para el uso sostenible del capital natural y para mantener una buena calidad de vida en las comunidades locales (Infante-Ramírez et al., 2014). Para estos autores, la valoración sociocultural permite identificar

acciones consensuadas para la toma de decisiones en estrategias de conservación (Reyes-Arroyo et al., 2021). Para Cortés-Gómez et al. (2023), la colaboración institucional y comunitaria para llevar a cabo proyectos de valoración y recuperación de los ecosistemas en la costa significa una oportunidad de desarrollo que contemple las necesidades de su población y la conservación de la zona costera.

Los valores de uso de los recursos naturales y ecosistemas costeros y marinos pueden ser directos o indirectos y su estimación se expresa en términos económicos dirigidos a conservar los SES. De la misma forma, favorecen la valoración del monto económico sobre posibles daños al ecosistema. Por otro lado, los valores de no uso se asignan independientemente de su utilidad, esto es, se les otorga un valor de existencia, dado para la conservación ambiental; mientras que el valor de opción se refiere al valor otorgado por sus usos futuros posibles (Cortés-Gómez et al., 2023).

De acuerdo con Cortés-Gómez et al. (2023) es muy importante obtener valores diferentes a través de la evaluación sociocultural, ya que de esta manera se puede comprender la complejidad de los SES y tomar decisiones más informadas y equitativas. Considerando a Infante Ramírez et al. (2014), cuando se consideran los valores locales, las necesidades sociales, económicas y ambientales de una comunidad pueden ser mejor identificadas y adaptadas al diseño de políticas públicas. Para Reyes-Arroyo et al. (2021) se debe escuchar a los habitantes locales para incluir su visión y sus necesidades y con esto que los pobladores se “apropien” de su costa y mar y apoyen al éxito de proyectos de conservación y manejo. Cortés-Gómez et al. (2023) diseñaron la figura 15.5 con la interrelación de los conceptos clave del valor y las percepciones socioculturales hacia un manejo sostenible en zonas costeras.

Figura 15.5. La interrelación del valor, las percepciones socioculturales y el manejo sostenible en zonas costeras



Fuente: Cortés-Gómez et al. (2023).

Análisis transdisciplinario de los SES

De acuerdo con Baumann et al. (2023), los sistemas costeros están menos claramente delineados, con una interfaz tanto con ambientes marinos y terrestres, son inherentemente dinámicos, son más propensos a experimentar impactos del cambio climático y de las presiones antropogénicas y frecuentemente tienen sobrelapamientos en sus fronteras y conflictos legales y políticos. Es por esto que estos autores consideran que las costas deben

ser estudiadas desde la transdisciplinariedad. Por ejemplo, el “Marco Transformador” desarrollado por Wiek y Lang (2016) que consiste en cuatro fases y actúa como una guía metodológica para la investigación de la sostenibilidad transformativa. Puede ser utilizado para desarrollar respuestas a retos de sostenibilidad, así como para transformar el sistema actual en la dirección de la sostenibilidad. El marco está diseñado para la investigación de la sostenibilidad transformativa utilizando métodos transdisciplinarios y por eso difiere de la investigación descriptiva-analítica, la cual analiza y describe problemas de sostenibilidad.

Por su parte, Muiderman et al. (2020) desarrolló un marco que representa cuatro enfoques típicos/ideales para la gobernanza anticipatoria. Este marco puede ayudar a clasificar enfoques anticipatorios de acuerdo con su “conceptualización del futuro”, “implicaciones para el presente” y “objetivos últimos a ser realizados”. En el primer enfoque, la investigación quiere evaluar los futuros probables e improbables con un enfoque en la planeación estratégica en el presente para reducir riesgos futuros. En el segundo enfoque, múltiples futuros plausibles se visualizan, apuntando al mejoramiento de la preparación y el fortalecimiento de capacidades para navegar una variedad de futuros (inciertos). El tercer enfoque se concentra en futuros diversos y pluralistas y a movilizar actores sociales para cocrear esos futuros deseables. En este enfoque, los futuros son contruidos socialmente y comprendiendo la plausibilidad son entonces subjetivos como diferentes personas puedan percibir futuros diferentes para ser más o menos creíbles. El cuarto enfoque conceptualiza los futuros performativos interrogando el poder performativo y las políticas de compromiso con los futuros imaginarios para subrayar cómo estos efectos performativos tienen implicaciones políticas en las decisiones del presente y en las trayectorias de la gobernanza en general.

Efectos del cambio climático en los SES pesqueros

Definido como “Aquello que sigue por virtud de una causa”, el efecto de un evento como el cambio climático en las SES pesqueros capta el interés a nivel internacional sobre los impactos que se generan en los diferentes sectores de

la sociedad, incluyendo aquellas comunidades dependientes de la pesca (Colburn et al. 2016). En términos de SES pesqueros, autores como Bennett et al. (2016) sugieren la necesidad de explorar múltiples exposiciones, un marco conceptual claro con la finalidad de facilitar el análisis de vulnerabilidad y adaptación a múltiples interacciones socioeconómicas y biofísicas. Previamente hemos señalado que la resiliencia, vulnerabilidad y capacidad adaptativa son tres conceptos clave aplicados para comprender cómo los SES responden al cambio (Gallopín, 2006; Kaplan-Hallam et al., 2017), lo cual ha sido abordado en diferentes estudios en cuanto a los impactos que se generarán de manera directa e indirecta.

De manera *directa*, las tormentas, el clima y el aumento del nivel del mar son considerados los impactos más críticos para SES pesqueros (Field et al., 2014). Sin embargo, los impactos indirectos (e.g. cambios en la temperatura del océano y la acidificación) y cómo estos se vinculan a los cambios en la disponibilidad de poblaciones de recursos marinos siguen siendo en muchos casos una incógnita (Pinsky et al., 2014). Dicho lo anterior, uno de los objetivos al comprender los *factores indirectos* de cambio climático es el desarrollo de estrategias de gestión adaptativa que mejoren la resiliencia de las comunidades pesqueras costeras (Morzaria et al., 2014).

La relevancia de la generación de estrategias de gestión adaptativa en SES pesquero está directamente relacionado con la importancia de la actividad que se desarrolla como es la pesca. Ejemplo de lo anterior es México, donde se tiene registrado aproximadamente 74 000 embarcaciones (85 % de los pescadores nacionales) operando cerca de la costa, siendo el 65 % de la captura destinada para el consumo humano directo (Fernández et al., 2011; EDF, 2019). Considerada como una actividad crucial, al aportar servicios y bienes en los países en desarrollo y desarrollados (Ramos-Miranda et al., 2021), debido a la generación de empleos directos e indirectos y, por aportar seguridad alimentaria del país (FAO, 2016, 2018). Sin embargo, al igual que en otras regiones, los registros de captura señalan un descenso en la abundancia de ciertos recursos marinos y entre los factores que se señala está el cambio climático (Crespo et al., 2019; Salas et al., 2022; Peña et al., 2021).

Las consecuencias de los *efectos* (específicamente indirectos) del cambio climático en SES pesqueros son y serán considerables, pero, en ocasiones pueden ser negativos y en otras positivos. Evidencia de lo anterior son los

cambios en la temperatura superficial registrados en las costas del sureste del golfo de México (Torres-Rojas et al., 2017), donde la temperatura presentó una tendencia creciente durante los veinte últimos años (tabla 15.4). De igual manera, en el caso de la salinidad se registró una mayor variación respecto de los valores mínimos y máximos registrados, lo cual indicaría cambios en los aportes de agua marina y de ríos en SES costeros, tal y como lo plantean Fichez et al. (2017), donde dos factores que se plantean como responsables son el cambio climático e impactos antrópicos.

Tabla 15.4. *Análisis comparativo de temperatura y salinidad superficial en el periodo 2006-2016 en las tres épocas del año en Laguna de Términos de acuerdo con Torres-Rojas et al. (2017).*

Estudio	Secas		Lluvias		Nortes	
	Temperatura	Salinidad	Temperatura	Salinidad	Temperatura	Salinidad
Torres-Rojas et al. (2016)	28-30	25-35	30-32	25-35	27-30	25-35
Ramos-Miranda et al. (2006)	27-28	24-33	28-29	28-33	25-28	19-22

Nota: (secas = febrero a mayo; lluvias = junio a septiembre; nortes = octubre a enero).

Fuente: elaboración propia.

Lo anterior tuvo repercusión en el número de especies registradas en la región, ya que al ser especies marinas móviles con afinidad a ciertas ventanas ambientales su distribución dependerá de las condiciones favorables abandonando hábitats ahora desfavorables, pero también colonizando nuevos hábitats, tal y como se registró en el estudio de Torres-Rojas et al. (2017) donde en tan solo diez años se registró una disminución de 107 a 91 especies, pero que además algunas de las especies de importancia comercial se desplazaron a otras zonas dentro de una misma microrregión (Irola-Sansores et al., 2021).

Este comportamiento de desplazamiento ha sido registrado en otras especies de importancia pesquera presentes en el Océano Pacífico (Torres-Rojas et al., 2014), donde se asocian sus desplazamientos con la ocurrencia de eventos de El Niño (aguas cálidas) (Lluch-Belda et al., 2005). Hubbs (1948) y Wooster (1980) informaron la presencia de especies de peces tropicales (p. ej., Caballa del Pacífico, *Scomber japonicus*) frente a las costas de California en relación con un evento Niño, dejando en evidencia que los

cambios latitudinales de fauna aparentemente están relacionados a eventos de calentamiento.

Algunas especies sufrirán con eventos de calentamiento reflejándose en pérdida de tamaño de ejemplares (tabla 15.5), pero otras encontrarán su momento ideal para crecer. En el primer caso, la pesquería del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el centro del golfo de California colapsó en 1998 (Actualización de la Carta Nacional Pesquera 2010) después de la crisis de El Niño 1997–1998 (Markaida et al., 2008), presentando otra tendencia decreciente entre 2003 y 2006 también relacionado con otro evento Niño. Nevarez-Martinez et al. (2010) identificaron un patrón en la variabilidad del reclutamiento del calamar gigante en relación con la variabilidad ambiental: aguas más cálidas causadas por las condiciones de El Niño en la corriente de California coincidieron con “reclutamiento bajo”, mientras que aguas más frías (identificadas como mar negativo anomalías de la temperatura de la superficie) causadas por las condiciones de La Niña estaba relacionados con un “alto reclutamiento”, por lo que la producción pesquera del calamar gigante se verá afectada ante fenómenos cálidos.

Tabla 15.5. Efectos del aumento de temperatura en las tallas mínimas y máximas de algunas especies de peces marinos

Especie	Talla (cm)		Referencia
	Mínima	Máxima	
<i>Bairdiella chrysoura</i>	2.8	18.0	Torres-Rojas et al. (2016)
	1.8	27.0	Ramos-Miranda et al. (2006)
<i>Stellifer lanceolatus</i>	2.0	8.0	
	2.9	19.0	
<i>Eugerres plumieri</i>	18.1	20.9	
	4.3	30.2	

Fuente: elaboración propia.

En el segundo caso, existen algunos recursos pesqueros que se verán favorecidos, como son los euritérico. Uno de ellos reconocido como un recurso potencial es la langostilla (*Pleuroncodes planipes*), la cual es un crustáceo con una alta tolerancia a cambios en la temperatura del agua, y actualmente en la región han realizado todo un sistema de mercado para su utilización y aprovechamiento, sin embargo, cuando consideramos que

podemos avanzar surge el otro impacto indirecto como es la acidificación del océano, considerado como un fenómeno químico consecuencia de la absorción de dióxido de carbono, teniendo una afectación en la fisiología de los organismos, sobre todo aquellos que producen esqueletos calcáreos, como pueden ser los crustáceos, sin embargo, los recursos marinos han demostrado tener una capacidad de adaptación ante los cambios, pero que es innegable que a la vez pueden ser afectados de forma diferente.

Al respecto, la fisiología de los organismos responde a los cambios ambientales donde algunos presentarán una mayor capacidad de adaptabilidad en el medio (Carrillo-Birkhahn et al., 2023) presentando un crecimiento exponencial en sus poblaciones, mientras otros se desplazarán a otras regiones buscando sus ventanas ambientales óptimas. En este contexto, todo dependerá del enfoque y aprovechamiento que queramos de los efectos del cambio climático en las SES pesqueros, es decir, los océanos cambiarán y las consecuencias de estos cambios son múltiples donde las instituciones de gestión, los mecanismos y los actores del sector pesquero necesitarán adaptarse. Aquellos recursos que antes estaban a disposición, si se desea obtenerlos se tendrá que viajar más a consecuencia del desplazamiento, mientras otros que antes no eran de interés comercial, pero que actualmente presentan una alta abundancia, es indudable que tenemos que buscar resiliencia y capacidad adaptativa ante la generación de nuevos mercados para comercializarlos, ya que el impacto del cambio que hemos generado en los océanos durará decenas de años.

Discusión y conclusiones

Cuando estudiamos las interacciones entre los humanos-ambiente desde el pasado remoto de la historia de la humanidad que sobrepasan la duración de vida de un individuo, se puede comprender del todo los procesos e implicaciones involucradas. La comprensión de esas interacciones también es requerida para predecir de manera acertada el cambio del ambiente a futuro, lo cual es vital para conformar políticas ambientales e intervenciones de manejo (Hegmon, 2017). El estudio de las interacciones humano-ambiente por escalas de tiempo largas provee una serie de oportunidades para las

investigaciones sobre el Antropoceno y conceptos relacionados como los sociobiomas (Waters et al., 2016; Ellis et al., 2018; Edgeworth, 2021; Boivin y Crowther, 2021) que han provisto de mayor interés para reexaminar las dinámicas socioecológicas de largo plazo (Silva et al., 2022).

El estudio de los SES no debería limitarse únicamente a comprender por qué ante el cambio ambiental una sociedad colapsa mientras que otra sociedad sobrevive, sino que se debería también identificar y comprender las dinámicas subyacentes de largo plazo que pueden estar escondidas en estudios de corta duración. Para Silva et al. (2022), la meta eventual de este enfoque es el comprender qué combinaciones e interacciones de factores sociales y ambientales llevan a la adaptación, resiliencia, al cambio o a la extinción en las comunidades humanas y los ecosistemas con los que están asociados. Esto nos permite realmente comprender las dinámicas que se llevan a cabo en el presente y entonces utilizar este conocimiento para diseñar herramientas apropiadas para enfrentar el futuro, éstas también con una visión de largo plazo.

Para estos autores, el desarrollo de esta comprensión general requiere la integración y síntesis de datos de casos de estudio que provengan de fuentes y disciplinas múltiples. Ciertamente, diferentes elementos del mundo (plantas, animales, procesos ecosistémicos, etc.) son reconocidos por tener diferentes características y tratos y por eso juegan papeles diferentes en la dinámica general de los ecosistemas. De manera sobreestimada, los humanos han sido vistos como íntimamente ligados al ambiente (Bird y Nimmo, 2018; Crabtree et al., 2019). Por esto es que Silva et al. (2022) sugieren que esta perspectiva es fundamental para desarrollar el trabajo con los SES. Para poder estudiarlos se necesita un enfoque transdisciplinario que permita la integración de tendencias teóricas clave a través del espectro de las ciencias sociales y ambientales (Crumley et al., 2015). Sin embargo, para Silva et al. (2022) provee datos valiosos sobre cómo las organizaciones sociales humanas se relacionan con los impactos antropogénicos en los ecosistemas y cómo las instancias de gobierno deben ser integradas en el SES. Por ejemplo, diferentes estructuras familiares, estrategias reproductivas y sistemas económicos y culturales afectarán el modo y escala de los impactos en el ambiente y potencialmente la resiliencia de la sociedad a las perturbaciones en un sistema amplio (Hammel, 2015).

De forma tradicional, los diferentes componentes del SES han sido estudiados por distintas disciplinas. Sin embargo, la creciente crisis climática y de biodiversidad han provisto las bases para tener una visión más holística, de forma que se puedan entender las preguntas críticas como, por ejemplo: (a) cómo las perturbaciones a un elemento del sistema afecta otros elementos, (b) cómo el sistema como un todo los elementos individuales han cambiado en el tiempo y (c) qué clase de cambios pueden llegar a ocurrir en el futuro. Es claro que no es posible comprender completamente un SES sin la cooperación transdisciplinaria (Silva et al., 2022).

La investigación transdisciplinar implica también comprender la naturaleza y calidad de los datos de cada disciplina. Esto es verdaderamente difícil y por esto se necesita colaboración. También se deben formalizar y compartir protocolos para la manipulación de datos, de forma que se tenga en consideración las incertidumbres inherentes de los diferentes grupos de datos y sus límites y potenciales efectivos, de manera que se prevenga el reproducir y amplificar el “ruido” (Zurell et al., 2020).

El hacer investigación transdisciplinar establece retos particularmente en la colaboración entre las ciencias ambientales y las humanísticas o entre enfoques cualitativos y cuantitativos. Frecuentemente una discordancia en las expectativas y la falta de comprensión o asunción de las perspectivas teóricas y metodológicas de cada uno puede evitar intentos de colaboración (Silva et al., 2022).

Bails et al. (2020) hacen una revisión sobre los riesgos y amenazas que estarán sufriendo las zonas costeras en los años por venir debido a efectos del cambio climático. Las medidas de adaptación pretenden limitar los impactos negativos del cambio climático sobre las comunidades humanas; sin embargo, hay un reconocimiento cada vez más grande de que la adaptación al cambio climático y la reducción al riesgo de desastres son convergentes para la mayoría de los riesgos y que están incrementalmente interrelacionados (Solecki et al., 2011). Por su parte, Birkman y von Teichman (2010) consideran que es necesaria la cooperación sistemática entre proyectos para la adaptación al cambio climático y la disminución del riesgo a desastres, pero los dos campos no trabajan juntos fácilmente.

A pesar del gran número de planes de adaptación diseñados, todavía hay muy poca implementación en las costas (Bails et al., 2020). La reducción

del riesgo a desastres y las medidas de adaptación son para aplicarse a las sociedades. La adaptación puede aplicarse en dos diferentes niveles: para reducir la vulnerabilidad de los bienes y personas o para reducir los niveles de peligrosidad (Allen et al., 2018). Las incertidumbres en las proyecciones de todas las variables del clima (i.e. temperatura, precipitación y aumento del nivel del mar) no deben esperar a que decrezcan significativamente en los próximos años. Muchas preguntas permanecen acerca de cómo la adaptación debe ser entendida y puesta en práctica en este contexto de alta incertidumbre (Bails et al., 2020).

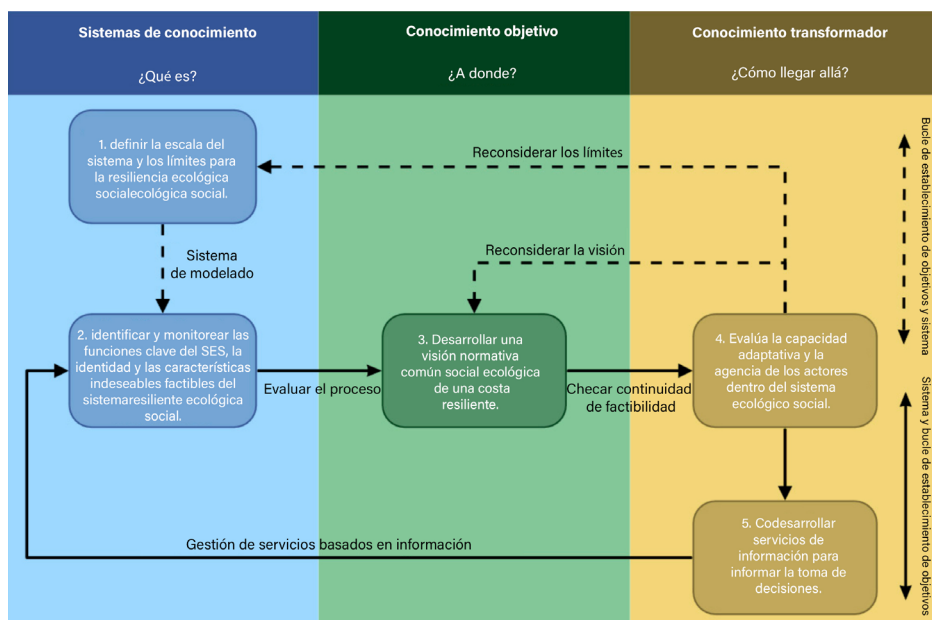
Por otra parte, Jones et al. (2014) muestra que los estudios sobre adaptación al cambio climático y las evaluaciones de impactos necesitan ser conducidas juntas. Las evaluaciones de las medidas para la adaptación costera al cambio climático involucran siete pasos principales (Bails et al., 2020): El primero es producir un inventario de medidas para la adaptación costera al cambio climático enfocándose en los peligros costeros. El segundo es clasificar esas medidas en dos tipologías combinando las categorías principales (familias) de medidas de adaptación y los enfoques de manejo existentes. Estas dos tipologías se usan entonces para clasificar las medidas de adaptación identificadas (paso 3). El paso cuatro es la evaluación relevante de criterios que son identificados y seleccionados de forma separada. Cada medida de adaptación es evaluada contra los criterios diferentes (paso 5). Los últimos pasos involucran un análisis de resultados obtenido para cada medida de adaptación con respecto al criterio anterior (paso 6), y la identificación de las medidas de adaptación más eficientes usando un análisis multi-criterio (paso 7).

Bails et al. (2020) revisaron 51 medidas de adaptación que se han implementado en alguna costa. Y en todas, además de las incertidumbres, se tienen preocupaciones sobre las respuestas del sistema climático, debido a su complejidad y a sus efectos de retroalimentación que son todavía difíciles de modelar. Estos autores consideran que se deben llevar a cabo estudios prospectivos socioeconómicos, ya que cambios simultáneos ocurren cambios sociales que están entre los componentes principales de la adaptación. Un estudio prospectivo de este tipo en un SES es crucial para explorar futuros posibles al construir diferentes escenarios cuantitativos y cualitativos para

anticipar los cambios futuros en áreas de vulnerabilidad y poder tomar decisiones informadas.

Por último, Rölfer et al. (2022) propone alcanzar la resiliencia socioecológica a través de la gobernanza costera. Estos autores postulan que la transdisciplina es necesaria para analizar un SES y que se requiere conocimiento de los actores y de los sistemas de gobernanza, así como la facilitación para el intercambio de conocimientos entre actores. Esto apunta a varios tipos de conocimientos que deben ser considerados en los debates de resiliencia en las comunidades costeras. Estos autores proponen el uso de tres tipos de conocimiento como una tipología. Ésta incluye el “conocimiento de sistemas” (¿qué es?), el “conocimiento objetivo” (¿hacia dónde?), el “conocimiento transformativo” (¿cómo llegó allí?). Este último involucra aspectos como la visión de futuro y las metas a alcanzar, así como las rutas y trayectorias para lograr esas visiones y metas (figura 15.6).

Figura 15.6. Resiliencia socioecológica en SES costeros basados en conocimiento de sistemas, metas y transformativo. El orden de los pasos está indicado por números y ciclos iterativos de aprendizaje están indicados por líneas continuas y punteadas



Fuente: Rölfer et al. (2022).

Los pasos 1 y 2 contribuyen al sistema de conocimiento, mientras que el paso 3 al de conocimiento objetivo. Para implementar y fortalecer el conocimiento transformativo en los SES costeros, se deben considerar dos mecanismos clave incluyendo la capacidad adaptativa y el gobierno local (paso 4), además de la información científica para la toma de decisiones informada (paso 5). Consecuentemente, los actores locales y los servicios de información deben ser integrados dentro de todos los pasos para promover el intercambio en ambas vías entre ciencia y sociedad y diseñar soluciones que aborden las necesidades de los actores locales (figura 15.7; Rölfer et al., 2022).

Figura 15.7. *Identificación de escalas clave y fronteras en sistemas socioecológicos costeros a través de los cuales la resiliencia ha sido manejada*



Nota: la escala espacial incluye tanto la interfaz tierra-oceano, como las conexiones entre los SES a lo largo de diferentes escalas espaciales. Se presentan diferentes enfoques de manejo del área costera como La Planeación Espacial Marina (MSP) Manejo Integrado de la Zona Costera (ICZM), y las Áreas Marinas Protegidas (MPA) son aplicadas dentro de diferentes extensiones espaciales y en diferentes niveles administrativos (local, nacional, supranacional). Adicionalmente, la Planeación para la Adaptación al Clima (CAP) es de relevancia para la gobernanza costera a nivel local. La escala temporal es dependiente de las características del sistema y metas y puede variar entre planeaciones de corto y largo plazos. Vinculado a la escala temporal está la escala de cambio, la cual es caracterizada por una navegación entre la estabilización y la transformación.

Fuente: Rölfer et al. (2022).

El cambio climático y otros estresores ambientales imponen peligros serios a los ecosistemas y comunidades costeras y marinas que dependen de ellos. El concepto de resiliencia facilita un enfoque holístico para el manejo costero flexible y adaptativo, pero la operacionalización a nivel local permanece como un reto. Los investigadores todavía necesitamos desarrollar un mejor entendimiento de lo que constituye la resiliencia de un SES en un contexto en particular. El enfoque transdisciplinar provee de un marco apropiado para integrar la dimensión humana y su instancia de gobierno local para manejar el sistema socioecológico hacia un estado de sistema que sea deseable tanto para humanos como para las costas.

Referencias

- Allen, M. R., Dube, O. P., Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., Kainuma, M., Kala, J., Mahowald, N., Mulugetta, Y., Perez, R., Wairiu, M. y Zickfeld, K. (2018). Framing and context. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Portner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Pean, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (Eds.), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*. Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).
- Anderson, C. M., Krigbaum, M., Arostegui, M., Feddern, M., y Zachary, J. (2018). How commercial fishing effort is managed. *Fish and Fisheries*, 25. <https://doi.org/10.1111/faf.12339>
- Axelrod, R., y Cohen M. D. (1999). *Harnessing complexity: Organizational implications of a scientific frontier*. Nueva York: The Free Press.
- Baills, A., Garcin, M., y Bulteau, T. (2020). Assessment of selected climate change adaptation measures for coastal areas. *Ocean and Coastal Management*, 185, 105059, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105059>
- Baumanna, L., Riechers, M., Celliers, L., y Ferse, S. C. A. (2023). Anticipating and transforming futures: a literature review on transdisciplinary coastal research in the Global South. *Ecosystems and People*, 19(1), 2288957, <https://doi.org/10.1080/26395916.2023.2288957>
- Basurto, X., Gelcich, S., y Ostrom, E. (2013). The social-ecological system framework as a knowledge classificatory system for benthic small-scale fisheries. *Global Environmental Change*, 23(6), 1366–1380. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.08.001>

- Benham, C. F., y Daniell, K. A. (2016). Putting transdisciplinary research into practice: A participatory approach to understanding change in coastal social-ecological systems. *Ocean Coast. Manag.* 128, 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.04.005>
- Bennett N. J., Blythe J., Tyler S., y Ban N. C. (2016). Communities and change in the anthropocene: understanding social-ecological vulnerability and planning adaptations to multiple interacting exposures. *Regional Environmental Change*, 16, 907–926. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0839-5>
- Berkes, F. (2017). Environmental governance for the anthropocene? social-ecological systems, resilience, and collaborative learning. *Sustainability*, 9(7), 1232. <https://doi.org/10.3390/su9071232>
- Berkes, F., Mahon, R., McConney, P., Pollnac, R., y Pomeroy, R. (2001). *Managing Small-scale Fisheries: Alternative directions and methods*. International Development Research Centre.
- Bird, R. B., y Nimmo, D. (2018). Restore the lost ecological functions of people. *Nature Ecology & Evolution*, 2, 1050–1052. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0576-5>
- Birkmann, J., y von Teichman, K. (2010). Integrating disaster risk reduction and climate change adaptation: key challenges-scales, knowledge, and norms. *Sustainability Science*, 5, 171–184. <https://doi.org/10.1007/s11625-010-0108-y>
- Boivin, N., y Crowther, A. (2021). Mobilizing the past to shape a better anthropocene. *Nature Ecology & Evolution*, 5, 273–284. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01361-4>
- Bojórquez-Tapia L.A, Escurra E., y García, O. (1998). Appraisal of environmental impacts and mitigation measures through mathematical matrices. *Journal of Environmental Management*, 53(1), 91-99. <https://doi.org/10.1006/jema.1998.0191>
- Bojórquez-Tapia, L. A. (1989). Methodology for prediction of ecological impacts under real conditions in Mexico. *Environmental Management*, 13(5), 545-551. <https://doi.org/10.1007/BF01874960>
- Broderstad, E. G., y Eythórsson, E. (2014). Resilient communities? Collapse and recovery of a social-ecological system in Arctic Norway. *Ecology and Society*, 19(3), 1. <https://doi.org/10.5751/ES-06533-190301>
- Burden, A., Smeaton, C., Angus, S., Garbutt, A., Jones, L., Lewis H. D. y Rees, S. M. (2020). Impacts of climate change on coastal habitats relevant to the coastal and marine environment around the UK. *Marine Climate Change Impacts Partnership Science Review*, 228-255. <https://doi.org/10.14465/2020.arc11.chb>
- Burkhard, B., y Maes, J. (2017). *Mapping ecosystem services*. Bulgaria: Pensoft Publishers.
- Camacho-Valdez, V., Morales-Barragán, F. Torres-Irineo, E., y Sáenz-Arroyo, A. (2020). Interacciones a diferentes escalas espaciotemporales en socioecosistemas costeros. En V. S. Ávila Foucat e I. Espejel (Coords.), *Resiliencia de socioecosistemas costeros* (pp. 119-133). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Carta de la transdisciplinariedad. (1994). *Convento de Arrábida; carta de la transdisciplinariedad; noviembre 1994*. <http://www.filosofia.org/cod/c1994tra.htm>
- Carrillo-Birkhahn J. A., Torres-Rojas, Y. E., Aguiñiga-García, S., y Sánchez-González, A. (2023). Cambios ambientales en una laguna costera tropical: un enfoque de $\delta^{18}O$ y

- $\delta^{13}\text{C}$ en una especie residente. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, e944201. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.4201>
- Cerón-Hernández, V. A., Fernández-Vargas, G., Figueroa A., y Restrepo, I. (2019). El enfoque de sistemas socioecológicos en las ciencias ambientales. *Investigación y Desarrollo*, 27(2), 85-109.
- Christie, P., Fluharty, D. L., White, A.T., Eisma-Osorio, L., y Jatulan, W. (2007). Assessing the feasibility of ecosystem-based fisheries management in tropical contexts. *Marine Policy*, 31(3), 239-250. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2006.08.001>
- Cicin-Sain, B. y Belfiore, S. (2005). Linking marine protected areas to integrated coastal and ocean management: a review of theory and practice. *Ocean & Coastal Management*, 48(11-12), 847-868, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2006.01.001>
- Colburn, L. L., Jepson M., Weng, Ch., Seara, T., Weiss, J. y Hare, J. A. (2016). Indicators of climate change and social vulnerability in fishing dependent communities along the Eastern and Gulf Coasts of the United States. *Marine Policy*, 74, 323-333. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2016.04.030>
- Collins M., Sutherland, M., Bouwer, L., Cheong, S. M., Frölicher, T., Jacot Des Combes, H., Koll Roxy, M., Losada, I., McInnes, K. Ratter, B., Rivera-Arriaga, E., Susanto, R. D., Swingedouw, D. y Tibig, L. (2019), Extremes, abrupt changes and managing risk. En H.O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama y N.M. Weyer (Eds.). *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate* (pp. 589-655). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.008>.
- Comisión Nacional de Emergencias (CNE). (s. f.) *Cap. III. Fenómenos atmosféricos y cambio climático*, Gob. Costa Rica, CEDO-CRID. <https://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/pdf/spa/doc231/doc231-3.pdf>
- CONANP. (2024). ¿Qué hacemos? CONANP. <https://www.gob.mx/conanp/que-hacemos>
- Cooley, S., Schoeman, D., Bopp, L., Boyd, P., Donner, S., Ghebrehiwet, D. Y., Ito, S. I., Kiessling, W., Martinetto, P., Ojea, E., Racault, M.F., Rost, B., y Skern-Mauritzen, M. (2022). Oceans and coastal ecosystems and their services. En H.O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem y B. Rama (Eds.), *Climate change: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 379-550). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.005>
- Cortés-Gómez, C., Cervantes-Martínez, A., y Arce-Ibarra, A. . (2023). Valoración sociocultural de los servicios ecosistémicos de la zona costera del Caribe mexicano, *Economía, Sociedad y Territorio*, 23(73), 961-990. <http://dx.doi.org/10.22136/est20231956>
- Cortner, H. J., Wallace, M. G., Burke, S., y Moote M. A. (1998). Institutions matter: the need to address the institutional challenges of ecosystem management. *Landscape and Urban Planning*, 40(1-3), 159-166. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(97\)00108-4](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(97)00108-4)
- Costanza, R. (2014). A theory of socioecological system change. *Journal of Bioeconomics*, 16(1), 39-44. <https://doi.org/10.1007/s10818-013-9165-5>

- Crabtree, S. A., Bird, D. W., y Bird, R. B. (2019). Subsistence transitions and the simplification of ecological networks in the western desert of Australia. *Human Ecology*, 47, 165-177. <https://doi.org/10.1007/s10745-019-0053-z>
- Crespo, J. M., Jiménez, A., y Nava, J. D. (2019). Tensiones y conflictos territoriales en la pesca ribereña del Estado de Campeche, México (2013–2018). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 82, 2764. <https://doi.org/10.21138/bage.2764>
- Crumley, C., Laparidou, S., Ramsey, M., y Rosen, A. M. (2015). A view from the past to the future: Concluding remarks on the 'The Anthropocene in the Longue Durée'. *Holocene*, 25(10), 1721-1723. <https://doi.org/10.1177/095968361559447>
- Diario oficial de la Federación. (2 de diciembre de 2010). Actualización de la Carta Nacional Pesquera [Revision of the National Fisheries Chart]. México.
- Doney, S. C., Busch, D. S., Cooley, S. R., y Kroeker, K. J. (2020). The impacts of ocean acidification on marine ecosystems and reliant human communities. *Annual Review of Environment and Resources*, 45, 83-112. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-083019>
- EDF-Inteligencia Pública de México. (2019). Impacto Social de la Pesca Ribereña en México: Propuestas para impulsar el bienestar social en el sector pesquero. Ciudad de México: EDF de México.
- Edgeworth, M. (2021). Transgressing time: archaeological evidence in/of the anthropocene. *Annual Review Anthropology*, 50, 93-108. <https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-101819-110118>
- Eger, S. L., de Loë, R. C., Pittman, J., Epstein, G., y Courtenay S. C. (2021). A systematic review of integrated coastal and marine management progress reveals core governance characteristics for successful implementation. *Marine Policy*, 132, 104688, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104688>
- Ehler, C. N. (2003). Indicators to measure governance performance in integrated coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 46(3-4), 335-345, [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(03\)00020-6](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(03)00020-6)
- Ellis, E.C., Magliocca, N. R., Stevens, C. J., y Fuller, D. Q. (2018). Evolving the anthropocene: Linking multi-level selection with long-term social-ecological change. *Sustainability Science*, 13(1), 119-128. <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0513-6>
- Elsawah, S., Filatova, T., Jakeman, A. J., Kettner, A. J., Zellner, M. L., Athanasiadis, I. N., Hamilton, S. H., Axtell, R. L., Brown, D. G., Gilligan, J. M., Janssen, M. A., Robinson, D. T., Rozenberg, J., Ullah, I. I. T., y Lade, S. J. (2020). Eight grand challenges in socio-environmental systems modeling. *Socio-Environmental Systems Modelling*, 2, 16226. <https://doi.org/10.18174/sesmo.2020a16226>
- Espinoza-Tenorio, A., Espejel, I., Wolff, M., y Zepeda-Domínguez, J. A. (2011). Contextual factors influencing sustainable fisheries in Mexico. *Marine Policy*, 35(3), 343-350. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2010.10.014>
- Espinoza-Tenorio, A., Wolff, M., Espejel, I., y Montaña-Moctezuma, G. (2013). Using traditional ecological knowledge to improve holistic fisheries management: transdisciplinary modeling of a lagoon ecosystem of Southern Mexico. *Ecology & Society*, 18(2), 6. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05369-180206>

- Essington, T. E., y Punt, A. E. (2011). Implementing ecosystem-based fisheries management: Advances, challenges and emerging tools. *Fish and Fisheries*, 12, 123–124. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2011.00407.x>
- FAO. (2015). *Enfoque ecosistémico pesquero. Conceptos fundamentales y su aplicación en pesquerías de pequeña escala de América Latina, por Omar Defeo*. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura No. 592.
- (2016). *Contribución de la pesca artesanal a la seguridad alimentaria, el empleo rural y el ingreso familiar en países de América del Sur*. Santiago de Chile: Oficial Superior de Pesca y Acuicultura de la Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fernández J. I., Álvarez P., Arreguín. F., López, L.G., Ponce G., Díaz de León A., Arcos E., y del Monte, P. (2011). Coastal fisheries of Mexico. En S. Salas, R. Chuenpagdee, A. Charles y J. C. Seijo (Eds.). *Coastal fisheries of Latin America and the Caribbean* (pp. 231-284). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fichez, R., Archundia, D., Grenz, C., Douillet, P., Gutiérrez, F., Origel-Moreno, M., Denis, L., Contreras Ruiz-Esparza, A., y Zavala-Hidalgo, J. (2016). Global climate change and local watershed management as potential drivers of salinity variation in a tropical coastal lagoon (Laguna de Terminos, Mexico). *Aquatic Sciences*, 79, 219–230. <https://doi.org/10.1007/s00027-016-0492-1>
- Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R., y White, L. L. (2014). *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability part A: global and sectoral aspects working group II contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Nueva York: Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Flores-Hernández, D., Markaida, U., Pérez-Jiménez, J. C., y Ramos-Miranda, J. (2010). Las pesquerías. En G. Villalobos-Zapata y J. Mendoza-Vega. (Eds.), *La biodiversidad en Campeche: estudio de estado* (pp. 520-535). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. México.
- Gallopin, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Glob. Environ. Change*, 16, 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>
- Gibson, C. C., Ostrom E., y Ahn T. K. (2000). The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey. *Ecological Economics*, 32(2), 217-239. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00092-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00092-0)
- Glaser, M., y Gleaser B. (2014). Towards a framework for cross-scale and multi-level analysis of coastal and marine social-ecological systems dynamics. *Regional Environmental Change*, 14, 2039-2052. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0637-5>
- Gladstone-Gallagher, R. V., Hope, J. A., Bulmer, R. H., Clark, D. E., Stephenson, F., Mangán, S., Rullens, V., Siwická, E., Thomas, S.F., Pilditch, C. A., Savage, C., y Thrush, S. F.

- (2019). Old tools, new ways of using them: harnessing expert opinions to plan for surprise in marine socio-ecological systems. *Frontiers in Marine Science*, 6, 696. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00696>
- Glavovic, B. C., Dawson, R., Chow, W., Garschagen, M., Haasnoot, M., Singh, C., y Thomas, A. (2022). Cross-chapter paper 2: cities and settlements by the sea. En H. O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem y B. Rama (Eds.), *Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 2163-2194). Nueva York: Cambridge University Press, Cambridge, Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.019>
- Guillotreau, P., Trouillet, B., Mahévas, S., y Pardo S. (2020). Addressing transdisciplinary and participation issues to cope with rapid changes shifting marine social ecological systems. *Marine Policy*, 117, 103929. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103929>
- Gutiérrez, N. L., Hilborn, R., y Defeo, O. (2011). Leadership, social capital and incentives promote successful fisheries. *Nature*, 470, 386-389. <https://doi.org/10.1038/nature09689>
- Hammel, E. A. (2015). Chayanov revisited: a model for the economics of complex kin units. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(19), 7043-7046. <https://doi.org/10.1073/pnas.0501987102>
- Hegmon, M. (2017) *The give and take of sustainability: archaeological and anthropological perspectives on tradeoffs*. Cambridge University Press.
- Hernández-López, M. G. (2023). Enfoques interdisciplinarios y transdisciplinarios para el fortalecimiento de las territorialidades costeras en Centroamérica. *Revista de Extensión Universidad en Diálogo*, 13(1), 215-248. <https://doi.org/10.15359/udre.13-1.8>
- Hilborn, R. (2011). Future directions in ecosystem based fisheries management: a personal perspective. *Fisheries Research*, 108, 235-239. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2010.12.030>
- Hilborn, R., Amoroso, R. O., Anderson, C. M., Baum, J. K., Branch, T. A., Costello, C., de Moor, C. L., Faraj, A., Hively, D., Jensen, O. P., Kurota, H., Little, L. R., Mace, P., McClanahan, T., Melnychuk, M. C., Minto, C., Osio, G. C., Parma, A. M., Pons, M., Segurado, S., Szuwalski, C. S., Wilson, J. R., y Ye, Y. (2019). Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(4), 2218-2224. <https://doi.org/10.1073/pnas.1909726116>
- Hilborn, R., Fulton, E. A., Green, B. S., Hartmann, K., Tracey, S. R., y Watson, R. A. (2015). When is a fishery sustainable? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 72, 1433-1441. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2015-0062>
- Hossain, M. S., y Szabo S. (2017). Understanding the social-ecological system of wetlands. En B. Prusty, C. Anjan Kumar, C. Rachna, y P.A. Azeez (Eds.), *Wetland science: perspectives from south Asia* (pp. 285-301). New Delhi: Springer India.
- Huang, M., Ding, L., Wang, J., Ding, C., y Tao, J. (2021). The impacts of climate change on fish growth: a summary of conducted studies and current knowledge. *Ecological Indicators*, 121, 106976. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106976>

- Hubbs, C. L. (1948). Changes in the fish fauna of western North America correlated with changes in ocean temperature. *Journal of Marine Research*, 7, 459-482.
- Infante-Ramírez, K., Arce-Ibarra, A., y Bello-Baltazar, E. (2014). Valoración no monetaria de unidades de paisaje en la zona maya de Quintana Roo, México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 14(45), 309-357. <https://doi.org/10.22136/est002014378>
- INEGI. (2011). *Compendio de información geográfica municipal 2010, Carmen, Campeche*. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=070000040003#collapse-Resumen>
- (2011). *Compendio de información geográfica municipal 2010, Champotón, Campeche*. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=070000040004#collapse-Resumen>
- (2011). *Compendio de información geográfica municipal 2010, Campeche, Campeche*. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=070000040002#collapse-Resumen>
- (2011). *Compendio de información geográfica municipal 2010, Calkiní, Campeche*. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=070000040001#collapse-Resumen>
- (2024). *Indicadores sociodemográficos y económicos por área geográfica*. <https://www.inegi.org.mx/default.html>
- IPCC/AR5. (2014). *Chapter 7, coastal systems and low-lying areas*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/coastal-systems-and-low-lying-areas/>
- IPCC/Summary for Policy Makers. (2022). *Sea level rise and implications for low-lying islands, coasts and communities*. <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-4-sea-level-rise-and-implications-for-low-lying-islands-coasts-and-communities/>
- IPCC, AR6 Synthesis Report: Climate Change (2023). *Working group II: impacts, adaptation and vulnerability, chapter 6 coastal zones and marine ecosystems*. <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg2/index.php?idp=289>
- Irola-Sansores, B. N., Torres-Rojas, Y. E., y Cuevas-Jiménez, A. (2021). Spatial temporal behavior of benthic communities in the Terminos Lagoon, Mexico: Possible areas of protection and conservation. *JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático*, 3(1): 55-76. <https://doi.org/10.26359/52462.0421>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan R., y Law K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347, 768. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jones, R. N., Patwardhan, A., Cohen, S. J., Dessai, S., Lammel, A., Lempert, R. J., Mirza, M. M. Q., y von Storch, H. (2014). Foundations for decision making. En C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea y L. L. White (2014), *Climate change: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 195-228). New York: Cambridge University Press.
- Kaplan-Hallam, M., Bennett, N. J., y Satterfield, T. (2017). Catching sea cucumber fever in coastal communities: conceptualizing the impacts of shocks versus trends on

- social-ecological systems. *Global Environmental Change*, 45, 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.05.003>
- Leslie, H.M., Basurto, X., Nenadovic, M., Sievanen, L., Cavanaugh, K. C., Cota-Nieto, J. J., Erisman, B. E., Finkbeiner, E., Hinojosa-Arango, G., Moreno-Báez, M., Nagavarapu, S., Reddy, S.M.W., Sánchez-Rodríguez, A., Siegel, K., Ulibarria-Valenzuela, J. J., Weaver, A. H. y Aburto-Oropeza, O. (2015). Operationalizing the social-ecological systems framework to assess sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(19), 5979–5984. <https://doi.org/10.1073/pnas.1414640112>
- Li, Y., Kappas, M., y Li, Y. (2018). Exploring the coastal urban resilience and transformation of coupled human-environment systems. *J. Clean. Prod.*, 195, 1505–1511. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.227>
- Lozoya, J. P., Conde, D., Asmus, M., Polette, M., Píriz, C., Martins, F., de Álava, D., Marenzi, R., Nin, M., Anello, L., Moraes, A., Zaguini, M., Marrero, L., Verrastro, N., Lagos, X., Chreties, C., y Rodriguez, L. (2015). Linking social perception and risk analysis to assess vulnerability of coastal socio-ecological systems to climate change in Atlantic South America. En W. Leal Filho (Ed.), *Handbook of Climate Change Adaptation* (pp. 373–399), Berlin, Heidelberg: Springer.
- Lluch-Belda D., Lluch-Cota, D. B., y Lluch-Cota, S. E. (2005). Changes in marine faunal distributions and ENSO events in the California Current. *Fisheries Oceanography*, 14, 458–467.
- Manson, F. J., y Die, D. J. (2001). Incorporating commercial fishery information into the design of marine protected areas. *Ocean & Coastal Management*, 44, 517–530. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(01\)00063-1](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(01)00063-1)
- Manuel-Navarrete, D., Gómez, J. J., y Gallopín, G. (2007). Syndromes of sustainability of development for assessing the vulnerability of coupled human-environmental systems. The case of hydrometeorological disasters in Central America and the Caribbean. *Glob. Environ. Change*, 17, 207–217. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.07.002>
- Markaida, U., Gilly, W., Salinas-Zavala, C. A., Rosas-Luis, R., y Booth, J. T. A. (2008). Food and feeding of jumbo squid *Dosidicus gigas* in the central Gulf of California during 2005–2007. *CalCOFI Reports*, 49, 90–103.
- Merçon, J. (2022). Investigación transdisciplinaria e investigación-acción participativa en clave decolonial. *Utopía y Praxis Latinoamericana*, 27(98), e6614174. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6614174>
- Morzaria-Luna H. N., Turk-Boyer P., Moreno-Baez M. (2014). Social indicators of vulnerability for fishing communities in the Northern Gulf of California, Mexico: Implications for climate change, *Mar. Policy*, 45, 182–193.
- Muiderman, K., Gupta, A., Vervoort, J., y Biermann, F. (2020). Four approaches to anticipatory climate governance: different conceptions of the future and implications for the present. *Wiley Interdiscip. Rev Clim Change*, 11(6), 11. <https://doi.org/10.1002/wcc.673>.

- Murphy, D. W. A. (2015). Theorizing climate change, (im)mobility and socio-ecological systems resilience in low-elevation coastal zones. *Clim. Dev.*, 7, 380–397. <https://doi.org/10.1080/17565529.2014.953904>
- Myers, R. A., y Worm, B. (2003). Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature*, 423, 280–283. <https://doi.org/10.1038/nature01610>
- Neger, C., y Crespo Guerrero, J. M. (2021). Problemática de la gestión de las Áreas Naturales Protegidas de México: un análisis en las Reservas de la Biósfera de Los Tuxtlas y Los Petenes. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 41(2):463–481. <https://doi.org/10.5209/AGUC.79345>.
- Nevarez-Martínez, M. O., Morales-Bojorquez E., Cervantes-Valle C., Santos-Molina J. P., and Lopez-Martinez J. (2010). Population dynamics of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the 2002–2008 fishing seasons off Guaymas, Mexico. *Fisheries Research*, 106, 132–140.
- Ngoran, S. D., y Xue X. (2017). Public sector governance in Cameroon: a valuable opportunity or fatal aberration from the Kribi Campo integrated coastal management? *Ocean Coast. Manag.*, 138, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.01.006>
- Nicolescu B. (1998). *La transdisciplinariedad, una nueva visión del mundo. Manifiesto*. Paris: Ediciones Du Rocher.
- Niiranen, S., Richter, A., Blenckner, T., Stige, L.C., Valman, M., y Eikeset, A. M. (2018). Global connectivity and cross-scale interactions create uncertainty for Blue Growth of Arctic fisheries, *Marine Policy*, (87), 321–330. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.10.024>
- Nobre, D. M., Trigueirinho Alarcon, D., Cinti, A., y Schiavetti A. (2017). Governance of the cassurubd extractive reserve, Bahia State, Brazil: an analysis of strengths and weaknesses to inform policy. *Mar. Policy*, 77, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.12.008>
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325, 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Paice, R. J. Chambers (s. f.). *Climate change impacts on coastal ecosystems*. Coastal Adapt
- Paramita, R., Subodh, Chandra P., Rabin, C., Indrajit, C., Asish, S., y Manisa S. (2023). Effects of climate change and sea-level rise on coastal habitat: Vulnerability assessment, adaptation strategies and policy recommendations, *Jour. Environ. Management*, 330, 117187, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117187>
- Partelow, S. (2014). *Assessing sustainability in lobster fisheries as social-ecological systems: A framework and research protocol* [LUCSUS]. <http://www.lunduniversity.lu.se/o.o.i.s?id=24923&postid=4463961>
- Peña-Puch, A. del C. (2020). Evaluación de la sustentabilidad de los sistemas socio-ecológicos pesqueros de Campeche. En *El Colegio de la Frontera Sur*.
- Peña-Puch, A. (2023). La perspectiva de sistemas socio-ecológicos (SSE) en los instrumentos de manejo pesquero de México: riesgos y oportunidades de los permisos de pesca a largo plazo. En I. Zamora Saenz (Ed.), *El Marco Jurídico de la Pesca en México a*

- debate. Áreas de oportunidad para la mejora y la innovación*. Ciudad de México: Senado de la República, Instituto Belisario Domínguez.
- Peña-Puch, A.C., Pérez-Jiménez, J. C., y Espinoza-Tenorio, A. (2020). Advances in the study of Mexican fisheries with the social-ecological system (SES) perspective and its inclusion in fishery management policy. *Ocean Coast Manag.*, 185, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105065>.
- Pérez Matos, N. E. (2007). *El fenómeno informativo en Cuba. Reflexión en el marco de los períodos constitucionales de la nación y de su literatura profesional del siglo XX* [Tesis doctoral, Facultad de Comunicación. Universidad de La Habana].
- Pérez Matos, N. E., y Setién Quesada, E. (2008). La interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad en las ciencias: una mirada a la teoría bibliológico-informativa, *ACIMED*, 18(4).
- Perry, R. I., Ommer, R. E., Barange, M., y Werner, F. (2010). The challenge of adapting marine social-ecological systems to the additional stress of climate change. *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 2, 356–363. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.10.004>
- Pinsky M. L., y Mantua N. J. (2014). Emerging adaptation approaches for climate-ready fisheries management, *Oceanography*, 27(4) 146–159.
- Pittman, J., y Armitage, D. (2016). Governance across the land-sea interface: a systematic review. *Environ. Sci. Policy*, 64, 9-17, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.05.022>
- Ramos-Miranda, J., Cabrera, M. A., Salas, S., López, J. A., y Flores, D. (2021). *Especies comerciales de la pesca artesanal en la península de Yucatán* (pp. 204). Universidad Autónoma de Campeche. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Unidad Mérida. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Refulio-Coronado, S., Lacasse, K., Dalton, T., Humphries, A., Basu, S., Uchida, H., y Uchida, E. (2021). Coastal and marine socio-ecological systems: A systematic review of the literature. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.648006>
- Renaud, F. G., Birkmann, J., Damm, M., y Gallopín, G. C. (2010). Understanding multiple thresholds of coupled social-ecological systems exposed to natural hazards as external shocks. *Nat. Hazards*, 55, 749–763. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9505-x>
- Reyes-Arroyo, N., Camacho-Valdez, V., Saenz-Arroyo, A., y Infante-Mata, D. (2021). "Socio-cultural analysis of ecosystem services provided by mangroves in La Encrucijada Biosphere Reserve, southeastern Mexico", *Local Environment*, 26(1), 86-109.
- Rincón-Ruiz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo, P. y Zuluaga, P. A. (2014). *Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: aspectos conceptuales y metodológicos*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt .
- Rivera-Arriaga, E., y Escofet, A. (2019). Gobernanza socio-ambiental de las zonas costeras y marinas (pp. 471-498). En A. V Botello, S. Villanueva y J. Gutiérrez (Coord.), *Costas y Mares Mexicanos, Contaminación, Impactos, vulnerabilidad y cambio climático* (652 pp.). UNAM, UAC.
- Rodriguez, N. J. I. (2017). A comparative analysis of holistic marine management regimes and ecosystem approach in marine spatial planning in developed countries. *Ocean Coast. Manag.*, 137, 185-197. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.12.023>

- Rölfer, L., Celliers, L., y Abson D. J. (2022). Resilience and coastal governance: knowledge and navigation between stability and transformation. *Ecology and Society*, 27(2), 40. <https://doi.org/10.5751/ES-13244-270240>
- Said, A., Chuenpagdee, R., Aguilar-Perera, A., Arce-Ibarra, M., Bahadur Gurung, T., Bishop, B., Léopold, M., Marquez, A.-I., Mattos, S., Pierce, G. J., Kumar Nayak, P., y Jentoft, S. (2018). The Principles of Transdisciplinary Research in Small-Scale Fisheries: Analysis and Practice. En *Transdisciplinarity for Small-Scale Fisheries Governance* (vol. 21, pp. 411–431). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94938-3>
- Salas, S., Núñez, A., Cepeda-González, F., Ramos-Miranda, J., Cabrera, M. A., Coronado, E., López-Rocha, J. A., y Torres, E. (2022). *Pesquerías artesanales en la Península de Yucatán contexto-socio-económico y bienestar comunitario* (pp. 25). Yucatán, México: CINVESTAV-UNAM-EPOMEX-UAC.
- Sandifer, P.A., y Scott, G. I. (2021). Coastlines, Coastal Cities, and Climate Change: A Perspective on Urgent Research Needs in the United States, *Front. Mar. Sci.*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.631986>
- Silva, F., Coward, F., Davies, K., Elliott, S., Jenkins, E., Newton, A.C., Riris, P., Vander Linden, M., Bates, J., Cantarello, E., Contreras, D. A., Crabtree, S. A., Crema, E. R., Edwards, M., Filatova, T., Fitzhugh, B., Fluck, H., Freeman, J., ... Williams A. (2022). Developing Transdisciplinary Approaches to Sustainability Challenges: The Need to Model Socio-Environmental Systems in the Longue Durée. *Sustainability*, 14, 10234. <https://doi.org/10.3390/su141610234>
- Solecki, W., Leichenko, R., O'Brien, K., (2011). Climate change adaptation strategies and disaster risk reduction in cities: connections, contentions, and synergies. *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 3, 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.03.001>
- Stojanovic, T. A., y Ballinger R. C. (2009). Integrated coastal management: a comparative analysis of four UK initiatives. *Appl. Geogr.*, 29(1), 49-62, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.07.005>
- Stojanovic, T., Ballinger, R. C. y Lalwani C. S.(2004). Successful integrated coastal management: measuring it with research and contributing to wise practice. *Ocean Coast. Manag.*, 47(5–6), 273-298. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2004.08.001>
- Taljaard, S., Slinger, J. H., Morant, P. D., Theron, A. K., van Niekerk, L., van der Merwe J. (2012). Implementing integrated coastal management in a sector-based governance system. *Ocean Coast. Manag.*, 67, 39-53, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.06.003>
- Torres-Rojas, Y. E., Hernández-Herrera, A., Ortega-García, S., y Soto-Jiménez, M. F. (2014). Feeding Habits Variability and Trophic Position of Dolphinfin in Waters South of the Baja California Peninsula, Mexico. *Transactions of the American Fisheries Society*, 143(2), 528-542. <https://doi.org/10.1080/00028487.2013.866981>
- Torres-Rojas, Y. E., Flores Hernández, D. C., Gómez Criollo, F., Concepción Pérez, C. J., Rosas Arévalo, M. A., Aguiñiga García, S., Sánchez González, A., y Dorantes Hernández, J. M. (2017). *Isótopos estables y diversidad de peces en Laguna de Términos: indicadores del cambio climático Fondo Sectorial de Investigación Ambiental Semarnat-Conacyt*. México: Semarnat-Conacyt.

- Trégarot, E., D'Olive, J. P., Botello, A. Z., Cabrito, A., Cardoso, G. O., Casal, G., Cornet, C. C., Cragg, S. M., Degia, A. K., Fredriksen, S., Furlan, E., Heiss, G., Kersting, D. K., Maréchal, J.P., Meesters, E., O'Leary, B. C., Pérez, G., Seijo-Núñez, C., Simide, R., van der Geest, M., y de Juan, S. (2024). Effects of climate change on marine coastal ecosystems – A review to guide research and management. *Biological Conservation*, 289, 110394, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110394>
- UN/CEPAL, (2015). *The effects of climate change in the coastal areas of Latin America and the Caribbean*. Impacts.
- Urquiza Gómez, A., y Cadenas, H. (2023). Sistemas socio-ecológicos: elementos teóricos y conceptuales para la discusión en torno a vulnerabilidad hídrica. *ORDA Revue, Eau et Vulnérabilité dans les Amériques*. <https://doi.org/10.4000/orda.1774>
- Vidal, L., Vallarino, A., Benítez, I., Correa, J. (2015). Implementación del plan estratégico Ramsar en humedales costeros de la Península de Yucatán: Normativas y regulación. *Lat Am J Aquat Res.*, 43(5), 873–887. <https://doi.org/10.3856/vol43-issue5-fulltext-7>
- Vidal Hernández, L. E., Ávila Foucat, V. S., Arce Ibarra, A. M., Tovilla Hernández, C. y Carmona Escalante, A. (2020). Construcción de socioecosistemas costeros y retos para medir su resiliencia (pp. 21-50). En V.S. Ávila Foucat e I. Espejel (Coords.), *Resiliencia de socioecosistemas costeros* (pp. 175). UNAM.
- Villalobos-Zapata, G., y Mendoza, J. (2010). *La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur.
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., y Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecol. Soc.*, 9, 5. <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>
- Waters, C. N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A. D., Poirier, C., Gałuszka, A., Cearreta, A., Edgeworth, M., Ellis, E.C., ... Ellis, M. (2016). The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science*, 351, aad2622.
- Wiek A, y Lang, D. J. (2016). Transformational sustainability research methodology. En H. Heinrichs, P. Martens, G. Michelsen, y A. Wiek (Eds.), *Sustainability science* (pp. 31–41). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7242-6_3
- Wooster, W. S. (1980). Early observations and investigations of El Niño: the event of 1925. En M. Sears y D. Merriman (Eds.), *Oceanography: the past* (pp. 629–641). Nueva York: Springer-Verlag.
- Wyborn, C., y Bixler, R. P. (2013). Collaboration and nested environmental governance: Scale dependency, scale framing, and cross-scale interactions in collaborative conservation. *Journal of Environmental Management*, 123, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.03.014>
- Zurell, D., Franklin, J., König, C., Bouchet, P. J., Dormann, C. F., Elith, J., Fandos, G., Feng, X., Guíllera-Arroita, G., ... Guisan, A.(2020). A standard protocol for reporting species distribution models. *Ecography*, 1, 93.