

Ecosistemas oceánicos y recursos marinos



Capítulo 10. Ecosistemas oceánicos y recursos marinos

Autores y colaboradores

Autor principal de coordinación federal

Emily B. Osborne, NOAA Oceanic and Atmospheric Research, Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory

Autor principal del capítulo

Katherine E. Mills, Gulf of Maine Research Institute

Autores del capítulo

Richard J. Bell, The Nature Conservancy

Charles S. Colgan, Middlebury Institute of International Studies at Monterey, Center for the Blue Economy

Sarah R. Cooley, Ocean Conservancy

Miriam C. Goldstein, Center for American Progress (through February 2023)

Roger B. Griffis, NOAA Fisheries

Kirstin Holsman, NOAA Alaska Fisheries Science Center

Michael Jacox, NOAA Southwest Fisheries Science Center and NOAA Physical Sciences Laboratory

Fiorenza Micheli, Stanford University

Editor revisor

Andrew A. Rosenberg, University of New Hampshire

Arte de apertura de capítulo

Olivia D.

Cita recomendada

Mills, K.E., E.B. Osborne, R.J. Bell, C.S. Colgan, S.R. Cooley, M.C. Goldstein, R.B. Griffis, K. Holsman, M. Jacox, and F. Micheli, 2023: Cap. 10. Ecosistemas oceánicos y recursos marinos. En: *La Quinta Evaluación Nacional del Clima*. Crimmins, A.R., C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, B.C. Stewart, and T.K. Maycock, Eds. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA. <https://doi.org/10.7930/NCA5.2023.CH10.ES>

Índice de Contenidos

Introducción	4
Mensaje clave 10.1	
Impactos climáticos sin precedentes amenazan los ecosistemas y el bienestar humano	5
Cambios observados.....	5
Cambios proyectados.....	7
Recuadro 10.1. Impactos en cascada de una ola de calor marina.....	8
Mensaje clave 10.2	
El cambio climático altera las actividades económicas marinas	10
Pesca comercial	11
Turismo y recreación	13
Transporte.....	14
Energía.....	14
Mensaje clave 10.3	
El futuro de los océanos depende de las decisiones que tomemos en la actualidad	15
Estado actual de las medidas de adaptación y mitigación marinas.....	15
Retos y concesiones mutuas.....	16
Necesidades y oportunidades	18
Cuentas trazables	20
Descripción del proceso	20
Mensaje clave 10.1	21
Mensaje clave 10.2.....	23
Mensaje clave 10.3.....	24
Referencias	27

Introducción

El océano sustenta ecosistemas marinos diversos y productivos que proporcionan innumerables beneficios a Estados Unidos (EE. UU.). La pesca, la recreación y el turismo; la energía; la navegación; y el transporte en el océano y los Grandes Lagos (consulte el Capítulo 24) sustentan una economía marina que aportó más de \$781,000 millones (en dólares de 2022) a la economía estadounidense en 2021¹. Los recursos marinos sustentan la salud y el bienestar humanos en comunidades de todo Estados Unidos, y las conexiones sostenidas con el océano son fundamentales para las culturas y las identidades. En este capítulo se evalúan los impactos y los riesgos climáticos para los ecosistemas marinos estadounidenses y para las comunidades e industrias que dependen de ellos, así como las medidas de adaptación y mitigación del cambio climático relacionado con el océano.

En todo el planeta, el cambio climático está alterando los ecosistemas marinos y los sistemas sociales asociados a una escala y ritmo sin precedentes en los milenios recientes. La combinación de cambios a largo plazo en las condiciones físicas de los océanos —como el calentamiento, la pérdida de hielo marino, la acidificación y la desoxigenación (KM 2.1, 3.3)— y los eventos extremos a corto plazo (KM 2.2), como las olas de calor marinas, amenazan los ecosistemas marinos y las comunidades (enfoque en los eventos compuestos). Numerosas especies marinas, desde el fitoplancton hasta las ballenas, están alterando su distribución, actividades estacionales y comportamientos para adaptarse a las condiciones marinas adecuadas. Estos cambios se propagan a través de la red trófica, lo que afecta las interacciones entre especies, las funciones de los ecosistemas y la biodiversidad, así como la conservación, la gestión y los usos de los valiosos recursos marinos². Los cambios en los ecosistemas marinos provocados por el clima afectan significativamente los medios de subsistencia dependientes de los océanos y, en algunas comunidades, amenazan el suministro de alimentos y costumbres³.

En las comunidades afectadas, la magnitud de los impactos climáticos y los niveles de capacidad de adaptación varían según la dependencia a los recursos marinos, la situación socioeconómica y las desigualdades históricas e institucionalizadas^{4,5,6}. Algunas personas, comunidades e industrias se están adaptando a los cambios, en gran medida mediante respuestas reaccionarias y, en algunos casos, a través de una planificación coordinada de la resiliencia^{7,8,9}. Sin embargo, las respuestas son desiguales entre comunidades y sectores, y siguen siendo insuficientes para hacer frente a los crecientes desafíos y costos^{9,10}. Las decisiones políticas globales en materia de mitigación de gases de efecto invernadero (greenhouse gas, GHG) determinan la intensidad y la trayectoria de los futuros impactos climáticos, así como la diversidad y la efectividad de las opciones de adaptación. Los esfuerzos de mitigación y adaptación requieren una rendición de cuentas explícita en materia de equidad social, metas de sostenibilidad e imparcialidad en la gobernanza y el financiamiento para abordar las desigualdades arraigadas que aumentan los riesgos del cambio climático y los costos de la adaptación^{5,11}.

Este capítulo se inspira en las perspectivas mundiales para abordar los cambios y desafíos relacionados con el clima en las zonas marinas de los EE. UU. Se centra en gran medida en las aguas de la plataforma continental, con cierto análisis de temas que se extienden desde la costa hasta las zonas intermareales, y complementa el Capítulo 9 (Efectos costeros), que trata ampliamente el tema del aumento del nivel del mar. El capítulo se basa en los cambios oceanográficos físicos relacionados con el clima analizados en los Capítulos 2 (Tendencias climáticas) y 3 (Procesos de los sistemas de la Tierra) para destacar algunos de los cambios ecológicos sin precedentes que se están produciendo en las aguas marinas estadounidenses y sus impactos en los sistemas sociales, económicos y de gobernanza. Las orientaciones políticas, los esfuerzos de planificación y las decisiones de inversión que se tomen ahora afectarán las opciones y los plazos de mitigación y adaptación y determinarán el futuro de nuestros océanos y de los sistemas sociales y económicos que dependen de ellos.

Mensaje clave 10.1

Impactos climáticos sin precedentes amenazan los ecosistemas y el bienestar humano

El cambio climático está alterando significativamente los ecosistemas marinos de los EE. UU. a un ritmo, magnitud y extensión sin precedentes en milenios (*confianza muy alta*). Los cambios acumulativos en la ubicación de las especies, la productividad y la sincronización estacional están afectando los ecosistemas, lo que amenaza las conexiones críticas entre las personas y el océano (*confianza alta*), especialmente para los pueblos indígenas (*confianza muy alta*). Los riesgos para los ecosistemas marinos y las personas ligadas a ellos serán mayores en los escenarios más altos (*probable, confianza muy alta*) y dependerán de la capacidad de los sistemas ecológicos y sociales para adaptarse al ritmo del cambio climático (*confianza muy alta*). Se proyecta que de continuar el cambio climático, sobre todo en los escenarios más altos, se impulse a muchos sistemas hacia condiciones nuevas y puntos de inflexión críticos (*confianza muy alta*), más allá de los cuales el riesgo de impactos significativos en los ecosistemas marinos, incluido el colapso, es alto, la adaptación puede ser insuficiente y el bienestar humano se vería amenazado (*confianza alta*).

Cambios observados

Los cambios provocados por el clima están alterando los ecosistemas marinos a través de complejas interacciones físicas, biológicas y socioeconómicas (Figura 10.1). Muchas características de los océanos, como la sincronización y la duración de los ciclos estacionales, la extensión y duración del hielo marino, el contenido de oxígeno y la severidad de los eventos extremos, están mostrando importantes divergencias con respecto a los patrones históricos (Recuadro 10.1; KM 2.2, 3.1; Figura A4.11)^{10,12,13,14}. Los cambios en las distribuciones, la productividad de las poblaciones y la sincronización de los acontecimientos vitales están ampliamente documentados para las especies marinas y están aumentando en prevalencia y magnitud (Figura A4.12)^{15,16,17,18,19}.

Hábitats críticos, como los arrecifes de coral, las praderas marinas y los bosques de algas marinas, han experimentado una degradación a gran escala debido a factores de estrés relacionados con el clima, lo que amenaza su capacidad para sustentar peces, mariscos, tortugas y mamíferos marinos de importancia comercial y ecológica^{20,21,22,23}. La degradación de los hábitats de cría, las zonas de desove y otros hábitats esenciales puede afectar la productividad y distribución de las especies^{21,24}.

Las especies marinas cambian su distribución geográfica más rápidamente que las terrestres²⁵, y están cambiando la sincronización de actividades estacionales¹⁶. A medida que los cambios se producen en cascada desde los microbios hasta los depredadores superiores a través de las redes tróficas, estos cambios están desvinculando algunas relaciones depredador-presa^{26,27} y amplificando otras²⁸. Por ejemplo, los cambios en las especies han reducido la disponibilidad de presas para las aves marinas, lo que provoca hambrunas a gran escala y fracasos en las colonias de cría^{29,30,31}.

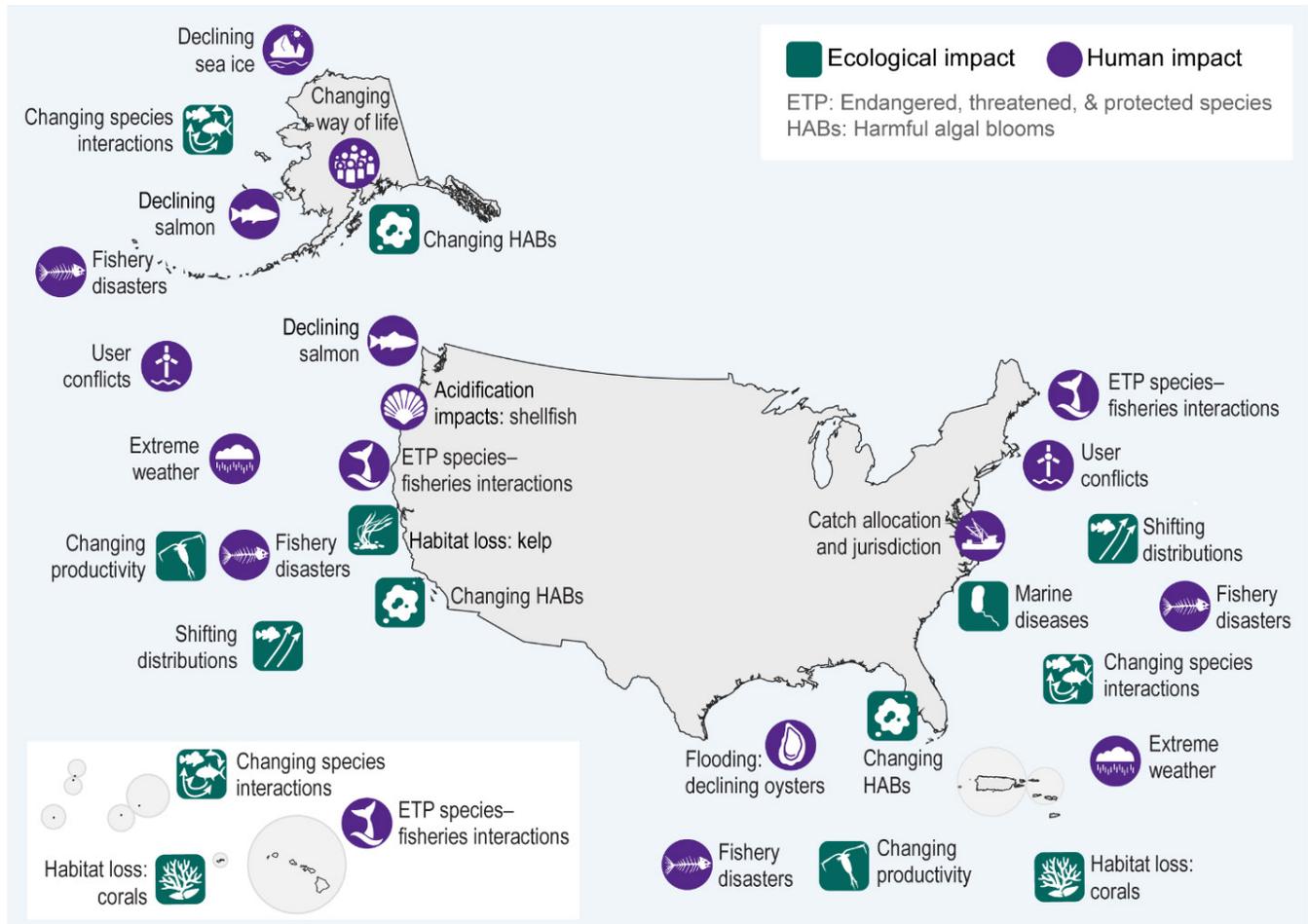
Si bien el calentamiento ha beneficiado a algunos recursos marinos en las zonas polares de su área (como el aumento de la abundancia de langosta americana en el Golfo de Maine³²), muchas especies —especialmente las adaptadas al frío, las establecidas o las que tienen historias de vida complejas— se han visto afectadas negativamente^{33,34,35}. Las especies protegidas y amenazadas con resiliencia limitada, incluidas múltiples especies de coral, salmón y ballenas, son especialmente vulnerables a los impactos de las condiciones físicas y ecosistémicas desfavorables (KM 8.2)^{22,36,37,38}.

Los ecosistemas marinos son complejos y están interconectados, por lo que resulta difícil comprenderlos plenamente y anticipar los cambios inducidos por el clima. Los impactos climáticos están menos documentados para ciertos componentes de los ecosistemas, incluso organismos ubicuos como los microbios³⁹ y los patógenos^{40,41}. Además, los factores climáticos que afectan los ecosistemas marinos suelen actuar de forma compleja y, en algunos casos, pueden tener su origen en tierra. Por ejemplo, la alteración del régimen de precipitaciones en el territorio continental de los EE. UU. ha reducido el caudal de los ríos en el Noroeste del Pacífico y ha aumentado las inundaciones en el Mississippi, lo que ha provocado el descenso de la población de especies emblemáticas como el salmón Chinook⁴² y las ostras del Golfo de México⁴³, respectivamente. Los ecosistemas costeros de “carbono azul”, incluidos los arrecifes de coral, las praderas marinas y los lechos de algas, los manglares y las marismas, también se ven impactados por las interacciones entre los cambios terrestres y marinos^{44,45}, y estos efectos pueden extenderse a los ecosistemas de aguas profundas (enfoque en carbono azul)^{46,47}. Mientras que los ecosistemas costeros y de estanques de los EE. UU. están relativamente bien estudiados, el océano profundo (por debajo de los 650 pies) sigue estando poco estudiado^{48,49}. El océano profundo almacena y absorbe una enorme cantidad de carbono y calor, lo que amortigua los impactos del cambio climático pero también provoca calentamiento y cambios en la biogeoquímica (como la desoxigenación) en esta parte del océano (KM 2.1, 3.4)^{13,49,50}, lo que perjudica potencialmente la salud de los ecosistemas de aguas profundas y la capacidad de captura de carbono⁵¹.

Los impactos del clima a los océanos afectan muchas comunidades, desde los habitantes de la costa que viven de la industria marina hasta las personas que viven lejos de la costa y comen pescado en el Medio Oeste estadounidense o pasan sus vacaciones en las playas de la Costa del Golfo. Por ejemplo, el florecimiento de algas nocivas (harmful algal blooms, HAB) y el aumento de patógenos, como las especies de *Vibrio*, se han vuelto más frecuentes en algunas regiones, lo que ha provocado el cierre de playas y de la industria pesquera y ha impactado la salud y los medios de subsistencia de la población^{52,53}. Los efectos se amplifican para los pueblos indígenas, cuyas conexiones sociales, culturales y espirituales con el océano se están viendo alteradas^{54,55}. Las cosechas de subsistencia que son fundamentales para la seguridad alimentaria y nutricional se han visto alteradas por los cambios en la distribución de las especies, la pérdida de hielo marino que limita el acceso a los recursos y las HAB que hacen que fuentes de alimentos como las almejas navajas, las morsas del Pacífico y las ballenas de Groenlandia no sean seguras para el consumo humano (KM 16.1, 29.5)^{56,57,58,59,60,61,62,63}. De forma acumulativa, estos cambios amenazan con romper conexiones sociales y culturales vitales al socavar la seguridad alimentaria, la salud mental y física y el bienestar de los usuarios de los recursos marinos^{59,64,65,66}.

A medida que aumentan los impactos del cambio climático, las especies y las personas empiezan a adaptarse. Entre los ejemplos de adaptaciones observadas se encuentran el cambio de distribución de las especies de acuerdo con sus temperaturas preferidas⁶⁷ y los cosechadores que cambian qué, dónde y cuándo recolectan⁶⁸. Las respuestas de adaptación más rápidas y de mayor envergadura se han producido después de impactos climáticos que se manifiestan como eventos extremos (p. ej., olas de calor, HAB o hipoxia) o que amplifican los riesgos y las presiones del entorno (p. ej., degradación del hábitat y cosecha excesiva de recursos; Recuadro 10.1)^{69,70}.

Impactos climáticos relacionados con el océano en las personas y los ecosistemas



En las zonas marinas de los EE. UU. se están produciendo numerosos impactos ecológicos y de la actividad humana a gran escala relacionados con el clima.

Figura 10.1. El cambio climático está afectando los ecosistemas marinos e impactando las actividades humanas en el océano estadounidense. La naturaleza de los impactos climáticos relacionados con el océano suele ser exclusiva de las zonas locales, pero puede propagarse en cascada a través de los sistemas socioecológicos y afectar todo el país. Por ejemplo, los eventos meteorológicos extremos impactan el transporte marítimo y las cadenas de suministro, y el florecimiento de algas nocivas (harmful algal blooms, HAB) en las zonas costeras afectan el turismo. Los conflictos entre usuarios, como los relacionados con el emplazamiento de energías renovables mar adentro en zonas pesqueras, han creado tensiones en aguas estadounidenses. Los impactos climáticos sobre las condiciones físicas de los océanos se tratan en los Capítulos 2 y 3. Créditos de la figura: The Nature Conservancy.

Cambios proyectados

Las emisiones acumulativas de GHG seguirán afectando los sistemas ecológicos y sociales marinos en las próximas décadas. Se proyecta que los cambios en las condiciones físicas y biogeoquímicas, como la temperatura, la estratificación, el afloramiento y la química marina, sean más intensos y generalizados, sobre todo en los escenarios más altos (KM 2.3)⁷¹, y las interacciones con factores de estrés crónico como la degradación del hábitat o la sobrepesca amplificarán los impactos sobre los ecosistemas¹⁰. Los cambios en la distribución y la biomasa de las especies marinas, en la estructura de la red trófica y en las funciones de los ecosistemas, así como el aumento de las HAB y los patógenos, serán más pronunciados en escenarios muy altos (RCP8,5, SSP5-8,5)^{72,73,74,75}. El cambio climático conducirá a los sistemas físicos y biológicos hacia puntos

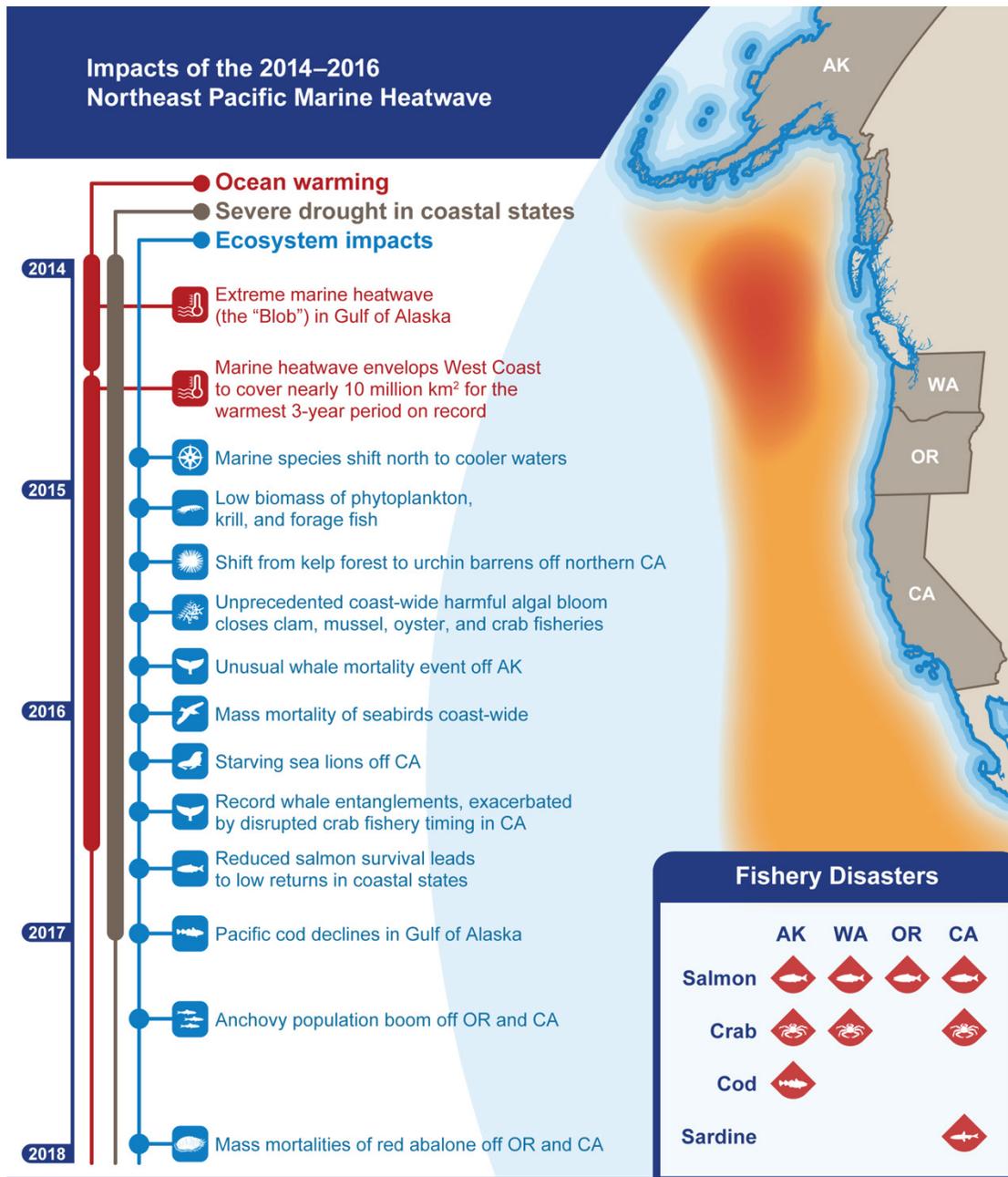
de inflexión críticos, desencadenando retroalimentaciones que pueden amenazar la biodiversidad, socavar la estabilidad del sistema, alterar permanentemente las funciones y servicios ecosistémicos y limitar las opciones de adaptación^{76,77,78,79}.

Los continuos cambios provocados por el clima plantean desafíos a los sistemas sociales, económicos y de gobernanza, sobre todo a los que se basan en la expectativa de que las condiciones históricas persistirán en el futuro. Los cambios en la distribución de los peces están creando desafíos jurisdiccionales para la gestión por zonas, lo que socava los enfoques de gestión de la pesca comercial⁸⁰ y pone en peligro tratados sobre recursos, como los derechos de las tribus a las zonas de pesca “habituales y tradicionales”⁸¹. La severidad de los impactos sobre los sistemas socioecológicos marinos dependerá de la capacidad de los pueblos para adaptarse al ritmo del cambio climático, lo que requerirá sistemas de gobernanza participativos que puedan ajustarse de forma efectiva y equitativa a las circunstancias cambiantes.

Recuadro 10.1. Impactos en cascada de una ola de calor marina

Una ola de calor marina masiva se originó en el Golfo de Alaska en el invierno de 2013-2014 y posteriormente abarcó la Costa Oeste de los EE. UU. de 2014 a 2016, lo que produjo en la región la temperatura trienal promedio más alta en el océano que se ha registrado⁸². Este evento, impulsado por una combinación de variabilidad natural y calentamiento causado por la actividad humana⁸², tuvo impactos generalizados en el hábitat marino, las especies marinas y las comunidades (Figura 10.2). Estos impactos en cascada se ilustran mediante una cadena de acontecimientos en la que, inicialmente, el hábitat de aguas frías se concentró a lo largo de la costa, lo que provocó que las ballenas se acercaran a la costa para alimentarse. Este desplazamiento hacia la costa provocó que las ballenas buscaran alimento en las zonas de pesca del cangrejo Dungeness y se enredaran en los equipos de pesca⁸³. Mientras tanto, el calentamiento del océano y la alteración de su composición química propiciaron una proliferación de algas nocivas sin precedentes^{61,84}. La detección de la neurotoxina ácido domoico en especies marinas cerró negocios pesqueros, retrasó la apertura de la temporada de pesca del cangrejo y provocó múltiples declaraciones de desastre en la industria pesquera⁶¹. Ante la suspensión de la temporada de pesca, los pescadores se vieron obligados a renunciar a los ingresos o cambiar a otra actividad pesquera,⁸⁵ los impactos adversos fueron más pronunciados para los pescadores con barcos más pequeños, que sufrieron descensos desproporcionadamente grandes en la participación y los ingresos⁸⁶. Por último, cuando la temporada de pesca de cangrejo Dungeness se abrió tarde, el aumento de la pesca coincidió con la llegada migratoria de las ballenas, lo que produjo otro pico de enredos en las redes⁸³. Las perturbaciones climáticas como la ola de calor marino de 2014-2016 amplifican los impactos medioambientales y económicos que pueden perdurar más allá del evento en sí⁷⁰. Con el futuro calentamiento de los océanos, las olas de calor serán aún más intensas y las temperaturas históricamente inusuales serán más frecuentes (KM 2.2). Las nuevas condiciones marinas en el sistema de la corriente de California⁸⁷ y otras regiones ocasionarán más sorpresas climáticas que plantearán retos para la planificación y la toma de decisiones⁸⁸.

Impactos de la ola de calor marina en el Noreste del Pacífico



La Costa Oeste ha experimentado temperaturas marinas cálidas sin precedentes y alteraciones medioambientales debido a las olas de calor marinas.

Figura 10.2. Las olas de calor han causado grandes alteraciones en los ecosistemas marinos y, a su vez, en las comunidades y la economía. Aquí se muestran los impactos generalizados de una ola de calor marina masiva que comenzó en el Golfo de Alaska y posteriormente cubrió toda la Costa Oeste, la cual persistió durante varios años y coincidió con una sequía severa. Los símbolos de la línea de tiempo indican cuándo se produjeron los impactos; muchos impactos se mantuvieron durante meses o años, pero, para más claridad, solo se muestran en un momento representativo en el que fueron especialmente frecuentes. Los impactos descritos como costeros o sin una localización específica se produjeron en todos los estados de la Costa Oeste: Alaska, Washington, Oregón y California. Los desastres en la industria pesquera, determinados por la Secretaría de Comercio de Estados Unidos, se muestran para especies individuales (sardina del Pacífico y bacalao del Pacífico) o grupos de especies (salmón, cangrejo, etc.). Aunque la mayor ola de calor se disipó en 2017, los efectos de la ola de calor de 2014-2016 han persistido en forma de cambios ecológicos duraderos y nuevas medidas de adaptación diseñadas para mitigar los impactos negativos en el futuro. Créditos de la figura: NOAA Southwest Fisheries Science Center.

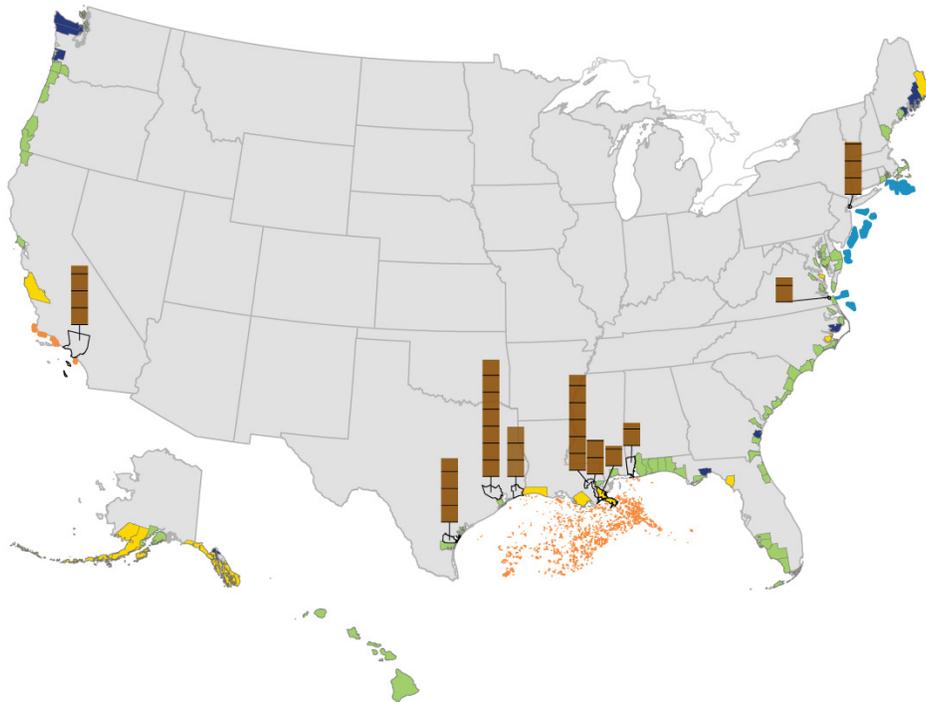
Mensaje clave 10.2

El cambio climático altera las actividades económicas marinas

El cambio climático supone un riesgo sustancial para las industrias y actividades económicas marinas, como la industria pesquera, el turismo, la recreación, el transporte y la energía (*confianza alta*). A medida que continúe el cambio climático, se espera que los impactos económicos y culturales sean mayores y más generalizados, especialmente en los escenarios más altos y en las comunidades que dependen en gran medida de los recursos marinos (*confianza muy alta*). Diversos enfoques pueden facilitar cierto grado de adaptación al cambio climático (*confianza media*), pero niveles más altos de cambio climático limitarán el éxito de las medidas de adaptación y aumentarán notablemente el riesgo climático para las actividades económicas relacionadas con el mar (*confianza alta*).

Desde la energía hasta la industria pesquera y el turismo, la economía marina está profundamente entrelazada con el bienestar económico de Estados Unidos (Figura 10.3). La población de los condados adyacentes a la costa creció un 5.3 % de 2010 a 2019, y el empleo aumentó tres veces más rápido (16.3 %). De 2005 a 2019, el Producto Interno Bruto (Gross Domestic Product, GDP) relacionado con los océanos creció casi un 60 % (en dólares constantes), lo que representa un total de 3.5 millones de puestos de trabajo⁸⁹. Las actividades y las industrias marinas se están viendo afectadas por el cambio climático^{90,91}, y los impactos futuros pueden retrasar el crecimiento de la economía marina. Al limitar el calentamiento global a 1.5 °C (2.7 °F) por encima de los niveles preindustriales se otorgan claras ventajas sociales y económicas en comparación con los escenarios más altos^{92,93}.

Economías marinas



Energy Leases

- Oil & gas
- Offshore wind

Reliance on Fishing & Tourism

- County reliant on fishing
- County reliant on tourism
- County reliant on both

Cargo Movements

- 40 million tons
- County with top 10 total tonnage

Las comunidades costeras de América dependen en gran medida de las industrias marinas para sus economías locales.

Figura 10.3. Industrias marinas como la pesca, la navegación y el turismo son actividades económicas importantes en las comunidades costeras de Estados Unidos. La plataforma continental de la nación es una importante fuente de energía procedente del petróleo y del gas, y las energías renovables, en particular la eólica marina, se están desarrollando en múltiples zonas. La economía marina es aún más crítica para las mancomunidades y territorios insulares del Pacífico y el Caribe, aunque no se dispone de datos económicos comparables a los de los 50 estados de los EE. UU. La dependencia económica en recursos marinos es proporcionalmente mayor en las comunidades rurales, que tienen menos alternativas económicas si sufren alteraciones relacionadas con el clima^{94,95}. Créditos de la figura: Middlebury Institute of International Studies, NOAA NCEI y CISESS NC.

Pesca comercial

El cambio climático ha afectado la pesca comercial en todas las regiones de los EE. UU., a través de la alteración de la disponibilidad y calidad de las especies capturadas, desestabilización de los ingresos y el empleo relacionados con la industria pesquera y ocasionando nuevos retos de gestión^{15,69,85,96,97}. La redistribución a gran escala del valioso bacalao del Pacífico y el cangrejo de las nieves del Mar de Bering (Alaska) y el subsecuente declive de múltiples poblaciones, incluido el cierre de la pesca de cangrejo de las nieves

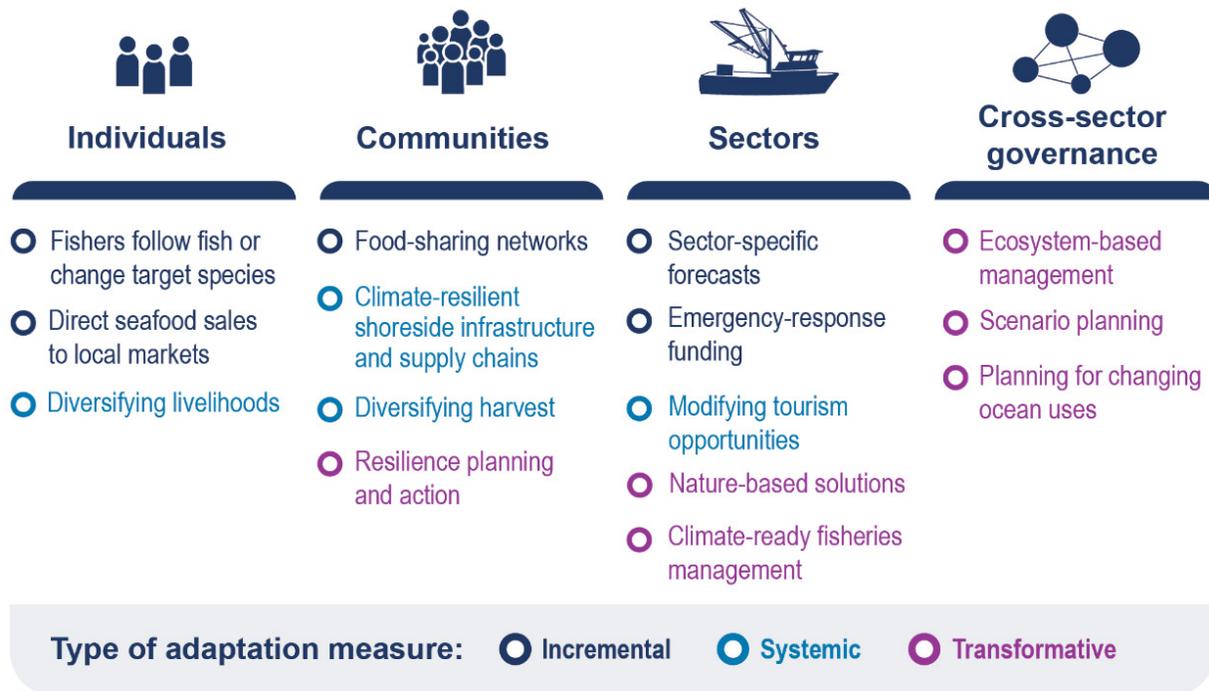
en 2022, se produjeron como consecuencia de la escasez de hielo marino y las prolongadas temperaturas cálidas de los fondos marinos en toda la región (Recuadro 10.1)^{98,99,100,101,102}. En la Costa Este, la pesca de camarón nórdico colapsó y se impuso una suspensión de pesca después de una ola de calor marina en 2012¹⁰³, y la especie de mayor valor en los EE. UU., la langosta americana, ha visto una disminución en la parte sur de su población a niveles muy bajos debido al calentamiento de las aguas³². Las declaraciones de desastre para la pesca comercial aumentaron notablemente de 1994 a 2019, con más del 84 % de los desastres vinculados a eventos medioambientales extremos, por un total de \$3,400 millones de ingresos perdidos y \$2,300 millones (en dólares de 2022) en financiamiento federal para el alivio de esos desastres¹⁰⁴. La reciente disminución de la pesca debido al clima ha ocurrido de forma generalizada^{85,105,106}, aunque algunas poblaciones han aumentado con el calentamiento de los océanos y las olas de calor (p. ej., los aumentos regionales en la población septentrional de langosta americana, calamar de mercado y pez sable^{32,107,108}). Aunque el clima no es el único factor que impacta las poblaciones de peces, es un factor de estrés añadido que agrava otros impactos negativos³³.

A lo largo del próximo siglo, se prevé que el cambio climático reduzca las capturas en todas las regiones de los EE. UU.⁹², lo que incluye algunas de las especies de mayor valor (p. ej., el cangrejo de las nieves del Mar de Bering, el abadejo, el bacalao del Pacífico, la langosta americana y las vieiras del Atlántico^{32,109,110,111,112}). En el caso de 16 especies que representan más de la mitad de los ingresos de la pesca comercial, se proyecta que los cambios inducidos por el clima provoquen pérdidas económicas de miles de millones de dólares de aquí a 2100, con pérdidas dos veces mayores en un escenario muy alto (RCP8.5) que en un escenario intermedio (RCP4.5)¹¹³. Muchas especies seguirán desplazándose hacia el norte y a mayor profundidad, lo que reducirá la accesibilidad para los pescadores de subsistencia y las embarcaciones más pequeñas y complicará las políticas de gestión y la asignación de límites^{114,115,116,117,118}. Las fuertes tormentas y el aumento del nivel del mar amenazarán cada vez más las infraestructuras costeras y las redes de transporte, que son fundamentales para la recolección y la distribución de productos del mar (KM 9.1)^{4,119}.

Los impactos climáticos no se distribuyen por igual en toda la industria pesquera y pueden verse agravados por factores no climáticos, como la gestión de negocios pesqueros, condiciones del mercado, condiciones socioeconómicas y perturbaciones externas (p. ej., el COVID-19)^{4,86,115,120}. Los impactos suelen ser mayores para los pequeños pescadores costeros, que tienen menos capacidad para seguir los cambios en la distribución de los peces o que tienen acceso a un número limitado de poblaciones de peces, mientras que los que tienen buques más grandes y una gama de capturas más diversas suelen ser más resilientes^{85,86,118,121}. La pesca comercial y los pescadores de subsistencia se están adaptando a estos cambios mediante medidas progresivas a corto plazo, inversiones empresariales congruentes con las condiciones cambiantes y esfuerzos de gestión que apoyan los negocios pesqueros preparados para el cambio climático (Figura 10.4)^{96,122,123}.

La efectividad de las respuestas de adaptación futuras puede verse limitada por la magnitud del cambio y factores como desigualdades en el financiamiento y la gobernanza entre comunidades, costos de los equipos o infraestructuras y acceso a los permisos de pesca (enfoque en riesgos de las cadenas de suministro)^{80,97,115,124}. A medida que la industria pesquera se adapta, iniciativas comunitarias como los bancos de permisos y las cooperativas de mariscos que se preparan para el cambio climático pueden mejorar las oportunidades equitativas y los beneficios socioeconómicos (Figura 10.4)^{125,126}. La diversificación de las cosechas y los medios de subsistencia, incluida la expansión hacia la acuicultura marina (KM 11.1), también puede ayudar a estabilizar los ingresos o amortiguar los riesgos. Las herramientas que predicen los cambios en la distribución de las especies pueden ayudar a evitar las capturas incidentales, reducir los costos y aumentar el rendimiento¹²⁷. Además, la gestión basada en el ecosistema y en el clima puede ajustar los límites de captura a la productividad de la población para mantener niveles de pesca sostenibles^{109,110,128}.

Estrategias de adaptación al cambio climático relacionado con los océanos



La adaptación puede producirse en muchas escalas organizativas, desde los individuos hasta los sistemas de gobernanza.

Figura 10.4. Se están iniciando o considerando numerosos tipos de medidas de adaptación para responder a y prepararse para los impactos del cambio climático en las actividades marinas y los sectores económicos correspondientes. Las medidas van desde pequeños ajustes (progresiva) hasta acciones de mayor envergadura dentro de los sistemas socioeconómicos y de gestión actuales (sistémica) y cambios sustanciales más allá de los sistemas existentes (transformadora). Créditos de la figura: Gulf of Maine Research Institute.

Turismo y recreación

El turismo y la recreación marina —el mayor sector de la economía marina, que representó \$274,500 millones de actividad económica en 2021 (en dólares de 2022)— se ven afectados tanto positiva como negativamente por el cambio climático¹²⁹. Las temperaturas más cálidas prolongan la temporada del turismo costero, pero el aumento del nivel del mar amenaza las instalaciones costeras (KM 9.2) y cambiará la dinámica de las olas cerca de la costa de manera que reducirá o eliminará algunas oportunidades para surfear¹³⁰. En el Golfo de México y el Caribe, el empeoramiento de las HAB¹³¹ y la proliferación de macroalgas (p. ej., *Sargassum*¹³²) debido a factores de estrés climáticos y locales no climáticos han suscitado preocupación por la salud humana (KM 23.1) y han alterado el turismo y la pesca^{133,134}. Los negocios de pesca recreativos están experimentando cambios relacionados con el clima en la participación de los pescadores, la elección de lugares y los gastos¹³⁵. A medida que continúe el calentamiento, la participación de los pescadores puede disminuir hasta un 15 %, con pérdidas de hasta \$413 millones anuales (en dólares de 2022) a lo largo de las costas del Atlántico y del Golfo de México; sin embargo, el calentamiento está aumentando la participación en algunas zonas (p. ej., Nueva Inglaterra)¹³⁶.

Del mismo modo, hay diferencias regionales en los impactos al turismo. La pérdida de hielo marino en el Ártico está creando oportunidades turísticas al permitir a los turistas de cruceros ver los ecosistemas antes de que el cambio climático los altere aún más¹³⁷. Sin embargo, el turismo de arrecifes de coral —valorado en casi \$3,000 millones anuales entre 2008 y 2012 (en dólares de 2022) en Hawaii y Florida— se ve amenazado

por el blanqueamiento y las enfermedades que desaniman a los buceadores (KM 23.3, 30.4)¹³⁸. A una escala más localizada, la pérdida de ballenas orcas del sur en el estrecho de Puget de Washington debido a la disminución de alimentos provocada por el clima supondría unas pérdidas anuales de \$39 millones en actividad económica (en dólares de 2022)^{36,139}.

Transporte

El cambio climático ya está afectando el transporte marítimo. La pérdida de hielo marino y la prolongación de las temporadas de mar abierto han permitido el tránsito entre el Atlántico y el Pacífico a través del Ártico, además el tráfico de buques en el Ártico se ha triplicado entre 1990 y 2015^{140,141}, y se sigue considerando el transporte marítimo por el Ártico¹⁴². Con un calentamiento de 2 °C (3.6 °F) por encima de los niveles preindustriales, se proyecta que los buques puedan navegar con confiabilidad por las rutas comerciales del Paso del Noroeste y el Puente Ártico en verano¹⁴³. Estas rutas pueden reducir las emisiones de carbono y los costos de transporte, pero existe preocupación por el impacto sobre las especies marinas y las comunidades locales, así como por las emisiones de carbono negro^{54,144,145,146}.

Las emisiones de los buques comerciales han aumentado con el tiempo, al igual que la contribución proporcional del sector a las emisiones globales (KM 13.1)¹⁴⁷, pero las emisiones de las embarcaciones recreacionales en los EE. UU. disminuyeron entre 1990 y 2021¹⁴⁸. El sector del transporte marítimo está poniendo en marcha nuevas medidas para reducir sus emisiones de GHG mediante el suministro de electricidad a los buques anclados¹⁴⁹, el aumento de la eficiencia de los buques para reducir las emisiones mundiales del transporte marítimo en un 50 % de aquí a 2050¹⁴⁷ y la planificación de algunas rutas marítimas con cero emisiones para 2025¹⁵⁰.

Energía

La producción de energía marina en los EE. UU. se encuentra en un período de transición. La energía marina se ha derivado casi exclusivamente de la extracción de hidrocarburos, que generó \$96,400 millones en 2021 (en dólares de 2022)¹. A nivel mundial, casi el 30 % de los activos de petróleo y gas comercialmente recuperables se encuentran en zonas de alto riesgo al impacto climático¹⁵¹. En los EE. UU., los huracanes más fuertes y el aumento de la altura de las olas y del nivel del mar amenazarán las instalaciones en alta mar y las estructuras costeras asociadas, como los oleoductos submarinos y las refinerías (KM 9.2)^{152,153}. Las instalaciones pueden requerir cada vez más respuestas adaptativas, como elevar la altura de las plataformas de petróleo y gas en el Golfo de México para reducir los daños de los huracanes^{154,155}.

Se espera que las fuentes de energía renovables aumenten en las próximas décadas como parte de la combinación energética marina. Las primeras instalaciones estadounidenses para generar electricidad a partir del viento marino se encuentran frente a la Costa Atlántica, y en 2021 Estados Unidos se fijó la meta para 2030 de instalar más de 30 gigavatios de capacidad, suficiente para abastecer unos 10 millones de hogares¹⁵⁶. Los estados han fijado metas adicionales para el desarrollo de la energía eólica marina que pueden hacer avanzar aún más esta capacidad. Hasta 2022, se han arrendado más de dos millones de acres de fondo oceánico para energía eólica, y se prevén más para 2025¹⁵⁷. Se espera que el crecimiento de la energía renovable marina aporte puestos de trabajo y beneficios económicos a ciertas comunidades costeras, pero sus impactos en el ecosistema aún se están determinando, y su desarrollo puede limitar otros usos del océano, como la pesca, el transporte y las preferencias estéticas^{158,159,160,161,162}.

Mensaje clave 10.3

El futuro de los océanos depende de las decisiones que tomemos en la actualidad

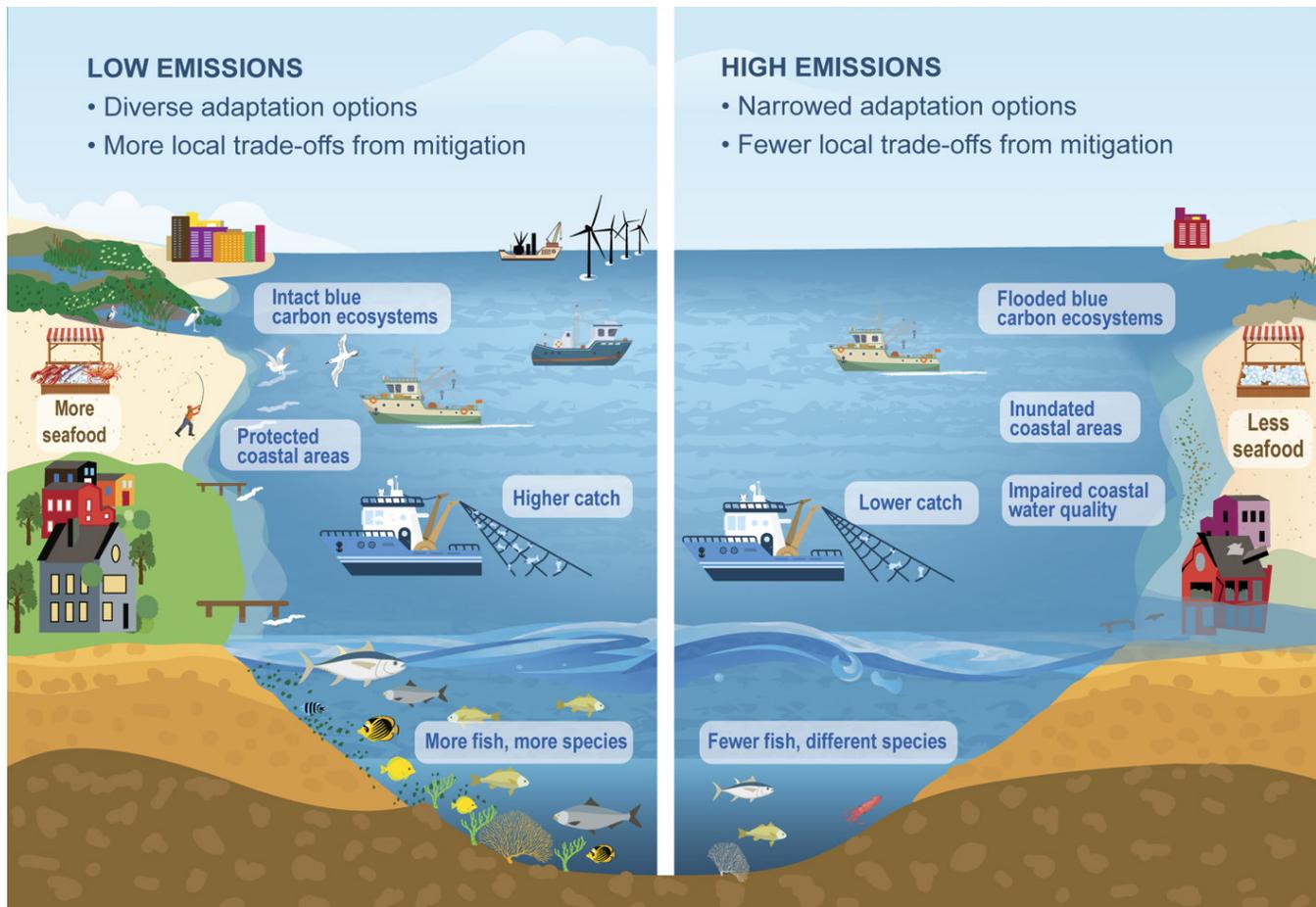
Los riesgos futuros para los ecosistemas y recursos marinos y las personas se reducirán sustancialmente al implementar medidas de adaptación y mitigación de forma inmediata (*confianza muy alta*). Responder con rapidez al cambio climático mejorará los resultados, reducirá los costos, fomentará la resiliencia y la equidad y permitirá el conjunto más amplio de posibles soluciones de adaptación (*confianza muy alta*). Los impactos seguirán siendo desiguales entre las comunidades, con resultados más perjudiciales en las comunidades que dependen en gran medida de los océanos y están históricamente marginadas, a menos que se implementen medidas equitativas de adaptación y mitigación (*confianza alta*).

Estado actual de las medidas de adaptación y mitigación marinas

Aunque los cambios sustanciales en los ecosistemas marinos provocados por el clima son inevitables en las próximas décadas (KM 2.3), el futuro de estos sistemas, de sus valiosos servicios y de los negocios, las comunidades y las economías que dependen de ellos vendrá determinado por las decisiones que tomemos ahora sobre la mitigación de las emisiones de GHG y la inversión en medidas de adaptación (Figura 10.5). Se necesitan enfoques proactivos, coordinados y a gran escala para planificar, financiar e implementar medidas de adaptación con el fin de lograr resultados efectivos y equitativos (KM 31.2)¹⁰. Las acciones reactivas para hacer frente a los impactos climáticos se están produciendo a escala individual, empresarial y comunitaria, pero la mayoría no están coordinadas y a veces son inefectivas (Figura 10.4). La capacidad de adaptación no es la misma en todas las comunidades o grupos; las comunidades que dependen en gran medida de los recursos marinos pueden enfrentarse a los mayores riesgos y verse limitadas por factores socioeconómicos, desigualdades históricas y actuales y acceso a sistemas de gobernanza o financiamiento^{4,5,163}. En varias regiones y sectores, están empezando a surgir prometedoras medidas proactivas de planificación de la adaptación. Por ejemplo, algunos organismos estatales y federales de gestión pesquera y comunidades de partes interesadas han dado prioridad a la preparación para el cambio climático y están desarrollando información, herramientas, planes y procesos para abordar los cambios futuros y la incertidumbre en los recursos marinos y la industria pesquera^{164,165}. Algunos municipios y comunidades indígenas están llevando a cabo planes integrales para la resiliencia climática que tienen en cuenta las necesidades de adaptación en múltiples sectores marinos (p. ej., las ciudades de Portland y South Portland 2021)¹⁶⁶; Takak *et al.* 2021¹⁶⁷).

También se están avanzando varios enfoques de mitigación marina¹⁶⁸. Las medidas para proteger y restaurar los ecosistemas marinos que capturan y almacenan dióxido de carbono —como manglares, praderas marinas y bosques de algas— están en marcha y ofrecen beneficios adicionales como la disipación de la energía de las olas y mejoras en el sector pesquero, pero los beneficios de la mitigación del carbono pueden ser modestos y variables (enfoque en carbono azul)^{10,169}. Proyectos financiados con fondos públicos y privados están evaluando las dimensiones técnicas, económicas y sociales de los métodos de eliminación de dióxido de carbono marino (KM 32.3; enfoque en carbono azul)^{170,171,172,173,174}. Se está implementando la energía eólica marina (KM 10.2) y se está desarrollando la conversión de la energía de las olas, especialmente en la cuenca del Pacífico¹⁷⁵. Motores eléctricos e híbridos para pequeñas embarcaciones¹⁷⁶ y ampliación de la producción de alimentos marinos con menos emisiones de GHG¹⁷⁷ también apoyan la mitigación marina. Las estimaciones sugieren que el incremento en la toma de medidas de mitigación marinas proporcionaría aproximadamente una cuarta parte de la reducción de GHG atmosféricos necesaria para cumplir los compromisos mundiales en 2050^{172,176,178}.

Condiciones y actividades marinas en dos escenarios climáticos



Las condiciones y actividades marinas futuras dependerán de los niveles de emisiones y de las estrategias de mitigación.

Figura 10.5. Los ecosistemas marinos y las actividades humanas del futuro variarán en escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero bajas y altas. Esta figura es una representación simplificada de los principales cambios previstos como consecuencia del cambio climático. En escenarios bajos (**izquierda**), se dispone de más opciones de adaptación y se mantienen servicios marinos como el suministro de alimentos y la protección costera, pero aumentarán las concesiones mutuas entre las actividades marinas. En escenarios altos (**derecha**), los ecosistemas se verán alterados, habrá menos opciones de adaptación y se prevén pérdidas de servicios en diversos sectores. Créditos de la figura: Center for American Progress y Gulf of Maine Research Institute.

Retos y concesiones mutuas

La implementación inmediata de medidas ambiciosas de mitigación y adaptación ofrece las mayores posibilidades de mantener los ecosistemas marinos y sus beneficios para las comunidades, así como de apoyar el desarrollo humano equitativo¹⁰. Las emisiones de carbono alcanzan su punto máximo a mediados de la década de los años 20 de este siglo en escenarios que limitan el calentamiento a menos de 3.6 °F (2 °C) por encima de los cuales se proyecta que los riesgos e impactos aumenten rápidamente en todos los sectores y regiones¹⁷⁹. Sin mitigación del carbono, las estimaciones indican que en la década de los años 30 de este siglo se superará el umbral crítico de calentamiento global de 2.7 °F (1.5 °C)¹⁷⁹.

La coordinación en el desarrollo de planes de adaptación es esencial para garantizar que las estrategias de los distintos sectores, comunidades y regiones sean complementarias y consigan resultados equitativos. Las opciones de adaptación y mitigación suelen tener más éxito si se basan en información sólida, se desarrollan

en colaboración con las comunidades locales y diversos agentes y se diseñan para reducir el riesgo de los ecosistemas y las comunidades^{10,180,181}. Aunque ya se están tomando medidas de adaptación en algunas zonas (KM 10.2), la capacidad de adaptación es desigual entre grupos, comunidades y sectores (KM 31.2). Las personas con activos socioeconómicos como fuertes conexiones sociales, mayores alternativas de subsistencia y riqueza económica son más resilientes a las alteraciones climáticas^{6,85,86,182}, y las que tienen mayor acceso a la información y a otros recursos estarán mejor posicionadas para participar en los esfuerzos de adaptación. Los procesos participativos de planificación, financiamiento y gobernanza diseñados para tener en cuenta las dinámicas de poder divergentes y la discriminación institucionalizada pueden involucrar a un amplio abanico de miembros de la comunidad en la coproducción de soluciones climáticas¹⁸¹. Incorporar deliberadamente conocimientos, perspectivas y valores locales puede ayudar a determinar soluciones de adaptación y mitigación eficientes, duraderas y equitativas^{8,180,181}.

La adaptación efectiva al cambio climático en los sistemas marinos también depende de la implementación de medidas de mitigación de carbono. Sin reducir las emisiones, el abanico de opciones de adaptación disminuye sustancialmente. Por ejemplo, las opciones de adaptación en los ecosistemas de coral y manglares incluyen reducir los factores de estrés no climáticos, como la contaminación, y dar prioridad a una gestión efectiva de las cosechas y a la restauración del hábitat. Con el aumento de las emisiones, estas medidas serán insuficientes para mantener el coral y los manglares debido a unas condiciones más cálidas y ácidas, y las adaptaciones se limitarán a opciones más costosas y de mayor riesgo, como translocación activa de especies, adaptación asistida o sombreado de arrecifes^{183,184}. A medida que aumentan las emisiones y disminuyen las opciones para mantener estos hábitats, se magnifican los riesgos de perder los servicios que prestan, como protección costera, medios de subsistencia, seguridad alimentaria, identidad cultural y turismo¹⁰.

Las medidas de adaptación con beneficios colaterales para la mitigación son especialmente prometedoras. Entre ellas se encuentran la restauración de arrecifes y humedales, acuicultura de algas, gestión basada en los ecosistemas y ordenación del espacio marino. Las soluciones basadas en la naturaleza tienen el potencial de ser costo-efectivas y autorreforzarse con el tiempo, y si se implementan a escala, pueden aportar beneficios climáticos, sociales y ecológicos para la adaptación y la mitigación del carbono^{185,186,187}. Las soluciones que incluyen objetivos de equidad y diversidad y se diseñan mediante enfoques inclusivos y participativos tienen el mayor potencial tanto para abordar las injusticias actuales como para aportar beneficios a los usuarios de los recursos marinos y a las comunidades indígenas^{180,188}.

Las tecnologías emergentes podrían ampliar aún más la mitigación marina, pero deben resolverse importantes incertidumbres. Los proyectos de investigación exploran el diseño, la fabricación y la integración en la red de dispositivos de captación de energía undimotriz, térmica y mareomotriz¹⁸⁹. Se están evaluando la electricidad y los combustibles de emisiones cero escalables como el hidrógeno para descarbonizar los buques marinos¹⁹⁰. Todas las técnicas de eliminación de dióxido de carbono marino requieren todavía una investigación sustancial sobre la escalabilidad, la durabilidad del almacenamiento de carbono, los impactos medioambientales y sociales, la gobernanza y el financiamiento, así como el desarrollo de marcos reguladores adecuados^{169,172,191}.

Las concesiones mutuas entre las actividades de adaptación y mitigación, los ecosistemas y los sistemas sociales pueden resultar más difíciles a medida que se despliegan más opciones. Las medidas de mitigación marinas, como la energía eólica marina o la eliminación del dióxido de carbono, podrían tener impactos medioambientales y económicos^{161,192}. Las infraestructuras de mitigación pueden afectar las actividades existentes como la pesca, la navegación y el transporte marítimo, que a su vez se están adaptando al cambio climático¹⁹³. La toma de decisiones sobre las opciones de mitigación y adaptación —por ejemplo, las relativas a las cargas medioambientales desproporcionadas que soportan los grupos raciales y étnicos históricamente marginados o las comunidades con menos recursos económicos— también plantea desafíos éticos¹⁹⁴.

Estos pueden ser mayores para las acciones relacionadas con el océano, dados sus complejos sistemas de gobernanza¹⁹⁵.

Necesidades y oportunidades

Los esfuerzos para mitigar y adaptarse al cambio climático relacionado con los océanos suelen ir a la zaga de los esfuerzos en tierra por varias razones, entre ellas el déficit de observaciones marinas, la falta de pronósticos y proyecciones sólidas y las limitaciones en la comprensión de los cambios fundamentales relacionados con el clima. El sector marino también se enfrenta a desafíos relacionados con la falta de herramientas y servicios para la adaptación, la gestión y gobernanza sectoriales (o aisladas), el financiamiento insuficiente y las metas divergentes de las partes interesadas¹⁰. Facilitar un acceso equitativo a la información procedente de la investigación científica y los conocimientos locales, promover la planificación basada en evidencia y la gestión adaptativa e implementar medidas para abordar los riesgos a corto y largo plazos pueden ayudar a prepararse para los impactos climáticos sobre los ecosistemas y recursos marinos.

Datos e investigación

Responder de forma efectiva y sensible a los cambios en los océanos implica monitorear las variaciones en los sistemas socioecológicos y utilizar esa información para abordar los riesgos. La ampliación estratégica y la coordinación de las observaciones marinas y de los programas de seguimiento a largo plazo (incluida la ciencia comunitaria) son necesarias para documentar los cambios en todos los ecosistemas marinos^{196,197,198,199}. El conocimiento indígena y local de los cambios en los ecosistemas puede integrarse mejor con otras fuentes de conocimiento para apoyar la toma de decisiones sobre los ecosistemas marinos^{180,200,201}. Siguen existiendo importantes limitaciones en el seguimiento, la comprensión y la proyección de los cambios en los ecosistemas marinos y los impactos sobre las comunidades y las economías. En particular, se dispone de pocos datos sobre el Caribe estadounidense y las Islas del Pacífico afiliadas a los EE. UU. Además, son pocos los esfuerzos coordinados de seguimiento y desarrollo de la información que trascienden las fronteras regionales o internacionales²⁰².

No se dispone de datos económicos y sociales relevantes para el clima a las escalas temporales y geográficas necesarias para hacer un seguimiento de cómo los impactos del cambio climático relacionado con el océano afectan a las personas. Faltan datos socioeconómicos, como el número de personas que utilizan el océano con fines recreativos, o solo existen a grandes escalas geográficas que no permiten analizar los impactos locales ni evaluar la efectividad de las estrategias de adaptación^{203,204}. Además, la falta de datos socioeconómicos impide comprender la disparidad de los impactos y las respuestas al cambio climático en comunidades de diferentes tamaños y niveles de ingresos.

Uso de datos para informar la gestión y adaptación

Las respuestas a los impactos climáticos tienen más éxito cuando incorporan información científica sólida a las decisiones, que pueden apoyarse en investigaciones y productos diseñados con los usuarios finales²⁰⁵. Mayor accesibilidad a los datos y conocimientos técnicos centrados en la interpretación de los impactos climáticos y la efectividad de la adaptación facilitarán investigación innovadora y ayudarán a proporcionar información relevante para los responsables de la toma de decisiones y las partes interesadas. Se necesitan urgentemente avances continuos en los pronósticos a corto plazo y por décadas para proporcionar a los responsables de la toma de decisiones alertas tempranas y dar forma a las opciones que se incorporan a los planes de respuesta, en particular para eventos extremos como olas de calor marinas, blanqueamiento de corales, HAB o cambios en la población de peces^{206,207,208,209,210}. Las proyecciones a medio y largo plazos de los cambios en los ecosistemas marinos son necesarias para apoyar las evaluaciones de riesgos y la planificación estratégica^{211,212}. El desarrollo de modelos operativos marinos y de sistemas de apoyo a la toma de decisiones es un paso prometedor para proporcionar a los responsables de la toma de decisiones información con base científica para implementar medidas de adaptación^{122,210}.

Gobernanza y financiamiento

El alcance de los impactos climáticos futuros dependerá tanto de la naturaleza y la magnitud de los cambios relacionados con el clima como del grado en que las personas, las empresas, las comunidades y los gobiernos puedan adaptarse a esos cambios²¹³. El ritmo, la escala y el alcance de los impactos climáticos previstos sobre los ecosistemas marinos exigen evaluar la capacidad de los marcos de gobernanza y gestión existentes para responder de forma efectiva. También se necesitan incentivos financieros para desarrollar e implementar medidas de mitigación y adaptación, incluido el apoyo a la adaptación comunitaria y sectorial. Las opciones de adaptación y mitigación ocasionan inevitables concesiones mutuas que afectan los posibles resultados, los costos de implementación y las entidades que asumen los costos o reciben los beneficios¹⁶⁸. Los marcos inclusivos y participativos para evaluar estas concesiones mutuas apoyarán las deliberaciones equitativas sobre los posibles resultados y las incertidumbres que rodean las opciones específicas. Estos procesos son especialmente críticos para las comunidades indígenas con fuertes conexiones socioculturales con los ecosistemas marinos y los recolectores de subsistencia que dependen de los recursos marinos para su seguridad alimentaria, nutricional y económica^{5,214}. Los sistemas de gobernanza adaptativa y los mecanismos de coordinación intersectoriales y a distintas escalas pueden ayudar a impulsar acciones que sean aceptables para las múltiples partes interesadas²¹³.

Cuentas trazables

Descripción del proceso

Selección de autores

Los líderes del capítulo tuvieron en cuenta las sugerencias del proceso de notificación del Registro Federal y de sus propias redes para identificar autores con conocimientos temáticos, familiaridad geográfica y perspectivas disciplinarias que abarcan numerosos temas relevantes para el capítulo. La meta era formar un equipo diverso en términos de diversidad racial, étnica y de género; etapa profesional; participación en evaluaciones climáticas anteriores; y representación de los sectores académico, gubernamental y no gubernamental. Se emitieron diecisiete invitaciones, a partir de las cuales se formó un equipo de ocho autores, entre los que había científicos físicos, ecólogos marinos, científicos especializados en pesca, economistas y analistas políticos con experiencia en la evaluación del impacto del clima en los ecosistemas marinos, la pesca, las economías marinas y las comunidades costeras. Los autores también tienen experiencia en enfoques de conservación, estrategias de adaptación y medidas de gestión que pueden amortiguar los impactos del cambio climático, y varios de ellos se dedican a la investigación y al análisis de políticas relacionadas con las opciones de mitigación climática marina.

Revisión de literatura y participación pública

Los autores del capítulo revisaron el capítulo “Océanos y recursos marinos” de la Cuarta Evaluación Nacional del Clima (Fourth National Climate Assessment, NCA4)²¹⁵ y propusieron varias ideas sobre temas para la Quinta Evaluación Nacional del Clima (Fifth National Climate Assessment, NCA5) que habían surgido desde entonces o que no estaban bien cubiertos en la NCA4. El líder del capítulo identificó temas adicionales a partir del documento de revisión de la evaluación del Programa Estadounidense de Investigación sobre el Cambio Global (US Global Change Research Program, USGCRP) y de los comentarios públicos. La importancia de ciertos temas se reforzó y se identificaron temas adicionales durante tres talleres de participación pública organizados por el USGCRP (25 de enero de 2022), American Fisheries Society (1 de febrero de 2022) y Ocean Sciences Meeting (24 de febrero de 2022). Los temas iniciales se perfeccionaron posteriormente mediante la revisión de las agencias y los aportes del público. El equipo de autores reevaluó sistemáticamente la literatura para incorporar los avances científicos a la evaluación y priorizar los temas que podían tratarse dentro de las limitaciones de espacio.

Proceso de toma de decisiones

El equipo del capítulo organizó videoconferencias semanales o quincenales para perfeccionar los temas del capítulo, los mensajes clave y la información de apoyo basándose en los debates sobre el estado de la ciencia. Pequeños grupos de autores elaboraron el texto asociado a cada mensaje clave basándose en su experiencia, revisión de literatura y los aportes de las partes interesadas. Todo el equipo de autores revisó cada mensaje clave y su información de apoyo, y se hicieron revisiones hasta que el equipo quedó satisfecho con el texto. El autor principal realizó una encuesta para obtener la opinión detallada de cada autor sobre las afirmaciones de alto nivel de los mensajes clave y las calificaciones de confianza y probabilidad asociadas. Las diferencias en la redacción y las valoraciones se analizaron entre el equipo de autores, además se hicieron revisiones hasta que el grupo llegó a un consenso sobre el contenido de esas afirmaciones.

Mensaje clave 10.1

Impacto climáticos sin precedentes amenazan los ecosistemas y el bienestar humano

Descripción de la base de evidencia

Un conjunto sólido de evidencia demuestra que el cambio climático está generando importantes impactos en los ecosistemas marinos estadounidenses. Cambios en las condiciones físicas y químicas de los océanos (Capítulos 2, 3)^{10,12} afectan las especies a través de cambios en la distribución, la productividad y la fenología^{15,16,18,19}. En los hábitats de aguas poco profundas (arrecifes de coral, praderas marinas y bosques de algas) se han documentado declives como resultado del clima^{20,22}, pero se dispone de poca evidencia para evaluar los impactos en las profundidades marinas⁴⁹. En determinados lugares (p. ej., el Ártico y hábitats de arrecifes de coral) se están alcanzando umbrales, más allá de los cuales se erosionarán las funciones de los ecosistemas y se alterarán los sistemas de forma permanente^{22,58}.

Cada vez hay más evidencia que documenta los impactos del clima en las comunidades humanas dependientes del mar y las alteraciones en las interconexiones culturales y sociales, las economías y los medios de subsistencia. Los cambios en los ecosistemas provocados por el clima amenazan los vínculos sociales críticos que sustentan el bienestar, la subsistencia y las identidades económicas y culturales de muchas comunidades con fuertes lazos con el océano, en particular las comunidades indígenas costeras e insulares (KM 29.5, 30.5)^{54,163}. El cambio climático ha impactado profundamente las comunidades indígenas en la captura de especies marinas, incluidas las que son fundamentales para la subsistencia^{54,56,60,62}. El conocimiento indígena sigue revelando la amplitud de los impactos climáticos sobre la salud humana, los ecosistemas y los recursos de subsistencia, así como la efectividad de las medidas de adaptación^{57,62,63}.

La evidencia de los impactos ecológicos y sociales futuros se basan en proyecciones climáticas para extrapolar las respuestas contemporáneas al futuro. Las proyecciones de los modelos muestran consenso sobre la dirección de muchos cambios físicos y químicos (p. ej., mayor calentamiento, descenso del pH; KM 2.1)¹⁷⁹. Con base en las respuestas observadas de las especies a las condiciones medioambientales y en los límites fisiológicos conocidos, se espera que las poblaciones y las distribuciones se vean sustancialmente alteradas por el cambio climático^{10,72,75,78}. Se espera que los impactos de los cambios en los ecosistemas marinos sobre los seres humanos aumenten a medida que las condiciones se alejen más de las condiciones pasadas, aunque la magnitud depende de la tasa de cambio y de la capacidad de adaptación²¹³.

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

Aunque las tendencias físicas y biológicas generales están bien caracterizadas y se proyecta que continúen, la escala exacta, la sincronización y la localización de los impactos futuros son inciertos. La incertidumbre en la escala de los impactos se deriva principalmente de la falta de claridad de las trayectorias socioeconómicas futuras (incluidas las emisiones de gases de efecto invernadero [greenhouse gas, GHG]). La disparidad de los modelos sobre la sensibilidad del clima de la Tierra a futuros socioeconómicos (KM 2.1) y, en algunos casos, la inadecuada resolución de los modelos para pronosticar los efectos a escala local también contribuye a la incertidumbre²¹². Aunque la severidad de los eventos extremos aumentará a medida que la variabilidad natural se sume a una línea de base cambiante (KM 2.2), no sabemos exactamente cuándo ni dónde se producirán los eventos extremos. Por lo tanto, el desarrollo continuo de sistemas de predicción es una prioridad para ampliar el tiempo de anticipación de las alertas de eventos extremos (p. ej., Tommasi *et al.* 2017²¹⁰; Jacox *et al.* 2022²⁰⁶).

Los impactos biológicos y ecológicos del cambio climático, como los cambios en la distribución de las especies, pueden evaluarse basándose en observaciones anteriores. Sin embargo, muchos de los sistemas

de observación existentes se empezaron a implementar en décadas recientes¹⁹⁹, y aún existen insuficientes estudios sobre el océano profundo²¹⁶. Existe incertidumbre sobre los modelos de relaciones físico-biológicas y desafíos para escalar los impactos del cambio climático a nivel individual a la dinámica de poblaciones, las interacciones comunitarias o las funciones de los ecosistemas. Los datos y estudios sobre ecosistemas y sistemas socioecológicos acoplados escasean a escalas grandes o complejas.

Las brechas en la investigación aumentan en todo el espectro de complejidad, desde cambios físicos hasta impactos ecológicos y humanos a nivel de sistema¹⁰. Los estudios de referencia varían mucho según los ecosistemas marinos y las regiones. Por ejemplo, los ecosistemas costeros se observan y estudian mucho mejor que el océano profundo, y las regiones de los EE. UU. con las señales climáticas más fuertes o en las que se producen eventos extremos (p. ej., Alaska, el Noreste o la Costa Oeste) se han estudiado más exhaustivamente que otras regiones. Se dispone de pocos estudios para evaluar los impactos del clima en los ecosistemas marinos, recursos y comunidades de regiones no continentales de los EE. UU, como Hawaii y las Islas del Pacífico afiliadas a los EE. UU. y el Caribe estadounidense.

Descripción de confianza y probabilidad

Para la mayoría de los elementos de este mensaje clave, los autores han decidido no asignar calificaciones de probabilidad, ya que las proyecciones cuantitativas de los impactos analizados suelen centrarse en una especie, un proceso o una ecorregión específicos. Resulta difícil trasladar las probabilidades de estos estudios específicos a un mensaje general. Las declaraciones de probabilidad dependen del escenario, y los estudios pueden no utilizar los mismos escenarios o compararlos, lo que limita una evaluación consistente de la probabilidad.

La amplia y creciente literatura sobre los impactos del clima en los ecosistemas marinos, junto con los estudios de atribución que demuestran que el cambio climático provocado por la actividad humana está conllevando a condiciones marinas más allá de la variabilidad histórica, ofrecen *confianza muy alta* en que hemos entrado en un período sin precedentes de cambios de los ecosistemas marinos provocados por el clima^{179,213}. Los estudios sobre las respuestas biológicas al cambio climático están muy extendidos, pero hay menos investigación que documente cómo los impactos en cascada de los cambios físicos y ecológicos del océano afectan las comunidades humanas. La información disponible indica que los impactos son predominantemente neutros o negativos, lo que conduce a una *confianza alta* en nuestra comprensión de los impactos sobre los medios de subsistencia, las culturas, los suministros de alimentos y otras conexiones humano-marinas¹⁰. Varios estudios se han centrado en los impactos sobre los Pueblos Indígenas, e indican *confianza muy alta* en que el cambio climático está alterando los modos de vida, las tradiciones culturales y las conexiones con el océano de muchos grupos indígenas^{54,58,68}. La literatura científica proyecta de forma abrumadora que los cambios en los sistemas socioecológicos provocados por el clima serán más frecuentes e intensos a medida que el cambio climático provocado por la actividad humana se aleje de la variabilidad natural del clima, con los mayores impactos en escenarios altos o muy altos^{72,75}. Dado que una amplia base de evidencia proyecta consistentemente mayores riesgos para los ecosistemas marinos en escenarios más altos, este resultado se considera *probable* con *confianza muy alta*. Aunque existe incertidumbre sobre el ritmo y la efectividad de la adaptación en los sistemas socioecológicos, existe *confianza muy alta* en que los riesgos serán elevados si el ritmo de adaptación no iguala o supera el ritmo del cambio climático. La existencia de puntos de inflexión ecológicos está respaldada por la teoría y la evidencia empírica (p. ej., Hoegh-Guldberg *et al.* 2019⁷⁷; Stewart-Sinclair *et al.* 2020⁷⁹; Penn y Deutsch 2022⁷⁸), y los autores tienen *confianza muy alta* en que muchos sistemas avanzan hacia puntos de inflexión y que algunos se cruzarán en el futuro. Esta confianza es mayor en ecosistemas como los arrecifes de coral, que sufren frecuentes episodios de blanqueamiento y muerte¹⁰ y en el Ártico, donde la disminución del hielo marino está alterando el ecosistema y las conexiones socioecológicas (KM 29.5). Los autores tienen *confianza alta* en que a medida

que los ecosistemas avanzan hacia puntos de inflexión, los sistemas sociales interconectados sufrirán cambios fundamentales que amenazarán el bienestar de las personas y las comunidades⁷⁶.

Mensaje clave 10.2

El cambio climático altera las actividades económicas marinas

Descripción de la base de evidencia

Los estudios caracterizan el impacto observado y proyectado del cambio climático en la industria pesquera de los EE. UU. Entre ellos se incluyen los impactos de la temperatura sobre la productividad y la redistribución de las especies y la pesca comercial, las comunidades, las cadenas de suministro, los mercados y la gestión de la pesca^{15,69,85,96,97,100,118,121}. La pesca comercial y los pescadores de subsistencia se están adaptando a estos cambios mediante cambios en los lugares de pesca, las especies objetivo, la diversificación de las capturas y otras estrategias, aunque la capacidad de adaptación varía según los distintos tipos de pescadores y comunidades^{68,85,118,163}. Se dispone de proyecciones sobre cómo el cambio climático afectará la pesca en muchos de los mayores negocios pesqueros de los EE. UU. (p. ej., Rheuban *et al.* 2017;¹¹¹ Le Bris *et al.* 2018;³² Holsman *et al.* 2020;¹¹⁰ Moore *et al.* 2021¹¹³). Sin embargo, la magnitud de los impactos difiere entre modelos que varían en resolución, complejidad e inclusión de medidas de gestión regional^{109,217}.

Varios estudios caracterizan los cambios en el comportamiento humano en torno al turismo y la recreación provocados por la temperatura y las condiciones meteorológicas^{130,135,136}, así como los impactos directos sobre los recursos que impulsan el turismo^{36,138,139}. Los datos necesarios para cuantificar los impactos y beneficios de las medidas de mitigación en el sector del transporte son más limitados, aunque se ha prestado una gran atención al Ártico^{54,60,140,143}. El aumento del nivel del mar también amenazaré el transporte marítimo y las infraestructuras costeras (KM 9.2).

Diversos estudios han determinado que el cambio climático, en particular el aumento del nivel del mar y la intensificación de las tormentas, supone una amenaza directa para las infraestructuras de petróleo y gas marinas¹⁵⁵, así como un aumento indirecto del riesgo de vertidos de petróleo debido al cambio climático¹⁵⁴. En cuanto a la energía eólica marina, los estudios han calculado la capacidad de producción y la variabilidad de las costas estadounidenses y han descrito los posibles impactos en los ecosistemas circundantes^{161,192} y en los usos del océano^{158,160,162}.

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

La literatura científica asociada a los impactos climáticos y las respuestas adaptativas de las industrias marinas está desarrollada y en aumento para la pesca comercial, pero es limitada para muchos otros sectores. Aunque el turismo representa el mayor sector de la economía marina, existen relativamente pocos estudios que proyecten los impactos climáticos sobre el sector turístico marino estadounidense a escalas regional y nacional. Los que están disponibles se centran en sectores específicos de lugares específicos, como los cruceros en el Ártico¹³⁷, el turismo de arrecifes de coral en Florida y Hawaii¹³⁸ y la observación de ballenas en Puget Sound¹³⁹. Los estudios sobre el impacto del clima en la pesca recreativa marinas también son limitados^{135,136}, especialmente en comparación con los amplios estudios sobre la pesca comercial. Se están desarrollando esfuerzos para reducir las emisiones de GHG de los buques, los puertos y el transporte marítimo^{147,149}, pero la limitada disponibilidad de datos dificulta el seguimiento de los avances en la implementación y de las emisiones resultantes. Desde hace poco se dispone de una síntesis sobre el estado de los conocimientos relacionados con los impactos ecológicos, económicos y comunitarios del desarrollo de las energías renovables marinas¹⁵⁹.

La mayor limitación para comprender los impactos económicos y sociales del cambio climático en los medios de subsistencia dependientes del mar se deriva de la falta de datos económicos y sociales disponibles públicamente, específicamente a las escalas espaciales y temporales necesarias para seguir los cambios, medir los impactos y hacer proyecciones para los sectores económicos marinos²¹⁸. Esta brecha limita los esfuerzos para cuantificar la magnitud de los impactos, la efectividad de las estrategias de adaptación, los diferentes impactos y respuestas entre los distintos grupos. Un área de estudio emergente se refiere a los impactos ecológicos, sociales, económicos y culturales, interactivos y combinados de los cambios en los sistemas socioecológicos con los que interactúan las industrias marinas.

Descripción de confianza y probabilidad

En numerosos estudios existe un alto grado de acuerdo y evidencia sólidas, y por tanto *confianza alta*, en que el cambio climático supone un riesgo significativo para los sectores y las actividades económicas marinas. Esta evidencia incluye varias determinaciones del riesgo del cambio climático de informes de evaluación recientes con capítulos centrados en sectores y comunidades marinos (p. ej., Constable *et al.* 2022²¹⁹; Cooley *et al.* 2022¹⁰; Hicke *et al.* 2022⁷). Múltiples estudios han evaluado el riesgo a lo largo del tiempo en diferentes escenarios futuros de mitigación del carbono; un alto consenso en los resultados genera una *confianza muy alta* en que los impactos del cambio climático aumentan con el tiempo y con mayores niveles de calentamiento global, lo que supone mayores riesgos para las comunidades y grupos que tienen menos alternativas económicas y menor capacidad de adaptación^{179,213}. Los impactos del cambio climático relacionado con el océano dependen de la efectividad y viabilidad de las medidas de adaptación, que siguen siendo en gran medida incipientes¹⁰, lo que lleva a una *confianza media* en que las medidas de adaptación puedan ayudar a reducir los impactos del cambio climático. Las opciones de adaptación se reducen y los desafíos de la adaptación aumentan con la mayor magnitud y complejidad de los impactos^{7,10}, lo que genera una *confianza alta* en los límites de adaptación en escenarios más altos. Las proyecciones cuantitativas de los impactos climáticos en los sectores de la economía marina son escasas y específicas de cada lugar, y no utilizan escenarios climáticos múltiples o comparables; por ello, los autores han decidido no utilizar calificaciones de probabilidad.

Mensaje clave 10.3

El futuro de los océanos depende de las decisiones que tomemos en la actualidad

Descripción de la base de evidencia

Existe abundante evidencia de que la severidad y el ritmo de los impactos climáticos futuros sobre los sistemas marinos y las comunidades dependientes de los océanos variarán de acuerdo con las trayectorias de los GHG, que reflejan las decisiones de la sociedad (KM 2.3, 3.1). Los impactos locales, regionales y sectoriales se verán influenciados por el ritmo y la efectividad de los esfuerzos de adaptación¹⁰.

Cada vez son más los esfuerzos que indican el potencial de las soluciones de mitigación y adaptación marinas. Se están logrando avances en la mitigación mediante la producción de energía renovable marina^{156,157}, la descarbonización de la industria del transporte marítimo (KM 13.2)¹⁴⁷ y la expansión de sistemas alimentarios marinos con menores emisiones globales (KM 11.1)¹⁷⁷. Además, las soluciones basadas en la naturaleza, como preservación y restauración de los ecosistemas de carbono azul (enfoque en carbono azul)²²⁰ y técnicas de eliminación de dióxido de carbono que aprovechan los sistemas marinos y mejoran el sumidero natural de carbono marino (KM 32.3)¹⁷² pueden ofrecer enfoques costo-eficientes y efectivos que apoyen la mitigación del carbono, la adaptación al clima y la biodiversidad^{185,186,221}. Sin embargo, los beneficios

para la adaptación y la biodiversidad son actualmente más claros que los beneficios a largo plazo para la mitigación (p. ej., secuestro de carbono), y se necesitaría más investigación para comprender las escalas a las que se obtienen los beneficios de la mitigación, las tasas de crecimiento de los beneficios con el tiempo y la efectividad de las medidas específicas en relación con otras opciones de mitigación^{187,222}.

Incluso con reducciones rápidas y ambiciosas de las emisiones de GHG, los impactos climáticos sobre los océanos continuarán¹⁷⁹. Los estudios existentes documentan cómo los usuarios de los océanos, los sectores económicos y las comunidades de los EE. UU. están reaccionando a los impactos climáticos con una variedad de estrategias, lo que incluye cambios empresariales, sistemas de alerta temprana, gestión basada en la evidencia, planificación de la resiliencia, ajustes en la gobernanza e innovaciones tecnológicas^{10,69,96,122}. Se prevén disparidades porque no todas las personas y comunidades tienen la misma capacidad de adaptación, pero existen pocos estudios para comprender los tipos de disparidades que están surgiendo, cómo se distribuyen entre las distintas comunidades y grupos y en qué medida están mediadas por factores como la conectividad social, la riqueza o la diversidad de opciones de subsistencia disponibles^{4,86,182}.

Cada vez hay más evidencia de que las estrategias de adaptación altamente coordinadas, planificadas con antelación y puestas en práctica a mayor escala producen resultados más duraderos y equitativos^{7,10}. Independientemente del enfoque de adaptación, existe evidencia sólida y abundante de que, con el aumento continuado de las emisiones, disminuirá el número de opciones de adaptación efectivos²¹³. Abundante y diversa evidencia procedente de los EE. UU. y de todo el mundo indica que las condiciones futuras harán más difícil mantener las interconexiones ecológicas, sociales, culturales y económicas relacionadas con los ecosistemas marinos²¹³.

Principales incertidumbres y brechas en la investigación

Es necesario comprender mejor los beneficios y riesgos relativos de las estrategias de adaptación, las condiciones que influyen en su efectividad, la viabilidad de su adopción por distintos grupos de personas y los costos de implementación. Se dispone de pocos datos e investigaciones para cuantificar los impactos socioeconómicos del cambio climático y cómo varían entre comunidades o grupos, o para evaluar cómo influyen las condiciones e interacciones sociales (p. ej., económicas, de gobernanza o de coordinación social) en la elección, la implementación y la efectividad de las opciones de adaptación¹⁰. Aún no se conocen bien los límites de la adaptación de los ecosistemas, las personas y las comunidades. Si determinadas condiciones como conectividad social, flexibilidad, activos socioeconómicos y diversidad de medios de subsistencia^{4,182} aíslan a los usuarios de los recursos marinos de los impactos climáticos y cómo pueden mejorarse siguen siendo áreas de conocimiento emergente.

Aún no se conoce bien cómo las soluciones de mitigación marinas afectarían los ecosistemas marinos, los usos existentes del océano y las comunidades humanas que dependen del mar. El potencial de reducción de GHG y los costos de muchas opciones de mitigación marinas son todavía muy inciertos, y se necesita más información para evaluar plenamente su efectividad, escalabilidad y asequibilidad^{169,176}. Cada vez hay más información sobre cómo el desarrollo de la energía eólica marina puede afectar el sistema físico y natural circundante¹⁵⁹, y algunos de estos conocimientos pueden aplicarse a las técnicas en desarrollo, como la eliminación del dióxido de carbono marino. Se espera que el desarrollo de nuevos usos del océano altere el acceso para otras actividades, pero no está claro cómo las estrategias de adaptación y las medidas de mitigación pueden influir en los patrones de uso del océano y en los tipos de usuarios que pueden verse favorecidos o perjudicados por estos cambios¹⁹³.

La estrecha relación entre una mitigación ambiciosa y una mayor cartera de adaptaciones efectivas se reconoce en muchos ecosistemas y sectores. Sin embargo, solo existen datos para un número limitado de ecosistemas marinos, como los arrecifes de coral de aguas cálidas y los manglares¹⁰, y la realización de estudios adicionales centrados en los océanos mejoraría su comprensión. Existe relativamente poca

información sobre las concesiones mutuas entre las opciones de adaptación o las interacciones entre la adaptación y la mitigación marinas y las condiciones sociales dominantes. Estas conexiones se derivan principalmente de la analogía con los sistemas costeros y terrestres, donde la evidencia sobre la toma de decisiones entre la actividad humana y los sistemas naturales tiende a estar más disponible.

Descripción de confianza y probabilidad

Según diversos estudios, los impactos del cambio climático están afectando los sistemas socioecológicos marinos y se proyecta que los riesgos aumenten en el futuro²¹³. Las proyecciones indican consistentemente que los riesgos para los sistemas socioecológicos marinos son menores en los escenarios climáticos que logran un alto grado de mitigación y adaptación y que se implementan tempranamente, lo que arroja una *confianza muy alta* en este patrón de resultados¹⁰. Se conservará una gama más amplia de opciones de adaptación si se implementan tempranamente y siguen el ritmo de los impactos del cambio climático^{7,10}, generando una *confianza muy alta* en que una adaptación más temprana mejorará los resultados y reducirá los costos. Se están observando impactos en comunidades que dependen en gran medida de los recursos marinos y que tienen una capacidad limitada para adaptarse, incluidas las comunidades indígenas, las economías dependientes de los recursos y la pesca a pequeña escala^{58,68,86,118,163}. Estos estudios generan una *confianza alta* en que los impactos son desiguales y que se requieren consideraciones intencionadas que promuevan mitigación y adaptación equitativas para reducir los impactos desproporcionados.

Referencias

1. BEA, 2023: Marine Economy Satellite Account, 2021: New Statistics for 2021; 2014–2020 Updated. BEA 23–24. U.S. Department of Commerce, Bureau of Economic Analysis. <https://www.bea.gov/sites/default/files/2023-06/mesa0623.pdf>
2. Pecl, G.T., M.B. Araújo, J.D. Bell, J. Blanchard, T.C. Bonebrake, I.-C. Chen, T.D. Clark, R.K. Colwell, F. Danielsen, B. Evengård, L. Falconi, S. Ferrier, S. Frusher, R.A. Garcia, R.B. Griffis, A.J. Hobday, C. Janion-Scheepers, M.A. Jarzyna, S. Jennings, J. Lenoir, H.I. Linnetved, V.Y. Martin, P.C. McCormack, J. McDonald, N.J. Mitchell, T. Mustonen, J.M. Pandolfi, N. Pettorelli, E. Popova, S.A. Robinson, B.R. Scheffers, J.D. Shaw, C.J.B. Sorte, J.M. Strugnell, J.M. Sunday, M.-N. Tuanmu, A. Vergés, C. Villanueva, T. Wernberg, E. Wapstra, and S.E. Williams, 2017: Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, **355** (6332), eaai9214. <https://doi.org/10.1126/science.aai9214>
3. Tigchelaar, M., W.W.L. Cheung, E.Y. Mohammed, M.J. Phillips, H.J. Payne, E.R. Selig, C.C.C. Wabnitz, M.A. Oyinlola, T.L. Frölicher, J.A. Gephart, C.D. Golden, E.H. Allison, A. Bennett, L. Cao, J. Fanzo, B.S. Halpern, V.W.Y. Lam, F. Micheli, R.L. Naylor, U.R. Sumaila, A. Tagliabue, and M. Troell, 2021: Compound climate risks threaten aquatic food system benefits. *Nature Food*, **2** (9), 673–682. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00368-9>
4. Colburn, L.L., M. Jepson, C. Weng, T. Seara, J. Weiss, and J.A. Hare, 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. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.04.030>
5. Crosman, K.M., E.H. Allison, Y. Ota, A.M. Cisneros-Montemayor, G.G. Singh, W. Swartz, M. Bailey, K.M. Barclay, G. Blume, M. Colléter, M. Fabinyi, E.M. Faustman, R. Fielding, P.J. Griffin, Q. Hanich, H. Harden-Davies, R.P. Kelly, T.-A. Kenny, T. Klinger, J.N. Kittinger, K. Nakamura, A.P. Pauwelussen, S. Pictou, C. Rothschild, K.L. Seto, and A.K. Spalding, 2022: Social equity is key to sustainable ocean governance. *npj Ocean Sustainability*, **1** (1), 4. <https://doi.org/10.1038/s44183-022-00001-7>
6. Mason, J.G., J.G. Eurich, J.D. Lau, W. Battista, C.M. Free, K.E. Mills, K. Tokunaga, L.Z. Zhao, M. Dickey-Collas, M. Valle, G.T. Pecl, J.E. Cinner, T.R. McClanahan, E.H. Allison, W.R. Friedman, C. Silva, E. Yáñez, M.Á. Barbieri, and K.M. Kleisner, 2022: Attributes of climate resilience in fisheries: From theory to practice. *Fish and Fisheries*, **23** (3), 522–544. <https://doi.org/10.1111/faf.12630>
7. Hicke, J.A., S. Lucatello, L.D. Mortsch, J. Dawson, M.D. Aguilar, C.A.F. Enquist, E.A. Gilmore, D.S. Gutzler, S. Harper, K. Holsman, E.B. Jewett, T.A. Kohler, and K. Miller, 2022: Ch. 14. North America. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, and B. Rama, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 1929–2042. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.016>
8. Schipper, E.L.F., A. Revi, B.L. Preston, E.R. Carr, S.H. Eriksen, L.R. Fernandez-Carril, B.C. Glavovic, N.J.M. Hilmi, D. Ley, R. Mukerji, M.S.M.d. Araujo, R. Perez, S.K. Rose, and P.K. Singh, 2022: Ch. 18. Climate resilient development pathways. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, and B. Rama, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2655–2807. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.027>
9. Trebilco, R., A. Fleming, A.J. Hobday, J. Melbourne-Thomas, A. Meyer, J. McDonald, P.C. McCormack, K. Anderson, N. Bax, S.P. Corney, L.X.C. Dutra, H.E. Fogarty, J. McGee, K. Mustonen, T. Mustonen, K.A. Norris, E. Ogier, A.J. Constable, and G.T. Pecl, 2022: Warming world, changing ocean: Mitigation and adaptation to support resilient marine systems. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **32** (1), 39–63. <https://doi.org/10.1007/s11160-021-09678-4>
10. Cooley, S., D. Schoeman, L. Bopp, P. Boyd, S. Donner, D.Y. Ghebrehiwet, S.-I. Ito, W. Kiessling, P. Martinetto, E. Ojea, M.-F. Racault, B. Rost, and M. Skern-Mauritzen, 2022: Ch. 3. Oceans and coastal ecosystems and their services. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, and B. Rama, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 379–550. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.005>

11. Bennett, N.J., A.M. Cisneros-Montemayor, J. Blythe, J.J. Silver, G. Singh, N. Andrews, A. Calò, P. Christie, A. Di Franco, E.M. Finkbeiner, S. Gelcich, P. Guidetti, S. Harper, N. Hotte, J.N. Kittinger, P. Le Billon, J. Lister, R. López de la Lama, E. McKinley, J. Scholtens, A.-M. Solàs, M. Sowman, N. Talloni-Álvarez, L.C.L. Teh, M. Voyer, and U.R. Sumaila, 2019: Towards a sustainable and equitable blue economy. *Nature Sustainability*, **2** (11), 991–993. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0404-1>
12. Gruber, N., P.W. Boyd, T.L. Frölicher, and M. Vogt, 2021: Biogeochemical extremes and compound events in the ocean. *Nature*, **600** (7889), 395–407. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03981-7>
13. IPCC, 2019: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N.M. Weyer, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 755 pp. <https://doi.org/10.1017/9781009157964>
14. Trainer, V.L., S.K. Moore, G. Hallegraef, R.M. Kudela, A. Clement, J.I. Mardones, and W.P. Cochlan, 2020: Pelagic harmful algal blooms and climate change: Lessons from nature’s experiments with extremes. *Harmful Algae*, **91**, 101591. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.03.009>
15. Free, C.M., J.T. Thorson, M.L. Pinsky, K.L. Oken, J. Wiedenmann, and O.P. Jensen, 2019: Impacts of historical warming on marine fisheries production. *Science*, **363** (6430), 979–983. <https://doi.org/10.1126/science.aau1758>
16. Langan, J.A., G. Puggioni, C.A. Oviatt, M.E. Henderson, and J.S. Collie, 2021: Climate alters the migration phenology of coastal marine species. *Marine Ecology Progress Series*, **660**, 1–18. <https://doi.org/10.3354/meps13612>
17. Pinsky, M.L., B. Worm, M.J. Fogarty, J.L. Sarmiento, and S.A. Levin, 2013: Marine taxa track local climate velocities. *Science*, **341** (6151), 1239–1242. <https://doi.org/10.1126/science.1239352>
18. Staudinger, M.D., K.E. Mills, K. Stamieszkin, N.R. Record, C.A. Hudak, A. Allyn, A. Diamond, K.D. Friedland, W. Golet, M.E. Henderson, C.M. Hernandez, T.G. Huntington, R. Ji, C.L. Johnson, D.S. Johnson, A. Jordaan, J. Kocik, Y. Li, M. Liebman, O.C. Nichols, D. Pendleton, R.A. Richards, T. Robben, A.C. Thomas, H.J. Walsh, and K. Yakola, 2019: It’s about time: A synthesis of changing phenology in the Gulf of Maine ecosystem. *Fisheries Oceanography*, **28** (5), 532–566. <https://doi.org/10.1111/fog.12429>
19. Tableau, A., J.S. Collie, R.J. Bell, and C. Minto, 2019: Decadal changes in the productivity of New England fish populations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **76** (9), 1528–1540. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2018-0255>
20. Beas-Luna, R., F. Micheli, C.B. Woodson, M. Carr, D. Malone, J. Torre, C. Boch, J.E. Caselle, M. Edwards, J. Freiwald, S.L. Hamilton, A. Hernandez, B. Konar, K.J. Kroeker, J. Lorda, G. Montaña-Moctezuma, and G. Torres-Moye, 2020: Geographic variation in responses of kelp forest communities of the California Current to recent climatic changes. *Global Change Biology*, **26** (11), 6457–6473. <https://doi.org/10.1111/gcb.15273>
21. Farr, E.R., M.R. Johnson, M.W. Nelson, J.A. Hare, W.E. Morrison, M.D. Lettrich, B. Vogt, C. Meaney, U.A. Howson, P.J. Auster, F.A. Borsuk, D.C. Brady, M.J. Cashman, P. Colarusso, J.H. Grabowski, J.P. Hawkes, R. Mercaldo-Allen, D.B. Packer, and D.K. Stevenson, 2021: An assessment of marine, estuarine, and riverine habitat vulnerability to climate change in the Northeast U.S. *PLoS ONE*, **16** (12), e0260654. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260654>
22. Hughes, T.P., M.L. Barnes, D.R. Bellwood, J.E. Cinner, G.S. Cumming, J.B.C. Jackson, J. Kleypas, I.A. van de Leemput, J.M. Lough, T.H. Morrison, S.R. Palumbi, E.H. van Nes, and M. Scheffer, 2017: Coral reefs in the Anthropocene. *Nature*, **546**, 82–90. <https://doi.org/10.1038/nature22901>
23. Smale, D.A., 2020: Impacts of ocean warming on kelp forest ecosystems. *New Phytologist*, **225** (4), 1447–1454. <https://doi.org/10.1111/nph.16107>
24. Tonina, D., J.A. McKean, D. Isaak, R.M. Benjankar, C. Tang, and Q. Chen, 2022: Climate change shrinks and fragments salmon habitats in a snow-dependent region. *Geophysical Research Letters*, **49** (12), e2022GL098552. <https://doi.org/10.1029/2022gl098552>
25. Lenoir, J., R. Bertrand, L. Comte, L. Bourgeaud, T. Hattab, J. Murienne, and G. Grenouillet, 2020: Species better track climate warming in the oceans than on land. *Nature Ecology & Evolution*, **4** (8), 1044–1059. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1198-2>
26. Laurel, B.J., M.E. Hunsicker, L. Ciannelli, T.P. Hurst, J. Duffy-Anderson, R. O’Malley, and M. Behrenfeld, 2021: Regional warming exacerbates match/mismatch vulnerability for cod larvae in Alaska. *Progress in Oceanography*, **193**, 102555. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102555>

27. Thorne, L.H. and J.A. Nye, 2021: Trait-mediated shifts and climate velocity decouple an endothermic marine predator and its ectothermic prey. *Scientific Reports*, **11** (1), 18507. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97318-z>
28. McMahan, M.D., G.D. Sherwood, and J.H. Grabowski, 2020: Geographic variation in life-history traits of black sea bass (*Centropristis striata*) during a rapid range expansion. *Frontiers in Marine Science*, **7**, 567758. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.567758>
29. Kress, S.W., P. Shannon, C. O'Neal, and S. Cooke, 2017: Recent changes in the diet and survival of Atlantic puffin chicks in the face of climate change and commercial fishing in midcoast Maine, USA. *FACETS*, **1**, 27–43. <https://doi.org/10.1139/facets-2015-0009>
30. Piatt, J.F., J.K. Parrish, H.M. Renner, S.K. Schoen, T.T. Jones, M.L. Arimitsu, K.J. Kuletz, B. Bodenstein, M. García-Reyes, R.S. Duerr, R.M. Corcoran, R.S.A. Kaler, G.J. McChesney, R.T. Golightly, H.A. Coletti, R.M. Suryan, H.K. Burgess, J. Lindsey, K. Lindquist, P.M. Warzybok, J. Jahncke, J. Roletto, and W.J. Sydeman, 2020: Extreme mortality and reproductive failure of common murrelets resulting from the northeast Pacific marine heatwave of 2014–2016. *PLoS ONE*, **15** (1), e0226087. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226087>
31. Scopel, L., A. Diamond, S. Kress, and P. Shannon, 2019: Varied breeding responses of seabirds to a regime shift in prey base in the Gulf of Maine. *Marine Ecology Progress Series*, **626**, 177–196. <https://doi.org/10.3354/meps13048>
32. Le Bris, A., K.E. Mills, R.A. Wahle, Y. Chen, M.A. Alexander, A.J. Allyn, J.G. Schuetz, J.D. Scott, and A.J. Pershing, 2018: Climate vulnerability and resilience in the most valuable North American fishery. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **115** (8), 1831–1836. <https://doi.org/10.1073/pnas.1711122115>
33. Hare, J.A., W.E. Morrison, M.W. Nelson, M.M. Stachura, E.J. Teeters, R.B. Griffis, M.A. Alexander, J.D. Scott, L. Alade, R.J. Bell, A.S. Chute, K.L. Curti, T.H. Curtis, D. Kircheis, J.F. Kocik, S.M. Lucey, C.T. McCandless, L.M. Milke, D.E. Richardson, E. Robillard, H.J. Walsh, M.C. McManus, K.E. Marancik, and C.A. Griswold, 2016: A vulnerability assessment of fish and invertebrates to climate change on the northeast U.S. continental shelf. *PLoS ONE*, **11** (2), e0146756. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146756>
34. McClure, M.M., M.A. Haltuch, E. Willis-Norton, D.D. Huff, E.L. Hazen, L.G. Crozier, M.G. Jacox, M.W. Nelson, K.S. Andrews, L.A.K. Barnett, A.M. Berger, S. Beyer, J. Bizzarro, D. Boughton, J.M. Cope, M. Carr, H. Dewar, E. Dick, E. Dorval, J. Dunham, V. Gertseva, C.M. Greene, R.G. Gustafson, O.S. Hamel, C.J. Harvey, M.J. Henderson, C.E. Jordan, I.C. Kaplan, S.T. Lindley, N.J. Mantua, S.E. Matson, M.H. Monk, P. Moyle, C. Nicol, J. Pohl, R.R. Rykaczewski, J.F. Samhuri, S. Sogard, N. Tolimieri, J. Wallace, C. Wetzel, and S.J. Bograd, 2023: Vulnerability to climate change of managed stocks in the California Current Large Marine Ecosystem. *Frontiers in Marine Science*, **10**, 1103767. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1103767>
35. Raymond, W.W., J.S. Barber, M.N. Dethier, H.A. Hayford, C.D.G. Harley, T.L. King, B. Paul, C.A. Speck, E.D. Tobin, A.E.T. Raymond, and P.S. McDonald, 2022: Assessment of the impacts of an unprecedented heatwave on intertidal shellfish of the Salish Sea. *Ecology*, **103** (10), e3798. <https://doi.org/10.1002/ecy.3798>
36. Crozier, L.G., M.M. McClure, T. Beechie, S.J. Bograd, D.A. Boughton, M. Carr, T.D. Cooney, J.B. Dunham, C.M. Greene, M.A. Haltuch, E.L. Hazen, D.M. Holzer, D.D. Huff, R.C. Johnson, C.E. Jordan, I.C. Kaplan, S.T. Lindley, N.J. Mantua, P.B. Moyle, J.M. Myers, M.W. Nelson, B.C. Spence, L.A. Weitkamp, T.H. Williams, and E. Willis-Norton, 2019: Climate vulnerability assessment for Pacific salmon and steelhead in the California Current Large Marine Ecosystem. *PLoS ONE*, **14** (7), e0217711. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217711>
37. Meyer-Gutbrod, E.L., C.H. Greene, K.T.A. Davies, and D.G. Johns, 2021: Ocean regime shift is driving collapse of the North Atlantic right whale population. *Oceanography*, **34** (3), 22–31. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2021.308>
38. Mills, K.E., A.J. Pershing, T.F. Sheehan, and D. Mountain, 2013: Climate and ecosystem linkages explain widespread declines in North American Atlantic salmon populations. *Global Change Biology*, **19** (10), 3046–3061. <https://doi.org/10.1111/gcb.12298>
39. Trombetta, T., F. Vidussi, C. Roques, M. Scotti, and B. Mostajir, 2020: Marine microbial food web networks during phytoplankton bloom and non-bloom periods: Warming favors smaller organism interactions and intensifies trophic cascade. *Frontiers in Microbiology*, **11**, 502336. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.502336>
40. Carlson, C.J., S. Hopkins, K.C. Bell, J. Doña, S.S. Godfrey, M.L. Kwak, K.D. Lafferty, M.L. Moir, K.A. Speer, G. Strona, M. Torchin, and C.L. Wood, 2020: A global parasite conservation plan. *Biological Conservation*, **250**, 108596. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108596>

41. Wood, C.L., R.L. Welicky, W.C. Preisser, K.L. Leslie, N. Mastick, C. Greene, K.P. Maslenikov, L. Tornabene, J.M. Kinsella, and T.E. Essington, 2023: A reconstruction of parasite burden reveals one century of climate-associated parasite decline. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **120** (3), e2211903120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2211903120>
42. Ward, E.J., J.H. Anderson, T.J. Beechie, G.R. Pess, and M.J. Ford, 2015: Increasing hydrologic variability threatens depleted anadromous fish populations. *Global Change Biology*, **21** (7), 2500–2509. <https://doi.org/10.1111/gcb.12847>
43. Wang, H., Q. Chen, M.K. La Peyre, K. Hu, and J.F. La Peyre, 2017: Predicting the impacts of Mississippi River diversions and sea-level rise on spatial patterns of eastern oyster growth rate and production. *Ecological Modelling*, **352**, 40–53. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.02.028>
44. Macreadie, P.I., M.D.P. Costa, T.B. Atwood, D.A. Friess, J.J. Kelleway, H. Kennedy, C.E. Lovelock, O. Serrano, and C.M. Duarte, 2021: Blue carbon as a natural climate solution. *Nature Reviews Earth & Environment*, **2** (12), 826–839. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00224-1>
45. Prouty, N.G., A. Cohen, K.K. Yates, C.D. Storlazzi, P.W. Swarzenski, and D. White, 2017: Vulnerability of coral reefs to bioerosion from land-based source of pollution. *Journal of Geophysical Research Oceans*, **122** (12), 9319–9331. <https://doi.org/10.1002/2017jc013264>
46. Armstrong, C.W., G.K. Vondolia, N.S. Foley, L.-A. Henry, K. Needham, and A. Ressurreição, 2019: Expert assessment of risks posed by climate change and anthropogenic activities to ecosystem services in the deep North Atlantic. *Frontiers in Marine Science*, **6**, 158. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00158>
47. Prouty, N.G., E.B. Roark, A.E. Koenig, A.W.J. Demopoulos, F.C. Batista, B.D. Kocar, D. Selby, M.D. McCarthy, F. Mienis, and S.W. Ross, 2014: Deep-sea coral record of human impact on watershed quality in the Mississippi River Basin. *Global Biogeochemical Cycles*, **28** (1), 29–43. <https://doi.org/10.1002/2013GB004754>
48. Levin, L.A., 2021: IPCC and the deep sea: A case for deeper knowledge. *Frontiers in Climate*, **3**, 720755. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.720755>
49. Levin, L.A. and N. Le Bris, 2015: The deep ocean under climate change. *Science*, **350** (6262), 766–768. <https://doi.org/10.1126/science.aad0126>
50. Sweetman, A.K., A.R. Thurber, C.R. Smith, L.A. Levin, C. Mora, C.-L. Wei, A.J. Gooday, D.O.B. Jones, M. Rex, M. Yasuhara, J. Ingels, H.A. Ruhl, C.A. Frieder, R. Danovaro, L. Würzburg, A. Baco, B.M. Grupe, A. Pasulka, K.S. Meyer, K.M. Dunlop, L.-A. Henry, and J.M. Roberts, 2017: Major impacts of climate change on deep-sea benthic ecosystems. *Elementa: Science of the Anthropocene*, **5**, 4. <https://doi.org/10.1525/elementa.203>
51. Hilmi, N., R. Chami, M.D. Sutherland, J.M. Hall-Spencer, L. Lebleu, M.B. Benitez, and L.A. Levin, 2021: The role of blue carbon in climate change mitigation and carbon stock conservation. *Frontiers in Climate*, **3**, 710546. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.710546>
52. Burge, C.A., C.M. Eakin, C.S. Friedman, B. Froelich, P.K. Hershberger, E.E. Hofmann, L.E. Petes, K.C. Prager, E. Weil, B.L. Willis, S.E. Ford, and C.D. Harvell, 2014: Climate change influences on marine infectious diseases: Implications for management and society. *Annual Review of Marine Science*, **6** (1), 249–277. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135029>
53. Heil, C.A. and A.L. Muni-Morgan, 2021: Florida's harmful algal bloom (HAB) problem: Escalating risks to human, environmental and economic health with climate change. *Frontiers in Ecology and Evolution*, **9**, 646080. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.646080>
54. Huntington, H.P., A. Zagorsky, B.P. Kaltenborn, H.C. Shin, J. Dawson, M. Lukin, P.E. Dahl, P. Guo, and D.N. Thomas, 2022: Societal implications of a changing Arctic Ocean. *Ambio*, **51** (2), 298–306. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01601-2>
55. Ritzman, J., A. Brodbeck, S. Brostrom, S. McGrew, S. Dreyer, T. Klinger, and S.K. Moore, 2018: Economic and sociocultural impacts of fisheries closures in two fishing-dependent communities following the massive 2015 U.S. West Coast harmful algal bloom. *Harmful Algae*, **80**, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2018.09.002>
56. Green, K.M., J.C. Selgrath, T.H. Frawley, W.K. Oestreich, E.J. Mansfield, J. Urteaga, S.S. Swanson, F.N. Santana, S.J. Green, J. Naggea, and L.B. Crowder, 2021: How adaptive capacity shapes the Adapt, React, Cope response to climate impacts: Insights from small-scale fisheries. *Climatic Change*, **164** (1), 15. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-02965-w>

57. Hauser, D.D.W., A.V. Whiting, A.R. Mahoney, J. Goodwin, C. Harris, R.J. Schaeffer, R. Schaeffer, N.J.M. Laxague, A. Subramaniam, C.R. Witte, S. Betcher, J.M. Lindsay, and C.J. Zappa, 2021: Co-production of knowledge reveals loss of Indigenous hunting opportunities in the face of accelerating Arctic climate change. *Environmental Research Letters*, **16** (9), 095003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1a36>
58. Huntington, H.P., S.L. Danielson, F.K. Wiese, M. Baker, P. Boveng, J.J. Citta, A. De Robertis, D.M.S. Dickson, E. Farley, J.C. George, K. Iken, D.G. Kimmel, K. Kuletz, C. Ladd, R. Levine, L. Quakenbush, P. Stabeno, K.M. Stafford, D. Stockwell, and C. Wilson, 2020: Evidence suggests potential transformation of the Pacific Arctic ecosystem is underway. *Nature Climate Change*, **10** (4), 342–348. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0695-2>
59. Lefebvre, K.A., E. Fachon, E.K. Bowers, D.G. Kimmel, J.A. Snyder, R. Stimmelmayer, J.M. Grebmeier, S. Kibler, D. Ransom Hardison, D.M. Anderson, D. Kulis, J. Murphy, J.C. Gann, D. Cooper, L.B. Eisner, J.T. Duffy-Anderson, G. Sheffield, R.S. Pickart, A. Mounsey, M.L. Willis, P. Stabeno, and E. Siddon, 2022: Paralytic shellfish toxins in Alaskan Arctic food webs during the anomalously warm ocean conditions of 2019 and estimated toxin doses to Pacific walrus and bowhead whales. *Harmful Algae*, **114**, 102205. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102205>
60. Lefebvre, K.A., L. Quakenbush, E. Frame, K. Burek, G. Sheffield, R. Stimmelmayer, A. Bryan, P. Kendrick, H. Ziel, T. Goldstein, J.A. Snyder, T. Gelatt, F. Gulland, B. Dickerson, and V. Gill, 2016: Prevalence of algal toxins in Alaskan marine mammals foraging in a changing arctic and subarctic environment. *Harmful Algae*, **55**, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.01.007>
61. McCabe, R.M., B.M. Hickey, R.M. Kudela, K.A. Lefebvre, N.G. Adams, B.D. Bill, F.M.D. Gulland, R.E. Thomson, W.P. Cochlan, and V.L. Trainer, 2016: An unprecedented coastwide toxic algal bloom linked to anomalous ocean conditions. *Geophysical Research Letters*, **43** (19), 10366–10376. <https://doi.org/10.1002/2016gl070023>
62. Scaggs, S.A., D. Gerkey, and K.R. McLaughlin, 2021: Linking subsistence harvest diversity and productivity to adaptive capacity in an Alaskan food sharing network. *American Journal of Human Biology*, **33** (4), e23573. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23573>
63. Huntington, H.P., L.T. Quakenbush, and M. Nelson, 2017: Evaluating the effects of climate change on indigenous marine mammal hunting in northern and western Alaska using traditional knowledge. *Frontiers in Marine Science*, **4**, 319. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00319>
64. Scyphers, S.B., J.S. Picou, and J.H. Grabowski, 2019: Chronic social disruption following a systemic fishery failure. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **116** (46), 22912–22914. <https://doi.org/10.1073/pnas.1913914116>
65. Slats, R., C. Oliver, R. Bahnke, H. Bell, A. Miller, D. Pungowiyi, J. Mercurief, N. Menadelook Sr., J. Ivanoff, and C. Oxereok, 2019: Voices from the Front Lines of a Changing Bering Sea: An Indigenous Perspective for the 2019 Arctic Report Card. NOAA Arctic Report Card, Druckenmiller, M.L., R. Daniel, and M. Johnson, Eds. National Oceanic and Atmospheric Administration, Arctic Research Program, 88–99 pp. <https://arctic.noaa.gov/report-card/report-card-2019/voices-from-the-front-lines-of-a-changing-bering-sea/>
66. Tremblay, R., M. Landry-Cuerrier, and M.M. Humphries, 2020: Culture and the social-ecology of local food use by Indigenous communities in northern North America. *Ecology and Society*, **25** (2), 8. <https://doi.org/10.5751/es-11542-250208>
67. Jacox, M.G., M.A. Alexander, S.J. Bograd, and J.D. Scott, 2020: Thermal displacement by marine heatwaves. *Nature*, **584** (7819), 82–86. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2534-z>
68. Huntington, H.P., J. Raymond-Yakoubian, G. Noongwook, N. Naylor, C. Harris, Q. Harcharek, and B. Adams, 2021: “We never get stuck:” A collaborative analysis of change and coastal community subsistence practices in the Northern Bering and Chukchi Seas, Alaska. *Arctic*, **74** (2), 113–126. <https://doi.org/10.14430/arctic72446>
69. Pershing, A., K. Mills, A. Dayton, B. Franklin, and B. Kennedy, 2018: Evidence for adaptation from the 2016 marine heatwave in the Northwest Atlantic Ocean. *Oceanography*, **31** (2), 152–161. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.213>
70. Samhuri, J.F., B.E. Feist, M.C. Fisher, O. Liu, S.M. Woodman, B. Abrahms, K.A. Forney, E.L. Hazen, D. Lawson, J. Redfern, and L.E. Saez, 2021: Marine heatwave challenges solutions to human-wildlife conflict. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **288** (1964), 20211607. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.1607>
71. Bograd, S.J., M.G. Jacox, E.L. Hazen, E. Lovecchio, I. Montes, M. Pozo Buil, L.J. Shannon, W.J. Sydeman, and R.R. Rykaczewski, 2023: Climate change impacts on eastern boundary upwelling systems. *Annual Review of Marine Science*, **15** (1), 303–328. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032122-021945>

72. Hodapp, D., I.T. Roca, D. Fiorentino, C. Garilao, K. Kaschner, K. Kesner-Reyes, B. Schneider, J. Segschneider, Á.T. Kocsis, W. Kiessling, T. Brey, and R. Froese, 2023: Climate change disrupts core habitats of marine species. *Global Change Biology*, **29** (12), 3304–3317. <https://doi.org/10.1111/gcb.16612>
73. Sheahan, M., C.A. Gould, J.E. Neumann, P.L. Kinney, S. Hoffmann, C. Fant, X. Wang, and M. Kolian, 2022: Examining the relationship between climate change and vibriosis in the United States: Projected health and economic impacts for the 21st century. *Environmental Health Perspectives*, **130** (8), 087007. <https://doi.org/10.1289/ehp9999a>
74. Tester, P.A., R.W. Litaker, and E. Berdalet, 2020: Climate change and harmful benthic microalgae. *Harmful Algae*, **91**, 101655. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101655>
75. Tittensor, D.P., C. Novaglio, C.S. Harrison, R.F. Heneghan, N. Barrier, D. Bianchi, L. Bopp, A. Bryndum-Buchholz, G.L. Britten, M. Büchner, W.W.L. Cheung, V. Christensen, M. Coll, J.P. Dunne, T.D. Eddy, J.D. Everett, J.A. Fernandes-Salvador, E.A. Fulton, E.D. Galbraith, D. Gascuel, J. Guiet, J.G. John, J.S. Link, H.K. Lotze, O. Maury, K. Ortega-Cisneros, J. Palacios-Abrantes, C.M. Petrik, H. du Pontavice, J. Rault, A.J. Richardson, L. Shannon, Y.-J. Shin, J. Steenbeek, C.A. Stock, and J.L. Blanchard, 2021: Next-generation ensemble projections reveal higher climate risks for marine ecosystems. *Nature Climate Change*, **11** (11), 973–981. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01173-9>
76. Heinze, C., T. Blenckner, H. Martins, D. Rusiecka, R. Döscher, M. Gehlen, N. Gruber, E. Holland, Ø. Hov, F. Joos, J.B.R. Matthews, R. Rødven, and S. Wilson, 2021: The quiet crossing of ocean tipping points. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **118** (9), e2008478118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2008478118>
77. Hoegh-Guldberg, O., L. Pendleton, and A. Kaup, 2019: People and the changing nature of coral reefs. *Regional Studies in Marine Science*, **30**, 100699. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100699>
78. Penn, J.L. and C. Deutsch, 2022: Avoiding ocean mass extinction from climate warming. *Science*, **376** (6592), 524–526. <https://doi.org/10.1126/science.abe9039>
79. Stewart-Sinclair, P.J., K.S. Last, B.L. Payne, and T.A. Wilding, 2020: A global assessment of the vulnerability of shellfish aquaculture to climate change and ocean acidification. *Ecology and Evolution*, **10** (7), 3518–3534. <https://doi.org/10.1002/ece3.6149>
80. Dubik, B.A., E.C. Clark, T. Young, S.B.J. Zigler, M.M. Provost, M.L. Pinsky, and K. St. Martin, 2019: Governing fisheries in the face of change: Social responses to long-term geographic shifts in a U.S. fishery. *Marine Policy*, **99**, 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.10.032>
81. Cucuzza, M.L., H.L. Sagar, and R.B. Griffis, 2021: Synthesis of Public Comments to NOAA on Executive Order 14008, Tackling the Climate Crisis at Home and Abroad, Section 216(c): Recommendations on How to Make Fisheries and Protected Resources, Including Aquaculture, More Resilient to Climate Change. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO-218. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, 79 pp. <https://spo.nmfs.noaa.gov/content/tech-memo/synthesis-public-comments-noaa-executive-order-14008-tackling-climate-crisis-home>
82. Jacox, M.G., M.A. Alexander, N.J. Mantua, J.D. Scott, G. Hervieux, R.S. Webb, and F.E. Werner, 2018: Forcing of multiyear extreme ocean temperatures that impacted California Current living marine resources in 2016. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **99** (1), S27–S33. <https://doi.org/10.1175/bams-d-17-0119.1>
83. Santora, J.A., N.J. Mantua, I.D. Schroeder, J.C. Field, E.L. Hazen, S.J. Bograd, W.J. Sydeman, B.K. Wells, J. Calambokidis, L. Saez, D. Lawson, and K.A. Forney, 2020: Habitat compression and ecosystem shifts as potential links between marine heatwave and record whale entanglements. *Nature Communications*, **11** (1), 536. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14215-w>
84. Ryan, J.P., R.M. Kudela, J.M. Birch, M. Blum, H.A. Bowers, F.P. Chavez, G.J. Doucette, K. Hayashi, R. Marin III, C.M. Mikulski, J.T. Pennington, C.A. Scholin, G.J. Smith, A. Woods, and Y. Zhang, 2017: Causality of an extreme harmful algal bloom in Monterey Bay, California, during the 2014–2016 northeast Pacific warm anomaly. *Geophysical Research Letters*, **44** (11), 5571–5579. <https://doi.org/10.1002/2017gl072637>
85. Fisher, M.C., S.K. Moore, S.L. Jardine, J.R. Watson, and J.F. Samhour, 2021: Climate shock effects and mediation in fisheries. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **118** (2), e2014379117. <https://doi.org/10.1073/pnas.2014379117>
86. Jardine, S.L., M.C. Fisher, S.K. Moore, and J.F. Samhour, 2020: Inequality in the economic impacts from climate shocks in fisheries: The case of harmful algal blooms. *Ecological Economics*, **176**, 106691. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106691>

87. Smith, J.A., M. Pozo Buil, J. Fiechter, D. Tommasi, and M.G. Jacox, 2022: Projected novelty in the climate envelope of the California Current at multiple spatial-temporal scales. *PLoS Climate*, **1** (4), e0000022. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000022>
88. Pershing, A.J., N.R. Record, B.S. Franklin, B.T. Kennedy, L. McClenachan, K.E. Mills, J.D. Scott, A.C. Thomas, and N.H. Wolff, 2019: Challenges to natural and human communities from surprising ocean temperatures. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **116** (37), 18378–18383. <https://doi.org/10.1073/pnas.1901084116>
89. OCM, 2022: Digital Coasts. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, Office for Coastal Management. <https://coast.noaa.gov/digitalcoast/>
90. Cheung, W.W.L. and T.L. Frölicher, 2020: Marine heatwaves exacerbate climate change impacts for fisheries in the northeast Pacific. *Scientific Reports*, **10** (1), 6678. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63650-z>
91. Smale, D.A., T. Wernberg, E.C.J. Oliver, M. Thomsen, B.P. Harvey, S.C. Straub, M.T. Burrows, L.V. Alexander, J.A. Benthuyssen, M.G. Donat, M. Feng, A.J. Hobday, N.J. Holbrook, S.E. Perkins-Kirkpatrick, H.A. Scannell, A. Sen Gupta, B.L. Payne, and P.J. Moore, 2019: Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, **9** (4), 306–312. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0412-1>
92. Lam, V.W.Y., W.W.L. Cheung, G. Reygondeau, and U.R. Sumaila, 2016: Projected change in global fisheries revenues under climate change. *Scientific Reports*, **6** (1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep32607>
93. Sumaila, U.R., T.C. Tai, V.W.Y. Lam, W.W.L. Cheung, M. Bailey, A.M. Cisneros-Montemayor, O.L. Chen, and S.S. Gulati, 2019: Benefits of the Paris Agreement to ocean life, economies, and people. *Science Advances*, **5** (2), 3855. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aau3855>
94. Bhattachan, A., M.D. Jurjonas, A.C. Moody, P.R. Morris, G.M. Sanchez, L.S. Smart, P.J. Taillie, R.E. Emanuel, and E.L. Seekamp, 2018: Sea level rise impacts on rural coastal social-ecological systems and the implications for decision making. *Environmental Science & Policy*, **90**, 122–134. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.10.006>
95. Jurjonas, M. and E. Seekamp, 2018: Rural coastal community resilience: Assessing a framework in eastern North Carolina. *Ocean & Coastal Management*, **162**, 137–150. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.10.010>
96. Bell, R.J., J. Odell, G. Kirchner, and S. Lomonico, 2020: Actions to promote and achieve climate-ready fisheries: Summary of current practice. *Marine and Coastal Fisheries*, **12** (3), 166–190. <https://doi.org/10.1002/mcf2.10112>
97. Watson, J.T. and A.C. Haynie, 2018: Paths to resilience: The walleye pollock fleet uses multiple fishing strategies to buffer against environmental change in the Bering Sea. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **75** (11), 1977–1989. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2017-0315>
98. Fedewa, E.J., T.M. Jackson, J.I. Richar, J.L. Gardner, and M.A. Litzow, 2020: Recent shifts in northern Bering Sea snow crab (*Chionoecetes opilio*) size structure and the potential role of climate-mediated range contraction. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, **181–182**, 104878. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2020.104878>
99. Jones, M.C., M. Berkelhammer, K.J. Keller, K. Yoshimura, and M.J. Wooller, 2020: High sensitivity of Bering Sea winter sea ice to winter insolation and carbon dioxide over the last 5500 years. *Science Advances*, **6** (36). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz9588>
100. Spies, I., K.M. Gruenthal, D.P. Drinan, A.B. Hollowed, D.E. Stevenson, C.M. Tarpey, and L. Hauser, 2020: Genetic evidence of a northward range expansion in the eastern Bering Sea stock of Pacific cod. *Evolutionary Applications*, **13** (2), 362–375. <https://doi.org/10.1111/eva.12874>
101. Stevenson, D.E. and R.R. Lauth, 2019: Bottom trawl surveys in the northern Bering Sea indicate recent shifts in the distribution of marine species. *Polar Biology*, **42** (2), 407–421. <https://doi.org/10.1007/s00300-018-2431-1>
102. Szuwalski, C., 2022: An Assessment for Eastern Bering Sea Snow Crab. North Pacific Fishery Management Council, Anchorage, AK. <https://meetings.npfmc.org/commentreview/downloadfile?p=fca55335-ad34-4896-9b1e-4c09aa8342ce.pdf&filename=ebs%20snow%20safe%20final.pdf>
103. Whitmore, K., A. Richards, J. Carloni, M. Hunter, M. Hawk, and K. Drew, 2013: Assessment Report for Gulf of Maine Northern Shrimp—2013. Atlantic States Marine Fisheries Commission, Arlington, VA, 86 pp. <http://www.asafc.org/species/northern-shrimp>
104. Bellquist, L., V. Saccomanno, B.X. Semmens, M. Gleason, and J. Wilson, 2021: The rise in climate change-induced federal fishery disasters in the United States. *PeerJ*, **9**, e11186. <https://doi.org/10.7717/peerj.11186>

105. Barbeaux, S.J., K. Holsman, and S. Zador, 2020: Marine heatwave stress test of ecosystem-based fisheries management in the Gulf of Alaska Pacific cod fishery. *Frontiers in Marine Science*, **7**, 703. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00703>
106. Pershing, A.J., M.A. Alexander, C.M. Hernandez, L.A. Kerr, A. Le Bris, K.E. Mills, J.A. Nye, N.R. Record, H.A. Scannell, J.D. Scott, G.D. Sherwood, and A.C. Thomas, 2015: Slow adaptation in the face of rapid warming leads to collapse of the Gulf of Maine cod fishery. *Science*, **350** (6262), 809–812. <https://doi.org/10.1126/science.aac9819>
107. Chasco, B.E., M.E. Hunsicker, K.C. Jacobson, O.T. Welch, C.A. Morgan, B.A. Muhling, and J.A. Harding, 2022: Evidence of temperature-driven shifts in market squid *Doryteuthis opalescens* densities and distribution in the California Current ecosystem. *Marine and Coastal Fisheries*, **14** (1), e10190. <https://doi.org/10.1002/mcf2.10190>
108. Goethel, D.R., D.H. Hanselman, C.J. Rodgveller, K.H. Fenske, S.K. Shotwell, K.B. Echave, P.W. Malecha, K.A. Siwicke, and C.R. Lunsford, 2020: Assessment of the Sablefish Stock in Alaska. NPFMC Bering Sea, Aleutian Islands and Gulf of Alaska SAFE. <https://apps-afsc.fisheries.noaa.gov/refm/docs/2020/sablefish.pdf>
109. Hollowed, A.B., K.K. Holsman, A.C. Haynie, A.J. Hermann, A.E. Punt, K. Aydin, J.N. Ianelli, S. Kasperski, W. Cheng, A. Faig, K.A. Kearney, J.C.P. Reum, P. Spencer, I. Spies, W. Stockhausen, C.S. Szuwalski, G.A. Whitehouse, and T.K. Wilderbuer, 2020: Integrated modeling to evaluate climate change impacts on coupled social-ecological systems in Alaska. *Frontiers in Marine Science*, **6**, 775. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00775>
110. Holsman, K.K., A.C. Haynie, A.B. Hollowed, J.C.P. Reum, K. Aydin, A.J. Hermann, W. Cheng, A. Faig, J.N. Ianelli, K.A. Kearney, and A.E. Punt, 2020: Ecosystem-based fisheries management forestalls climate-driven collapse. *Nature Communications*, **11** (1), 4579. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18300-3>
111. Rheuban, J.E., M.T. Kavanaugh, and S.C. Doney, 2017: Implications of future northwest Atlantic bottom temperatures on the American lobster (*Homarus americanus*) fishery. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **122** (12), 9387–9398. <https://doi.org/10.1002/2017jc012949>
112. Szuwalski, C., W. Cheng, R. Foy, A.J. Hermann, A. Hollowed, K. Holsman, J. Lee, W. Stockhausen, and J. Zheng, 2021: Climate change and the future productivity and distribution of crab in the Bering Sea. *ICES Journal of Marine Science*, **78** (2), 502–515. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa140>
113. Moore, C., J.W. Morley, B. Morrison, M. Kolian, E. Horsch, T. Frölicher, M.L. Pinsky, and R. Griffis, 2021: Estimating the economic impacts of climate change on 16 major US fisheries. *Climate Change Economics*, **12** (1), 2150002. <https://doi.org/10.1142/s2010007821500020>
114. Hanich, Q., C.C.C. Wabnitz, Y. Ota, M. Amos, C. Donato-Hunt, and A. Hunt, 2018: Small-scale fisheries under climate change in the Pacific Islands region. *Marine Policy*, **88**, 279–284. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.11.011>
115. Ojea, E., I. Pearlman, S.D. Gaines, and S.E. Lester, 2017: Fisheries regulatory regimes and resilience to climate change. *Ambio*, **46** (4), 399–412. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0850-1>
116. Palacios-Abrantes, J., T.L. Frölicher, G. Reygondeau, U.R. Sumaila, A. Tagliabue, Colette C.C. Wabnitz, and William W.L. Cheung, 2022: Timing and magnitude of climate-driven range shifts in transboundary fish stocks challenge their management. *Global Change Biology*, **28** (7), 2312–2326. <https://doi.org/10.1111/gcb.16058>
117. Pinsky, M.L., G. Reygondeau, R. Caddell, J. Palacios-Abrantes, J. Spijkers, and W.W.L. Cheung, 2018: Preparing ocean governance for species on the move. *Science*, **360** (6394), 1189–1191. <https://doi.org/10.1126/science.aat2360>
118. Young, T., E.C. Fuller, M.M. Provost, K.E. Coleman, K. St. Martin, B.J. McCay, and M.L. Pinsky, 2019: Adaptation strategies of coastal fishing communities as species shift poleward. *ICES Journal of Marine Science*, **76** (1), 93–103. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy140>
119. Sainsbury, N.C., M.J. Genner, G.R. Saville, J.K. Pinnegar, C.K. O'Neill, S.D. Simpson, and R.A. Turner, 2018: Changing storminess and global capture fisheries. *Nature Climate Change*, **8** (8), 655–659. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0206-x>
120. NMFS, 2021: U.S. Seafood Industry and For-Hire Sector Impacts from COVID-19: 2020 in Perspective. NOAA Technical Memorandum NMFS-SPO-221. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, 88 pp. <https://spo.nmfs.noaa.gov/sites/default/files/TM221.pdf>
121. Cline, T.J., D.E. Schindler, and R. Hilborn, 2017: Fisheries portfolio diversification and turnover buffer Alaskan fishing communities from abrupt resource and market changes. *Nature Communications*, **8** (1), 14042. <https://doi.org/10.1038/ncomms14042>

122. Holsman, K.K., E.L. Hazen, A. Haynie, S. Gourguet, A. Hollowed, S.J. Bograd, J.F. Samhouri, and K. Aydin, 2019: Towards climate resiliency in fisheries management. *ICES Journal of Marine Science*, **76** (5), 1368–1378. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz031>
123. Woods, P.J., J.I. Macdonald, H. Bárðarson, S. Bonanomi, W.J. Boonstra, G. Cornell, G. Cripps, R. Danielsen, L. Färber, A.S.A. Ferreira, K. Ferguson, M. Holma, R.E. Holt, K.L. Hunter, A. Kokkalis, T.J. Langbehn, G. Ljungström, E. Nieminen, M.C. Nordström, M. Oostdijk, A. Richter, G. Romagnoni, C. Sguotti, A. Simons, N.L. Shackell, M. Snickars, J.D. Whittington, H. Wootton, and J. Yletyinen, 2022: A review of adaptation options in fisheries management to support resilience and transition under socio-ecological change. *ICES Journal of Marine Science*, **79** (2), 463–479. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab146>
124. Stoll, J.S., C.M. Beitzl, and J.A. Wilson, 2016: How access to Maine’s fisheries has changed over a quarter century: The cumulative effects of licensing on resilience. *Global Environmental Change*, **37**, 79–91. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.01.005>
125. Catch Together, 2020: Pacific Coast Fisheries Diversification Framework. The Nature Conservancy, 77 pp. https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/Port_Orford_Framework_Document_Final.pdf
126. Stoll, J.S., B.A. Dubik, and L.M. Campbell, 2015: Local seafood: Rethinking the direct marketing paradigm. *Ecology and Society*, **20** (2), 40. <https://doi.org/10.5751/es-07686-200240>
127. Hazen, E.L., K.L. Scales, S.M. Maxwell, D.K. Briscoe, H. Welch, S.J. Bograd, H. Bailey, S.R. Benson, T. Eguchi, H. Dewar, S. Kohin, D.P. Costa, L.B. Crowder, and R.L. Lewison, 2018: A dynamic ocean management tool to reduce bycatch and support sustainable fisheries. *Science Advances*, **4** (5), 3001. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aar3001>
128. Collie, J.S., R.J. Bell, S.B. Collie, and C. Minto, 2021: Harvest strategies for climate-resilient fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, **78** (8), 2774–2783. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab152>
129. Northrop, E., P. Schuhmann, L. Burke, A. Fyall, S. Alvarez, A. Spenceley, S. Becken, K. Kato, J. Roy, S. Some, J. Veitayaki, A. Markandya, I. Galarraga, P. Greño, I. Ruiz-Gauna, M. Curnock, M.E. Wood, M.Y. Yin, S. Riedmiller, E. Carter, R. Haryanto, E. Holloway, R. Croes, J. Ridderstaat, and M. Godovykh, 2022: Opportunities for Transforming Coastal and Marine Tourism: Towards Sustainability, Regeneration and Resilience. World Resources Institute, Washington, DC. <https://oceanpanel.org/publication/opportunities-for-transforming-coastal-and-marine-tourism-towards-sustainability-regeneration-and-resilience/>
130. Reineman, D.R., L.N. Thomas, and M.R. Caldwell, 2017: Using local knowledge to project sea level rise impacts on wave resources in California. *Ocean & Coastal Management*, **138**, 181–191. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.01.020>
131. Hallegraef, G.M., D.M. Anderson, C. Belin, M.-Y.D. Bottein, E. Bresnan, M. Chinain, H. Enevoldsen, M. Iwataki, B. Karlson, C.H. McKenzie, I. Sunesen, G.C. Pitcher, P. Provoost, A. Richardson, L. Schweibold, P.A. Tester, V.L. Trainer, A.T. Yñiguez, and A. Zingone, 2021: Perceived global increase in algal blooms is attributable to intensified monitoring and emerging bloom impacts. *Communications Earth & Environment*, **2** (1), 117. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00178-8>
132. Wang, M., C. Hu, B.B. Barnes, G. Mitchum, B. Lapointe, and J.P. Montoya, 2019: The great Atlantic *Sargassum* belt. *Science*, **365** (6448), 83–87. <https://doi.org/10.1126/science.aaw7912>
133. Bechard, A., 2020: Harmful algal blooms and tourism: The economic impact to counties in southwest Florida. *Review of Regional Studies*, **50** (2), 170–188. <https://doi.org/10.52324/001c.12705>
134. Burrowes, R., C. Wabnitz, and J. Eyzaguirre, 2019: The Great *Sargassum* Disaster of 2018. ESSA Technologies. <https://www.essa.com/the-great-sargassum-disaster-of-2018/>
135. Townhill, B.L., Z. Radford, G. Pecl, I. van Putten, J.K. Pinnegar, and K. Hyder, 2019: Marine recreational fishing and the implications of climate change. *Fish and Fisheries*, **20** (5), 977–992. <https://doi.org/10.1111/faf.12392>
136. Dundas, S.J. and R.H. von Haefen, 2020: The effects of weather on recreational fishing demand and adaptation: Implications for a changing climate. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, **7** (2), 209–242. <https://doi.org/10.1086/706343>
137. Palma, D., A. Varnajot, K. Dalen, I.K. Basaran, C. Brunette, M. Bystrowska, A.D. Korablina, R.C. Nowicki, and T.A. Ronge, 2019: Cruising the marginal ice zone: Climate change and Arctic tourism. *Polar Geography*, **42** (4), 215–235. <https://doi.org/10.1080/1088937x.2019.1648585>

138. Spalding, M., L. Burke, S.A. Wood, J. Ashpole, J. Hutchison, and P. zu Ermgassen, 2017: Mapping the global value and distribution of coral reef tourism. *Marine Policy*, **82**, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.014>
139. Van Deren, M., J. Mojica, J. Martin, C. Armistead, and C. Koefod, 2019: The Whales in Our Waters: The Economic Benefits of Whale Watching in San Juan County. Earth Economics, Tacoma, WA. <https://www.eartheconomics.org/srkw>
140. Dawson, J., L. Pizzolato, S.E.L. Howell, L. Copland, and M.E. Johnston, 2018: Temporal and spatial patterns of ship traffic in the Canadian Arctic from 1990 to 2015. *Journal of The Arctic Institute of North America*, **71** (1). <https://doi.org/10.14430/arctic4698>
141. Li, X., S.R. Stephenson, A.H. Lynch, M.A. Goldstein, D.A. Bailey, and S. Veland, 2021: Arctic shipping guidance from the CMIP6 ensemble on operational and infrastructural timescales. *Climatic Change*, **167** (1), 23. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03172-3>
142. CRS, 2023: Changes in the Arctic: Background and Issues for Congress. CRS Report R41153. Congressional Research Service. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/r/r41153>
143. Mudryk, L.R., J. Dawson, S.E.L. Howell, C. Derksen, T.A. Zagon, and M. Brady, 2021: Impact of 1, 2 and 4 °C of global warming on ship navigation in the Canadian Arctic. *Nature Climate Change*, **11** (8), 673–679. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01087-6>
144. Arrigo, K.R., G.L. van Dijken, M.A. Cameron, J. van der Grient, L.M. Wedding, L. Hazen, J. Leape, G. Leonard, A. Merkl, F. Micheli, M.M. Mills, S. Monismith, N.T. Ouellette, A. Zivian, M. Levi, and R.M. Bailey, 2020: Synergistic interactions among growing stressors increase risk to an Arctic ecosystem. *Nature Communications*, **11** (1), 6255. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19899-z>
145. Ivanova, S.V., S.T. Kessel, M. Espinoza, M.F. McLean, C. O'Neill, J. Landry, N.E. Hussey, R. Williams, S. Vagle, and A.T. Fisk, 2020: Shipping alters the movement and behavior of Arctic cod (*Boreogadus saida*), a keystone fish in Arctic marine ecosystems. *Ecological Applications*, **30** (3), e02050. <https://doi.org/10.1002/eap.2050>
146. Zhang, Q., Z. Wan, B. Hemmings, and F. Abbasov, 2019: Reducing black carbon emissions from Arctic shipping: Solutions and policy implications. *Journal of Cleaner Production*, **241**, 118261. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118261>
147. IMO, 2020: Fourth Greenhouse Gas Study 2020. International Maritime Organization, London, UK. <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/fourth-imo-greenhouse-gas-study-2020.aspx>
148. EPA, 2023: Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2021. EPA 430–R–23–002. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgemissions/draft-inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2021>
149. Daniel, H., J.P.F. Trovão, and D. Williams, 2022: Shore power as a first step toward shipping decarbonization and related policy impact on a dry bulk cargo carrier. *eTransportation*, **11**, 100150. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2021.100150>
150. GOV.UK, 2022: COP 26: Clydebank Declaration for Green Shipping Corridors. HM Government, Department for Transport. <https://www.gov.uk/government/publications/cop-26-clydebank-declaration-for-green-shipping-corridors/cop-26-clydebank-declaration-for-green-shipping-corridors>
151. Nichols, W. and R. Clisby, 2021: 40% of Oil and Gas Reserves Threatened by Climate Change. Verisk Maplecroft. <https://www.maplecroft.com/insights/analysis/40-of-oil-and-gas-reserves-threatened-by-climate-change/>
152. Burkett, V., 2011: Global climate change implications for coastal and offshore oil and gas development. *Energy Policy*, **39** (12), 7719–7725. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.016>
153. Casas-Prat, M. and X.L. Wang, 2020: Projections of extreme ocean waves in the Arctic and potential implications for coastal inundation and erosion. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **125** (8), e2019JC015745. <https://doi.org/10.1029/2019jc015745>
154. Dong, J., Z. Asif, Y. Shi, Y. Zhu, and Z. Chen, 2022: Climate change impacts on coastal and offshore petroleum infrastructure and the associated oil spill risk: A review. *Journal of Marine Science and Engineering*, **10** (7), 849. <https://doi.org/10.3390/jmse10070849>

155. Ebad Sichani, M., K.A. Anarde, K.M. Capshaw, J.E. Padgett, R.A. Meidl, P. Hassanzadeh, T.P. Loch-Temzelides, and P.B. Bedient, 2020: Hurricane risk assessment of petroleum infrastructure in a changing climate. *Frontiers in Built Environment*, **6**, 104. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00104>
156. The White House, 2021: Fact sheet: Biden administration jumpstarts offshore wind energy projects to create jobs. The White House, Washington, DC, March 29, 2021. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/03/29/fact-sheet-biden-administration-jumpstarts-offshore-wind-energy-projects-to-create-jobs/>
157. BOEM, 2022: Outer Continental Shelf Renewable Energy Leases: Map Book. OREP-2022-2006. U.S. Department of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management. <https://www.boem.gov/sites/default/files/documents/renewable-energy/Leases-Map-Book-July%202022.pdf>
158. Christopher, T.R., M. Goldstein, M. Williams, and A. Carter, 2022: The Road to 30 Gigawatts: Key Actions to Scale an Offshore Wind Industry in the United States. Center for American Progress. <https://www.americanprogress.org/article/the-road-to-30-gigawatts-key-actions-to-scale-an-offshore-wind-industry-in-the-united-states/>
159. Hogan, F., B. Hooker, B. Jensen, L. Johnston, A. Lipsky, E. Methratta, A. Silva, and A. Hawkins, 2023: Fisheries and Offshore Wind Interactions: Synthesis of Science. NOAA Technical Memorandum NMFS-NE-291. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Northeast Fisheries Science Center, Woods Hole, MA. <https://doi.org/10.25923/tcjt-3a69>
160. Klain, S.C., T. Satterfield, S. MacDonald, N. Battista, and K.M.A. Chan, 2017: Will communities “open-up” to offshore wind? Lessons learned from New England islands in the United States. *Energy Research & Social Science*, **34**, 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.05.009>
161. Methratta, E.T., A. Hawkins, B.R. Hooker, A. Lipsky, and J.A. Hare, 2020: Offshore wind development in the Northeast US Shelf Large Marine Ecosystem: Ecological, human, and fishery management dimensions. *Oceanography*, **33** (4), 16–27. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.402>
162. Tyler, G., D. Bidwell, T. Smythe, and S. Trandafir, 2022: Preferences for community benefits for offshore wind development projects: A case study of the Outer Banks of North Carolina, U.S. *Journal of Environmental Policy & Planning*, **24** (1), 39–55. <https://doi.org/10.1080/1523908x.2021.1940896>
163. Koehn, L.E., L.K. Nelson, J.F. Samhoury, K.C. Norman, M.G. Jacox, A.C. Cullen, J. Fiechter, M. Pozo Buil, and P.S. Levin, 2022: Social-ecological vulnerability of fishing communities to climate change: A U.S. West Coast case study. *PLoS ONE*, **17** (8), e0272120. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272120>
164. MAFMC, 2022: East Coast Climate Change Scenario Planning. Mid-Atlantic Fishery Management Council. <https://www.mafmc.org/climate-change-scenario-planning>
165. PFMC, 2022: Climate and Communities Initiative. Pacific Fishery Management Council. <https://www.pcouncil.org/actions/climate-and-communities-initiative/>
166. Cities of Portland and South Portland, 2021: One Climate Future: Charting a Course for Portland and South Portland. Portland and South Portland Sustainability Offices. https://www.oneclimatefuture.org/wp-content/uploads/2021/02/OneClimateFuture_FinalJan2021_Downscaled.pdf
167. Takak, L., H. Shepherd, G. Griffith, and M. Hall, 2021: Norton Bay Watershed Ocean and Coastal Management Plan (NBWOCMP): Protecting the Watershed’s Subsistence Culture and Resources. Norton Bay Inter-Tribal Watershed Council. https://www.nortonbaywatershed.org/wp-content/uploads/2022/01/Norton-Bay-Watershed-Ocean-and-Coastal-Management-Plan-NBWOCMP_8-25-21_FNLv3-merged.pdf
168. Gattuso, J.-P., A.K. Magnan, L. Bopp, W.W.L. Cheung, C.M. Duarte, J. Hinkel, E. Mcleod, F. Micheli, A. Oschlies, P. Williamson, R. Billé, V.I. Chalastani, R.D. Gates, J.-O. Irisson, J.J. Middelburg, H.-O. Pörtner, and G.H. Rau, 2018: Ocean solutions to address climate change and its effects on marine ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, **5**, 337. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00337>
169. Williamson, P. and J.-P. Gattuso, 2022: Carbon removal using coastal blue carbon ecosystems is uncertain and unreliable, with questionable climatic cost-effectiveness. *Frontiers in Climate*, **4**, 853666. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.853666>
170. ARPA-E, 2022: Direct Removal of Carbon Dioxide from Oceanwater. U.S. Department of Energy, Advanced Research Projects Agency–Energy, accessed May 26, 2022. <https://arpa-e.energy.gov/technologies/exploratory-topics/direct-ocean-capture>

171. Bertram, C. and C. Merk, 2020: Public perceptions of ocean-based carbon dioxide removal: The nature-engineering divide? *Frontiers in Climate*, **2**, 594194. <https://doi.org/10.3389/fclim.2020.594194>
172. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2022: *A Research Strategy for Ocean-based Carbon Dioxide Removal and Sequestration*. The National Academies Press, Washington, DC, 322 pp. <https://doi.org/10.17226/26278>
173. Silverman-Roati, K., M.B. Gerrard, and R.M. Webb, 2021: Removing Carbon Dioxide Through Seaweed Cultivation: Legal Challenges and Opportunities. Columbia Law School, Sabin Center for Climate Change Law. https://scholarship.law.columbia.edu/faculty_scholarship/2980
174. XPRIZE, 2022: \$100M Prize for Carbon Removal. XPRIZE Foundation, accessed May 26, 2022. <https://www.xprize.org/prizes/elonmusk>
175. University of Hawai'i, 2021: \$6M for UH wave energy conversion research. *University of Hawai'i News*, August 11, 2021. <https://www.hawaii.edu/news/2021/08/11/wave-energy-conversion-6m/>
176. Hoegh-Guldberg, O., K. Caldeira, T. Chopin, S. Gaines, P. Haugan, M. Hemer, J. Howard, M. Konar, D. Krause-Jensen, E. Lindstad, C. Lovelock, M. Michelin, F. Nielsen, E. Northrop, R. Parker, J. Roy, T. Smith, S. Some, and P. Tyedmers, 2019: The Ocean as a Solution to Climate Change: Five Opportunities for Action. World Resources Institute, Washington, DC. <https://oceanpanel.org/publication/the-ocean-as-a-solution-to-climate-change-five-opportunities-for-action/>
177. Gephart, J.A., P.J.G. Henriksson, R.W.R. Parker, A. Shepon, K.D. Gorospe, K. Bergman, G. Eshel, C.D. Golden, B.S. Halpern, S. Hornborg, M. Jonell, M. Metian, K. Mifflin, R. Newton, P. Tyedmers, W. Zhang, F. Ziegler, and M. Troell, 2021: Environmental performance of blue foods. *Nature*, **597** (7876), 360–365. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03889-2>
178. UNEP, 2021: Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On—A World of Climate Promises Not Yet Delivered. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2021>
179. IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2391 pp. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
180. Ellam Yua, J. Raymond-Yakoubian, R. Aluaq Daniel, and C. Behe, 2022: A framework for co-production of knowledge in the context of Arctic research. *Ecology and Society*, **27** (1), 34. <https://doi.org/10.5751/es-12960-270134>
181. Huntington, H.P., M. Carey, C. Apok, B.C. Forbes, S. Fox, L.K. Holm, A. Ivanova, J. Jaypoody, G. Noongwook, and F. Stammer, 2019: Climate change in context: Putting people first in the Arctic. *Regional Environmental Change*, **19** (4), 1217–1223. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01478-8>
182. Degroot, D., K. Anchukaitis, M. Bauch, J. Burnham, F. Carnegy, J. Cui, K. de Luna, P. Guzowski, G. Hambrecht, H. Huhtamaa, A. Izdebski, K. Kleemann, E. Moesswilde, N. Neupane, T. Newfield, Q. Pei, E. Xoplaki, and N. Zappia, 2021: Towards a rigorous understanding of societal responses to climate change. *Nature*, **591** (7851), 539–550. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03190-2>
183. Boström-Einarsson, L., R.C. Babcock, E. Bayraktarov, D. Ceccarelli, N. Cook, S.C.A. Ferse, B. Hancock, P. Harrison, M. Hein, E. Shaver, A. Smith, D. Suggett, P.J. Stewart-Sinclair, T. Vardi, and I.M. McLeod, 2020: Coral restoration—A systematic review of current methods, successes, failures and future directions. *PLoS ONE*, **15** (1), e0226631. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226631>
184. Condie, S.A., K.R.N. Anthony, R.C. Babcock, M.E. Baird, R. Beeden, C.S. Fletcher, R. Gorton, D. Harrison, A.J. Hobday, É.E. Plagányi, and D.A. Westcott, 2021: Large-scale interventions may delay decline of the Great Barrier Reef. *Royal Society Open Science*, **8** (4), 201296. <https://doi.org/10.1098/rsos.201296>
185. Reguero, B.G., M.W. Beck, D.N. Bresch, J. Calil, and I. Meliane, 2018: Comparing the cost effectiveness of nature-based and coastal adaptation: A case study from the Gulf Coast of the United States. *PLoS ONE*, **13** (4), e0192132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192132>
186. Riisager-Simonsen, C., G. Fabi, L. van Hoof, N. Holmgren, G. Marino, and D. Lisbjerg, 2022: Marine nature-based solutions: Where societal challenges and ecosystem requirements meet the potential of our oceans. *Marine Policy*, **144**, 105198. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105198>

187. Seddon, N., A. Chausson, P. Berry, C.A.J. Girardin, A. Smith, and B. Turner, 2020: Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **375** (1794), 20190120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
188. Bremer, L.L., B. Keeler, P. Pascua, R. Walker, and E. Sterling, 2021: Ch. 5. Nature-based solutions, sustainable development, and equity. In: *Nature-Based Solutions and Water Security*. Cassin, J., J.H. Matthews, and E.L. Gunn, Eds. Elsevier, 81–105. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819871-1.00016-6>
189. Water Power Technologies Office, 2022: 2020–2021 Accomplishments Report. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Water Power Technologies Office. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-03/wpto-accomplishments-report-march-2022.pdf>
190. Taylor, J., J.-M. Bonello, D. Baresic, and T. Smith, 2022: Future Maritime Fuels in the USA—The Options and Their Potential Pathways. UMAS, London, UK, 59 pp. https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2022/04/oc_fuels_final_report_20220117.pdf
191. Cooley, S.R., S. Klinsky, D.R. Morrow, and T. Satterfield, 2023: Sociotechnical considerations about ocean carbon dioxide removal. *Annual Review of Marine Science*, **15** (1), 41–66. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032122-113850>
192. Mooney, T.A., M.H. Andersson, and J. Stanley, 2020: Acoustic impacts of offshore wind energy on fishery resources: An evolving source and varied effects across a wind farm’s lifetime. *Oceanography*, **33** (4), 82–95. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.408>
193. Perry, R. and W. Heyman, 2020: Considerations for offshore wind energy development effects on fish and fisheries in the United States: A review of existing studies, new efforts, and opportunities for innovation. *Oceanography*, **33** (4), 28–37. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.403>
194. Gardiner, S.M., 2006: A Perfect Moral Storm: Climate change, intergenerational ethics and the problem of moral corruption. *Environmental Values*, **15** (3), 397–413. <https://doi.org/10.3197/096327106778226293>
195. Haas, B., M. Mackay, C. Novaglio, L. Fullbrook, M. Murunga, C. Sbrocchi, J. McDonald, P.C. McCormack, K. Alexander, M. Fudge, L. Goldsworthy, F. Boschetti, I. Dutton, L. Dutra, J. McGee, Y. Rousseau, E. Spain, R. Stephenson, J. Vince, C. Wilcox, and M. Haward, 2022: The future of ocean governance. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **32** (1), 253–270. <https://doi.org/10.1007/s11160-020-09631-x>
196. Brett, A., J. Leape, M. Abbott, H. Sakaguchi, L. Cao, K. Chand, Y. Golbuu, T.J. Martin, J. Mayorga, and M.S. Myksovoll, 2020: Ocean data need a sea change to help navigate the warming world. *Nature*, **582** (7811), 181–183. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01668-z>
197. Chavez, F.P., M. Min, K. Pitz, N. Truelove, J. Baker, D. LaScala-Grunewald, M. Blum, K. Walz, C. Nye, A. Djurhuus, R.J. Miller, K.D. Goodwin, F.E. Muller-Karger, H.A. Ruhl, and C.A. Scholin, 2021: Observing life in the sea using environmental DNA. *Oceanography*, **34** (2), 102–119. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2021.218>
198. Roemmich, D., L. Talley, N. Zilberman, E. Osborne, K. Johnson, L. Barbero, H. Bittig, N. Briggs, A. Fassbender, G. Johnson, B. King, E. McDonagh, S. Purkey, S. Riser, T. Suga, Y. Takeshita, V. Thierry, and S. Wijffels, 2021: The technological, scientific, and sociological revolution of global subsurface ocean observing. *Oceanography*, **34** (4), 2–8. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2021.supplement.02-02>
199. Schmidt, J.O., S.J. Bograd, H. Arrizabalaga, J.L. Azevedo, S.J. Barbeaux, J.A. Barth, T. Boyer, S. Brodie, J.J. Cárdenas, S. Cross, J.-N. Druon, A. Fransson, J. Hartog, E.L. Hazen, A. Hobday, M. Jacox, J. Karstensen, S. Kupschus, J. Lopez, L.A.S.-P. Madureira, J.E. Martinelli Filho, P. Miloslavich, C.P. Santos, K. Scales, S. Speich, M.B. Sullivan, A. Szoboszlai, D. Tommasi, D. Wallace, S. Zador, and P.A. Zawislak, 2019: Future ocean observations to connect climate, fisheries and marine ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, **6**, 550. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00550>
200. Berkes, F., J. Colding, and C. Folke, 2000: Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications*, **10** (5), 1251–1262. <https://doi.org/10.2307/2641280>
201. Lam, D.P.M., E. Hinz, D.J. Lang, M. Tengö, H. von Wehrden, and B. Martín-López, 2020: Indigenous and local knowledge in sustainability transformations research: A literature review. *Ecology and Society*, **25** (1), 3. <https://doi.org/10.5751/es-11305-250103>

202. Moltmann, T., J. Turton, H.-M. Zhang, G. Nolan, C. Gouldman, L. Griesbauer, Z. Willis, Á.M. Piniella, S. Barrell, E. Andersson, C. Gallage, E. Charpentier, M. Belbeoch, P. Poli, A. Rea, E.F. Burger, D.M. Legler, R. Lumpkin, C. Meinig, K. O'Brien, K. Saha, A. Sutton, D. Zhang, and Y. Zhang, 2019: A Global Ocean Observing System (GOOS), delivered through enhanced collaboration across regions, communities, and new technologies. *Frontiers in Marine Science*, **6**, 291. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00291>
203. Colgan, C.S., P. King, and S. Jenkins, 2021: California Coastal Recreation: Beyond the Beach. Publications. 1. Middlebury Institute of International Studies at Monterey, Center for the Blue Economy. <https://cbe.miis.edu/publications/1>
204. ERG and Synapse Energy Economics, 2020: Volume 2. Cost of doing nothing analysis. In: *Assessing the Impacts Climate Change May Have on the State's Economy, Revenues, and Investment Decisions: Summary Report*. Eastern Research Group and Synapse Energy Economics, Augusta, ME, 9–13. https://www.maine.gov/future/sites/maine.gov/future/files/inline-files/ERG_MCC_AssessingImpactsClimateChangeMaine_Summary.pdf
205. Wall, T.U., E. McNie, and G.M. Garfin, 2017: Use-inspired science: Making science usable by and useful to decision makers. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **15** (10), 551–559. <https://doi.org/10.1002/fee.1735>
206. Jacox, M.G., M.A. Alexander, D. Amaya, E. Becker, S.J. Bograd, S. Brodie, E.L. Hazen, M. Pozo Buil, and D. Tommasi, 2022: Global seasonal forecasts of marine heatwaves. *Nature*, **604** (7906), 486–490. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04573-9>
207. Jacox, M.G., M.A. Alexander, S. Siedlecki, K. Chen, Y.-O. Kwon, S. Brodie, I. Ortiz, D. Tommasi, M.J. Widlansky, D. Barrie, A. Capotondi, W. Cheng, E. Di Lorenzo, C. Edwards, J. Fiechter, P. Fratantoni, E.L. Hazen, A.J. Hermann, A. Kumar, A.J. Miller, D. Pirhalla, M. Pozo Buil, S. Ray, S.C. Sheridan, A. Subramanian, P. Thompson, L. Thorne, H. Annamalai, K. Aydin, S.J. Bograd, R.B. Griffis, K. Kearney, H. Kim, A. Mariotti, M. Merrifield, and R. Rykaczewski, 2020: Seasonal-to-interannual prediction of North American coastal marine ecosystems: Forecast methods, mechanisms of predictability, and priority developments. *Progress in Oceanography*, **183**, 102307. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102307>
208. Liu, G., C.M. Eakin, M. Chen, A. Kumar, J.L. De La Cour, S.F. Heron, E.F. Geiger, W.J. Skirving, K.V. Tirak, and A.E. Strong, 2018: Predicting heat stress to inform reef management: NOAA Coral Reef Watch's 4-month coral bleaching outlook. *Frontiers in Marine Science*, **5**, 57. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00057>
209. Mills, K.E., A.J. Pershing, and C.M. Hernández, 2017: Forecasting the seasonal timing of Maine's lobster fishery. *Frontiers in Marine Science*, **4**, 337. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00337>
210. Tommasi, D., C.A. Stock, A.J. Hobday, R. Methot, I.C. Kaplan, J.P. Eveson, K. Holsman, T.J. Miller, S. Gaichas, M. Gehlen, A. Pershing, G.A. Vecchi, R. Msadek, T. Delworth, C.M. Eakin, M.A. Haltuch, R. Séférian, C.M. Spillman, J.R. Hartog, S. Siedlecki, J.F. Samhuri, B. Muhling, R.G. Asch, M.L. Pinsky, V.S. Saba, S.B. Kapnick, C.F. Gaitan, R.R. Rykaczewski, M.A. Alexander, Y. Xue, K.V. Pegion, P. Lynch, M.R. Payne, T. Kristiansen, P. Lehodey, and F.E. Werner, 2017: Managing living marine resources in a dynamic environment: The role of seasonal to decadal climate forecasts. *Progress in Oceanography*, **152**, 15–49. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2016.12.011>
211. Bell, R., A. Strawn, and G. Kirchner, 2021: Flexibility in the Pacific Fisheries Management Council's Fishery Management Plans: What is Flexible Fisheries Management? The Nature Conservancy, Portland, OR. https://pfmtc.psmfc.org/CommentReview/DownloadFile?p=5fdeb210-d94e-44e0-9fc5-a2c79ef1f2c3.pdf&fileName=1.2_Climate%20and%20Communities%20Initiative%20Update_Flexibility%20White%20Paper_TNC.pdf
212. Drenkard, E.J., C. Stock, A.C. Ross, K.W. Dixon, A. Adcroft, M. Alexander, V. Balaji, S.J. Bograd, M. Butenschön, W. Cheng, E. Curchitser, E.D. Lorenzo, R. Dussin, A.C. Haynie, M. Harrison, A. Hermann, A. Hollowed, K. Holsman, J. Holt, M.G. Jacox, C.J. Jang, K.A. Kearney, B.A. Muhling, M.P. Buil, V. Saba, A.B. Sandø, D. Tommasi, and M. Wang, 2021: Next-generation regional ocean projections for living marine resource management in a changing climate. *ICES Journal of Marine Science*, **78** (6), 1969–1987. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab100>
213. IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, and B. Rama, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
214. Daniel, R., 2019: Understanding our environment requires an indigenous worldview. *Eos*, **100**. <https://doi.org/10.1029/2019eo137482>

215. Pershing, A.J., R.B. Griffis, E.B. Jewett, C.T. Armstrong, J.F. Bruno, D.S. Busch, A.C. Haynie, S.A. Siedlecki, and D. Tommasi, 2018: Ch. 9. Oceans and marine resources. In: *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II*. Reidmiller, D.R., C.W. Avery, D. Easterling, K. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock, and B.C. Stewart, Eds. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 353–390. <https://doi.org/10.7930/nca4.2018.ch9>
216. Levin, L.A., B.J. Bett, A.R. Gates, P. Heimbach, B.M. Howe, F. Janssen, A. McCurdy, H.A. Ruhl, P. Snelgrove, K.I. Stocks, D. Bailey, S. Baumann-Pickering, C. Beaverson, M.C. Benfield, D.J. Booth, M. Carreiro-Silva, A. Colaço, M.C. Eblé, A.M. Fowler, K.M. Gjerde, D.O.B. Jones, K. Katsumata, D. Kelley, N. Le Bris, A.P. Leonardi, F. Lejzerowicz, P.I. Macreadie, D. McLean, F. Meitz, T. Morato, A. Netburn, J. Pawlowski, C.R. Smith, S. Sun, H. Uchida, M.F. Vardaro, R. Venkatesan, and R.A. Weller, 2019: Global Observing needs in the deep ocean. *Frontiers in Marine Science*, **6**, 241. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00241>
217. Sumaila, U.R., J. Palacios-Abrantes, and W.W.L. Cheung, 2020: Climate change, shifting threat points, and the management of transboundary fish stocks. *Ecology and Society*, **25** (4), 40. <https://doi.org/10.5751/es-11660-250440>
218. Colgan, C.S., 2016: The economics of adaptation to climate change in coasts and oceans: Literature review, policy implications and research agenda. *Journal of Ocean and Coastal Economics*, **3** (2), 1. <https://doi.org/10.15351/2373-8456.1067>
219. Constable, A.J., S. Harper, J. Dawson, K. Holsman, T. Mustonen, D. Piepenburg, and B. Rost, 2022: Cross-Chapter paper 6: Polar regions. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, and B. Rama, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2319–2368. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.023>
220. Mcleod, E., G.L. Chmura, S. Bouillon, R. Salm, M. Björk, C.M. Duarte, C.E. Lovelock, W.H. Schlesinger, and B.R. Silliman, 2011: A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **9** (10), 552–560. <https://doi.org/10.1890/110004>
221. Sasmito, S.D., D. Murdiyarso, D.A. Friess, and S. Kurnianto, 2016: Can mangroves keep pace with contemporary sea level rise? A global data review. *Wetlands Ecology and Management*, **24** (2), 263–278. <https://doi.org/10.1007/s11273-015-9466-7>
222. Scarano, F.R., 2017: Ecosystem-based adaptation to climate change: Concept, scalability and a role for conservation science. *Perspectives in Ecology and Conservation*, **15** (2), 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.05.003>