

El océano y la criosfera en un clima cambiante

Informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

Resumen para responsables de políticas



El océano y la criosfera en un clima cambiante

Informe especial del Grupo Intergubernamental de
Expertos sobre el Cambio Climático

Resumen para responsables de políticas

Editado por

Hans-Otto Pörtner

Copresidente del Grupo de Trabajo II

Valérie Masson-Delmotte

Copresidenta del Grupo de Trabajo I

Debra C. Roberts

Copresidenta del Grupo de Trabajo II

Panmao Zhai

Copresidente del Grupo de Trabajo I

Melinda Tignor

Jefa de la UAT del GT II

Elvira Poloczanska

Asesora Científica de los
Copresidentes y la UAT del GT II

Katja Mintenbeck

Directora Científica

Andrés Alegría

Grafista

Maike Nicolai

Oficial de Comunicaciones

Andrew Okem

Funcionario Científico

Jan Petzold

Funcionario Científico

Bardhyl Rama

Director de Operaciones

Nora M. Weyer

Funcionaria Científica

Unidad de Apoyo Técnico del Grupo de Trabajo II

Diseño e ilustración de la tapa y contratapa por Stefanie Langsdorf

© 2019 Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

Impreso en junio de 2020 por el IPCC, Suiza. Pueden descargarse copias electrónicas del presente Resumen para responsables de políticas del sitio web del IPCC: www.ipcc.ch.

ISBN 978-92-9169-355-9

Resumen para responsables de políticas

Resumen para responsables de políticas

Autores del equipo de redacción:

Nerilie Abram (Australia), Carolina Adler (Suiza/Australia), Nathaniel L. Bindoff (Australia), Lijing Cheng (China), So-Min Cheong (República de Corea), William W. L. Cheung (Canadá), Matthew Collins (Reino Unido), Chris Derksen (Canadá), Alexey Ekaykin (Federación de Rusia), Thomas Frölicher (Suiza), Matthias Garschagen (Alemania), Jean-Pierre Gattuso (Francia), Bruce Glavovic (Nueva Zelanda), Stephan Gruber (Canadá/Alemania), Valeria Guinder (Argentina), Robert Hallberg (Estados Unidos de América), Sherilee Harper (Canadá), Nathalie Hilmi (Mónaco/Francia), Jochen Hinkel (Alemania), Yukiko Hirabayashi (Japón), Regine Hock (Estados Unidos de América), Anne Hollowed (Estados Unidos de América), Helene Jacot Des Combes (Fiji), James Kairo (Kenya), Alexandre K. Magnan (Francia), Valérie Masson-Delmotte (Francia), J. B. Robin Matthews (Reino Unido), Kathleen McInnes (Australia), Michael Meredith (Reino Unido), Katja Mintenbeck (Alemania), Samuel Morin (Francia), Andrew Okem (Sudáfrica/Nigeria), Michael Oppenheimer (Estados Unidos de América), Ben Orlove (Estados Unidos de América), Jan Petzold (Alemania), Anna Pirani (Italia), Elvira Poloczanska (Reino Unido/Australia), Hans-Otto Pörtner (Alemania), Anjal Prakash (Nepal/India), Golam Rasul (Nepal), Evelia Rivera-Arriaga (México), Debra C. Roberts (Sudáfrica), Edward A. G. Schuur (Estados Unidos de América), Zita Sebesvari (Hungría/Alemania), Martin Sommerkorn (Noruega/Alemania), Michael Sutherland (Trinidad y Tabago), Alessandro Tagliabue (Reino Unido), Roderik Van De Wal (Países Bajos), Phil Williamson (Reino Unido), Rong Yu (China), Panmao Zhai (China)

Autores que contribuyeron al equipo de redacción:

Andrés Alegria (Honduras), Robert M. DeConto (Estados Unidos de América), Andreas Fischlin (Suiza), Shengping He (Noruega/China), Miriam Jackson (Noruega), Martin Künsting (Alemania), Erwin Lambert (Países Bajos), Pierre-Marie Lefeuve (Noruega/Francia), Alexander Milner (Reino Unido), Jess Melbourne-Thomas (Australia), Benoit Meyssignac (Francia), Maike Nicolai (Alemania), Hamish Pritchard (Reino Unido), Heidi Steltzer (Estados Unidos de América), Nora M. Weyer (Alemania)

Este Resumen para responsables de políticas deberá ser citado del siguiente modo:

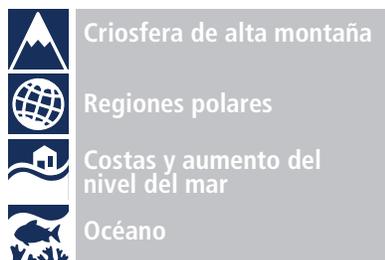
IPCC, 2019: "Resumen para responsables de políticas", en: *Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante del IPCC* [H. O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. M. Weyer (eds.)]. En prensa.

Introducción

El presente *Informe especial sobre los océanos y la criosfera¹ en un clima cambiante* (SROCC) se elaboró como resultado de la decisión del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), adoptada en 2016, de realizar tres informes especiales durante el sexto ciclo de evaluación². Mediante la evaluación de nuevas publicaciones científicas³, el SROCC⁴ responde a las propuestas de los gobiernos y las organizaciones observadoras. El SROCC es la continuación de los otros dos informes especiales, *Calentamiento global de 1,5 °C* (SR1.5) y *El cambio climático y la tierra* (SRCLL)⁵ y del Informe de Evaluación Mundial sobre la Biodiversidad y los Servicios de los Ecosistemas elaborado por la Plataforma Intergubernamental sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES).

En el presente Resumen para responsables de políticas (RRP) se recopilan las principales conclusiones del informe. El resumen está organizado en tres partes: RRP.A: Cambios e impactos observados, RRP.B: Cambios y riesgos proyectados, y RRP.C: Instrumentación de respuestas a los cambios en los océanos y la criosfera. Para facilitar la consulta del RRP, se incluyen íconos que indican dónde pueden encontrarse los contenidos. El nivel de confianza de las conclusiones principales se expresa mediante el lenguaje calibrado del IPCC⁶, y el fundamento científico que sustenta cada una de las conclusiones principales se indica por medio de referencias a las secciones del informe de base.

Claves de los íconos que indican contenidos



¹ En el presente informe (anexo I: Glosario), la criosfera se define como los componentes del sistema Tierra que están en la superficie terrestre y oceánica o debajo de esta y que están congelados, como el manto de nieve, los glaciares, los mantos de hielo, las plataformas de hielo, los témpanos, el hielo marino, el hielo lacustre, el hielo fluvial, el permafrost y el terreno congelado estacionalmente.

² La decisión de elaborar un informe especial sobre el cambio climático y su influencia en los océanos y la criosfera se adoptó en la cuadragésima tercera reunión del IPCC, celebrada en Nairobi (Kenya) del 11 al 13 de abril de 2016.

³ Plazos: 15 de octubre de 2018 para la presentación de manuscritos y 15 de mayo de 2019 para la aceptación para su publicación.

⁴ El SROCC se elaboró bajo la dirección científica de los Grupos de Trabajo I y II. En consonancia con el esquema aprobado, no se evalúan las opciones de mitigación (Grupo de Trabajo III), a excepción del potencial de mitigación del carbono azul (ecosistemas costeros).

⁵ Los títulos completos de estos dos informes especiales son los siguientes: *Calentamiento global de 1,5 °C. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza*; y *El cambio climático y la tierra. Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres*.

⁶ Cada conclusión se basa en una evaluación de la evidencia subyacente y el acuerdo. El nivel de confianza se expresa mediante cinco calificativos: muy bajo, bajo, medio, alto o muy alto, y figura en letra cursiva (p. ej., *nivel de confianza medio*). Se han utilizado los siguientes términos para indicar la probabilidad de un resultado: prácticamente seguro, entre el 99 % y el 100 % de probabilidad; muy probable, entre el 90 % y el 100 % de probabilidad; probable, entre el 66 % y el 100 %; tan probable como improbable, entre el 33 % y el 66 %; improbable, entre el 0 % y el 33 %; muy improbable, entre el 0 % y el 10%; y extraordinariamente improbable, entre el 0 % y el 1 %. La probabilidad evaluada figura en letra cursiva (p. ej., *muy probable*), para mantener la coherencia con el Quinto Informe de Evaluación (IE5) y otros informes especiales del Sexto Informe de Evaluación (IE6). Se utilizan otras expresiones cuando resulta apropiado (sumamente probable, entre el 95 % y el 100 %; más bien probable, de > 50 % a 100 %; más improbable que probable, de 0 % a < 50 %; y sumamente improbable, entre el 0 % y el 5 %). En este informe también se utilizan los términos rango *probable* o rango *muy probable* para indicar que la probabilidad evaluada de un resultado se encuentra en el rango de probabilidad del 17 % al 83 % o del 5 % al 95 %. {1.9.2, figura 1.4}

Recuadro inicial | La importancia de los océanos y la criosfera para las personas

Todas las personas de la Tierra dependen de forma directa o indirecta de los océanos y la criosfera. Los océanos cubren el 71 % de la superficie terrestre y contienen aproximadamente el 97 % del agua del planeta. La criosfera se refiere a los componentes congelados del sistema Tierra¹. Alrededor del 10 % de la superficie terrestre está cubierta por glaciares o mantos de hielo. Los océanos y la criosfera albergan hábitats únicos y están interconectados con otros componentes del sistema climático mediante el intercambio mundial de agua, energía y carbono. Las respuestas previstas de los océanos y la criosfera a las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas por las actividades humanas anteriores y actuales y al calentamiento global en curso incluyen las retroalimentaciones climáticas, los cambios en los últimos decenios a milenios que no pueden evitarse, los umbrales de cambio abrupto y la irreversibilidad. {Recuadros 1.1, 1.2}

Las comunidades humanas con una estrecha conexión con los entornos costeros, las islas pequeñas (incluidos los pequeños Estados insulares en desarrollo, PEID), las zonas polares y las altas montañas⁷ están especialmente expuestas a los cambios en los océanos y la criosfera, por ejemplo, el aumento del nivel del mar, el nivel del mar extremo y la reducción de la extensión de la criosfera. Otras comunidades que se encuentran más alejadas de la costa también están expuestas a los cambios en los océanos, por ejemplo, a través de los fenómenos meteorológicos extremos. En la actualidad, aproximadamente 4 millones de personas viven de forma permanente en la región del Ártico, de las cuales el 10 % es indígena. En las zonas costeras bajas⁸ actualmente residen alrededor de 680 millones de personas (casi el 10 % de la población mundial de 2010), y se prevé que esta cifra se elevará a más de 1 000 millones en 2050. En los PEID viven 65 millones de personas. Aproximadamente 670 millones de personas (casi el 10 % de la población mundial de 2010), incluidos los pueblos indígenas, viven en regiones de alta montaña de todos los continentes, excepto la Antártida. Se prevé que en dichas regiones habrá entre 740 y 840 millones de habitantes en 2050 (alrededor del 8,4 % al 8,7 % de la población mundial proyectada). {1.1, 2.1, 3.1, recuadro general 9, figura 2.1}

Además de la función que cumplen en el sistema climático, por ejemplo, la absorción y la redistribución del dióxido de carbono (CO₂) natural y antropógeno y del calor, así como el sostenimiento de los ecosistemas, los servicios que los océanos y la criosfera brindan a los seres humanos incluyen el suministro de alimentos y agua, la energía renovable, los beneficios para la salud y el bienestar, los valores culturales, el turismo, el comercio y el transporte. El estado de los océanos y la criosfera interactúa con cada uno de los aspectos de la sostenibilidad reflejados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. {1.1, 1.2, 1.5}

⁷ Las regiones de alta montaña incluyen todas las regiones montañosas donde los glaciares, la nieve o el permafrost son características destacadas del paisaje. Para obtener una lista de las regiones de alta montaña abarcadas en este informe, véase el capítulo 2. La población de las regiones de alta montaña se calcula para las zonas situadas a menos de 100 kilómetros de los glaciares o el permafrost de las zonas de alta montaña evaluadas en este informe. {2.1} Las proyecciones para 2050 proporcionan el rango de población en estas regiones en las cinco trayectorias socioeconómicas compartidas (SSPs). {Recuadro general 1 del capítulo 1}

⁸ La población de las zonas costeras bajas se calcula para las superficies terrestres conectadas con la costa, incluidos los pequeños Estados insulares, que se encuentran a menos de 10 metros sobre el nivel del mar. {Recuadro general 9} Las proyecciones para 2050 proporcionan el rango de población de estas regiones en las cinco trayectorias socioeconómicas compartidas. {Recuadro general 1 del capítulo 1}

RRP.A Cambios e Impactos Observados

Cambios físicos observados

A.1 En los últimos decenios, el calentamiento global ha provocado una gran reducción de la extensión de la criosfera, con una pérdida de masa de los mantos de hielo y los glaciares (*nivel de confianza muy alto*), reducciones de los mantos de nieve (*nivel de confianza alto*) y de la extensión y el espesor del hielo marino del Ártico (*nivel de confianza muy alto*), y un aumento de la temperatura del permafrost (*nivel de confianza muy alto*). {2.2, 3.2, 3.3, 3.4, figuras RRP.1, RRP.2}

A.1.1  Los glaciares y los mantos de hielo de todo el mundo han sufrido pérdidas de masa (*nivel de confianza muy alto*). Entre 2006 y 2015, el manto de hielo de Groenlandia⁹ perdió masa de hielo a un ritmo medio de $278 \pm 11 \text{ Gt/año}^{-1}$ (equivalente a un aumento del nivel del mar a escala mundial de $0,77 \pm 0,03 \text{ mm/año}^{-1}$)¹⁰, lo que obedeció, sobre todo, al derretimiento en superficie (*nivel de confianza alto*). En el período 2006-2015, el manto de hielo de la Antártida experimentó una pérdida de masa a un ritmo medio de $155 \pm 19 \text{ Gt/año}^{-1}$ ($0,43 \pm 0,05 \text{ mm/año}^{-1}$), debido principalmente al rápido adelgazamiento y retroceso de los grandes glaciares de aflujo que nutren el manto de hielo de la Antártida occidental (*nivel de confianza muy alto*). Los glaciares de todo el mundo, excepto los de Groenlandia y la Antártida, sufrieron una pérdida de masa a un ritmo medio de $220 \pm 30 \text{ Gt/año}^{-1}$ (equivalente a un aumento del nivel del mar de $0,61 \pm 0,08 \text{ mm/año}^{-1}$) en el período 2006-2015. {3.3.1, 4.2.3, apéndice 2.A, figura RRP.1}

A.1.2  La extensión del manto de nieve del Ártico registrada en junio en tierra disminuyó en un $13,4 \pm 5,4 \%$ por decenio de 1967 a 2018, lo que representa una pérdida total de aproximadamente 2,5 millones de km^2 , debido principalmente al aumento de la temperatura del aire en superficie (*nivel de confianza alto*). En casi todas las regiones de alta montaña, la profundidad, la extensión y la duración del manto de nieve han disminuido en los últimos decenios, especialmente en las zonas de poca altitud (*nivel de confianza alto*). {2.2.2, 3.4.1, figura RRP.1}

A.1.3  Las temperaturas del permafrost han aumentado a niveles sin precedentes (desde la década de 1980 hasta la actualidad) (*nivel de confianza muy alto*), incluido el reciente aumento de $0,29 \text{ °C} \pm 0,12 \text{ °C}$ de 2007 a 2016, promediado en todas las regiones polares y de alta montaña del mundo. El permafrost boreal y del Ártico contiene entre 1460 y 1600 Gt de carbono orgánico, es decir, casi el doble del carbono presente en la atmósfera (*nivel de confianza medio*). Existe una *evidencia media* con un *nivel de acuerdo bajo* sobre si las regiones de permafrost septentrionales actualmente liberan emisiones netas adicionales de metano y CO_2 a causa del deshielo. El deshielo del permafrost y el retroceso de los glaciares han reducido la estabilidad de las laderas de las altas montañas (*nivel de confianza alto*). {2.2.4, 2.3.2, 3.4.1, 3.4.3, figura RRP.1}

A.1.4  Entre 1979 y 2018, es *muy probable* que la extensión del hielo marino del Ártico haya disminuido durante todos los meses del año. Es *muy probable* que las reducciones del hielo marino en septiembre sean del $12,8 \pm 2,3 \%$ por decenio. Es *probable* que estos cambios del hielo marino registrados en septiembre no tengan precedentes en, al menos, los últimos 1.000 años. El hielo marino del Ártico se ha reducido, al mismo tiempo que se ha producido una transición a un hielo más joven: entre 1979 y 2018, la proporción de cobertura de hielo de varios años de, al menos, cinco años de antigüedad ha disminuido en aproximadamente un 90 % (*nivel de confianza muy alto*). Las retroalimentaciones de la pérdida del hielo marino en verano y del manto de nieve en primavera en tierra han contribuido al mayor calentamiento registrado en el Ártico (*nivel de confianza alto*), donde es *probable* que la temperatura del aire en superficie haya aumentado más del doble del promedio mundial durante los dos últimos decenios. Los cambios en el hielo marino del Ártico pueden influir en las condiciones meteorológicas de las latitudes medias (*nivel de confianza medio*), pero existe un *nivel de confianza bajo* en la detección de esta influencia para tipos específicos de tiempo atmosférico. En general, la extensión del hielo marino de la Antártida no ha tenido una tendencia estadísticamente significativa (1979-2018) debido a las señales contradictorias a nivel regional y a la amplia variabilidad interanual (*nivel de confianza alto*). {3.2.1, 6.3.1; recuadro 3.1; recuadro 3.2; A1.2, figuras RRP.1, RRP.2}

⁹ Incluidos los glaciares periféricos.

¹⁰ 360 Gt de hielo corresponden a 1 mm de nivel medio del mar a escala mundial.

Cambios pasados y futuros en los océanos y la criosfera

Cambios históricos (observados y modelados) y proyecciones en el marco de la RCP 2,6 y la RCP 8,5 para los principales indicadores

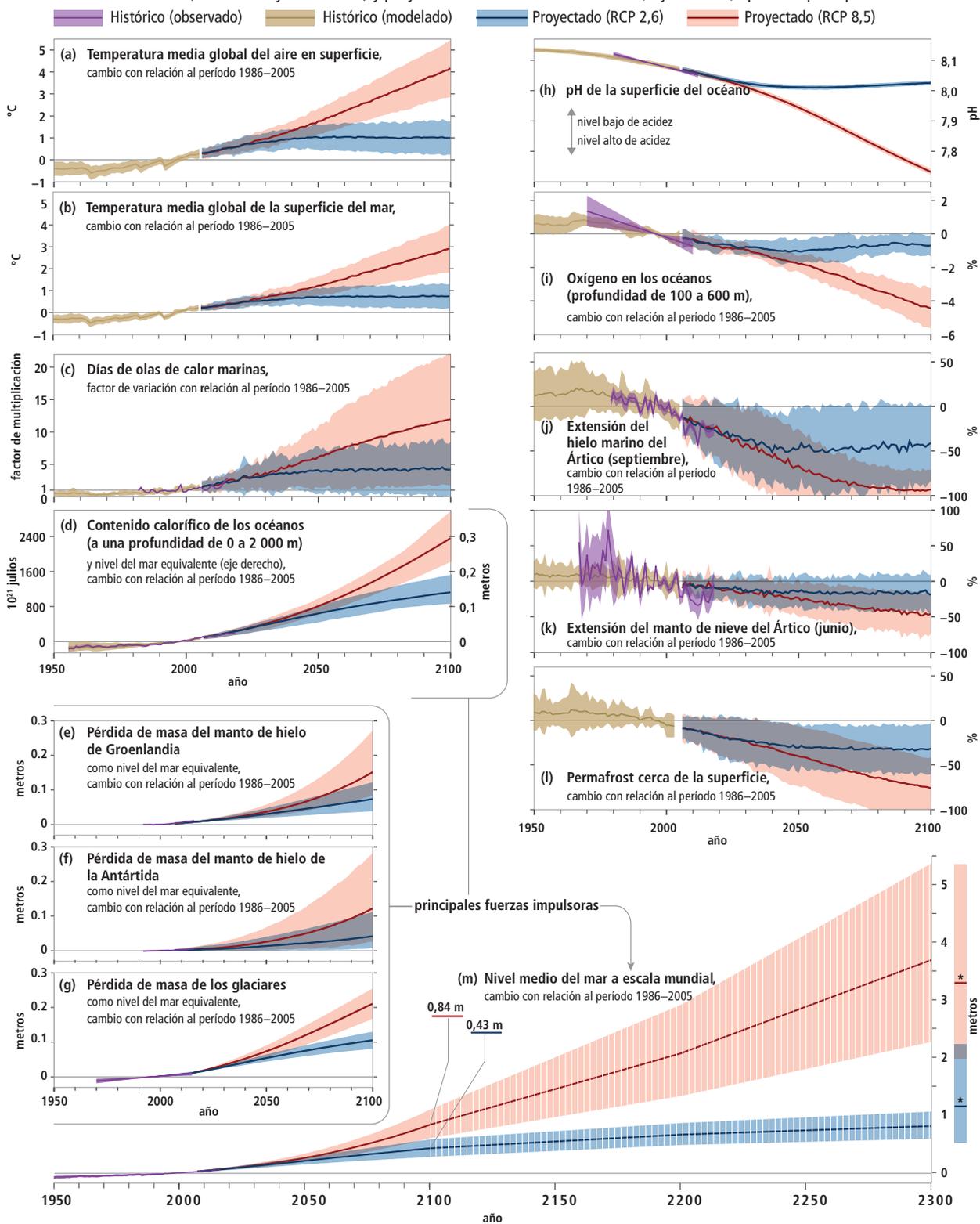


Figura RRP.1 | Cambios históricos observados y modelados en los océanos y la criosfera desde 1950¹¹, y cambios futuros proyectados en escenarios de bajas (RCP 2,6) y altas (RCP 8,5) emisiones de gases de efecto invernadero. {Recuadro RRP.1}

¹¹ Esto no implica que los cambios comenzaron en 1950. Los cambios registrados en algunas variables se han producido desde el período preindustrial.

Figura RRP.1 (continuación): Se muestran los siguientes cambios: **(a)** Cambio en la media global de la temperatura del aire en superficie con rango *probable*. [Recuadro RRP.1, recuadro general 1 del capítulo 1] **Cambios relacionados con los océanos** con rangos *muy probables* para **(b)** cambio en la media global de la temperatura superficial del mar [recuadro 5.1, 5.2.2]; **(c)** factor de variación en los días de olas de calor marinas en la superficie oceánica {6.4.1}; **(d)** cambio en el contenido calorífico de los océanos a nivel mundial (a una profundidad de 0 a 2.000 m). Se muestra un nivel del mar equivalente estérico aproximado con el eje derecho multiplicando el contenido calorífico de los océanos por el coeficiente de expansión térmica media global ($\epsilon \approx 0,125 \text{ m por } 10^{24} \text{ julios}$)¹² correspondiente al calentamiento observado desde 1970 {figura 5.1}; **(h)** pH medio global en superficie (en la escala total). Las tendencias observacionales evaluadas se extraen de sitios de series temporales de mar abierto de más de 15 años [recuadro 5.1, figura 5.6, 5.2.2]; **(i)** cambio en el nivel medio global de oxígeno en los océanos (a una profundidad de 100 a 600 m). Las tendencias observacionales evaluadas abarcan el período 1970-2010, en el que se toma como referencia el año 1996 {figura 5.8, 5.2.2}. **Cambios del nivel del mar** con rangos *probables* para **(m)** cambio del nivel medio del mar a escala mundial. El sombreado con símbolos de almohadilla refleja un *nivel de confianza bajo* en las proyecciones del nivel del mar posteriores al año 2100, y las barras en el año 2300 reflejan conclusiones de expertos sobre el rango de posible cambio del nivel del mar {4.2.3, figura 4.2}; y componentes de **(e)**, **(f)** pérdida de masa de los mantos de hielo de Groenlandia y la Antártida {3.3.1}; y **(g)** pérdida de masa de los glaciares [recuadro general 6 del capítulo 2, cuadro 4.1]. Otros **cambios relacionados con la criosfera** con rangos *muy probables* para **(j)** cambio en la extensión del hielo marino del Ártico en septiembre¹³ {3.2.1, 3.2.2 figura 3.3}; **(k)** cambio en el manto de nieve del Ártico en junio (zonas terrestres al norte de 60 °N) {3.4.1, 3.4.2, figura 3.10}; y **(l)** cambio en el permafrost cerca de la superficie (en profundidades de 3 a 4 m) en el hemisferio norte {3.4.1, 3.4.2, figura 3.10}. No se dispone de evaluaciones de los cambios proyectados en los escenarios intermedios RCP 4,5 y RCP 6,0 para todas las variables consideradas en este informe; las que se encuentran disponibles pueden consultarse en el informe subyacente. [Para la RCP 4,5, véase: 2.2.2, recuadro general 6 del capítulo 2, 3.2.2, 3.4.2, 4.2.3; para la RCP 6,0, véase el recuadro general 1 del capítulo 1]

Recuadro RRP.1 | Uso de escenarios de cambio climático en el SROCC

En este informe, las evaluaciones de los cambios futuros proyectados se basan principalmente en los resultados de los modelos climáticos de la CMIP5 utilizando trayectorias de concentración representativas (RCP)¹⁴. Las RCP son escenarios que incorporan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de gases de efecto invernadero y aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso y cobertura de la tierra. Cada RCP ofrece solo uno de los muchos escenarios posibles que conducirían a diferentes niveles de calentamiento global. {Anexo I: Glosario}

En la evaluación del presente informe, se utilizan principalmente la RCP 2,6 y la RCP 8,5, que reflejan las publicaciones disponibles. La RCP 2,6 representa un futuro con bajas emisiones de gases de efecto invernadero y un alto nivel de mitigación, que en las simulaciones de la CMIP5 proporciona una probabilidad de dos sobre tres de que el calentamiento global se mantenga por debajo de 2 °C en 2100¹⁵. En cambio, la RCP 8,5 es un escenario con altas emisiones de gases de efecto invernadero, sin políticas destinadas a luchar contra el cambio climático, que conduce a un crecimiento constante y sostenido de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero. En comparación con el conjunto total de RCP, la RCP 8,5 corresponde a la trayectoria con el nivel más elevado de emisiones de gases de efecto invernadero. En los capítulos subyacentes también se hace referencia a otros escenarios, como la RCP 4,5 y la RCP 6,0, que tienen niveles intermedios de emisiones de gases de efecto invernadero y se traducen en niveles intermedios de calentamiento. {Anexo I: Glosario, recuadro general 1 del capítulo 1}

En el cuadro RRP.1 se presentan estimaciones del calentamiento total desde el período preindustrial en cuatro RCP diferentes para los principales intervalos de evaluación utilizados en el SROCC. El calentamiento registrado desde el período 1850-1900 hasta el período 1986-2005 ha sido de 0,63 °C (rango *probable* de 0,57 a 0,69 °C) utilizando observaciones de la temperatura del aire cerca de la superficie sobre el océano y la tierra¹⁶. En consonancia con el enfoque adoptado en el Quinto Informe de Evaluación, a este calentamiento observado se suman los cambios futuros modelados en la temperatura media global del aire en superficie con relación al período 1986-2005. {Recuadro general 1 del capítulo 1}

Cuadro RRP.1 | Cambio proyectado en la temperatura media global en superficie con relación al período 1850-1900 para dos períodos en el marco de cuatro RCP¹⁶ {Recuadro general 1 del capítulo 1}

Escenario	A corto plazo: 2031-2050		Finales de este siglo: 2081-2100	
	Media (°C)	Rango <i>probable</i> (°C)	Media (°C)	Rango <i>probable</i> (°C)
RCP 2,6	1,6	De 1,1 a 2,0	1,6	De 0,9 a 2,4
RCP 4,5	1,7	De 1,3 a 2,2	2,5	De 1,7 a 3,3
RCP 6,0	1,6	De 1,2 a 2,0	2,9	De 2,0 a 3,8
RCP 8,5	2,0	De 1,5 a 2,4	4,3	De 3,2 a 5,4

¹² Este factor de escala (expansión media global del océano como aumento del nivel del mar en metros por unidad de calor) varía en alrededor del 10 % entre los diferentes modelos, y aumentará sistemáticamente en aproximadamente un 10 % hasta el año 2100 en el marco del forzamiento en la RCP 8,5 debido a que el calentamiento del océano aumenta el coeficiente de expansión térmica promedio. {4.2.1, 4.2.2, 5.2.2}

¹³ No se muestra el hielo de la Antártida debido al *nivel de confianza bajo* en las futuras proyecciones. {3.2.2}

¹⁴ La CMIP5 es la quinta fase del Proyecto de Comparación de Modelos Acoplados (CMIP) (anexo I: Glosario).

¹⁵ Una trayectoria con emisiones más bajas (RCP 1,9), que correspondería a un nivel más bajo de calentamiento proyectado que en la RCP 2,6, no formó parte de la CMIP5.

¹⁶ En algunos casos, en este informe se evalúan los cambios con relación al período 2006-2015. El calentamiento registrado desde el período 1850-1900 hasta el período 2006-2015 ha sido de 0,87 °C (rango probable de 0,75 a 0,99 °C). {Recuadro general 1 del capítulo 1}

A.2 Es prácticamente seguro que los océanos hayan sufrido un aumento de la temperatura sin interrupción desde 1970 y hayan absorbido más del 90 % del exceso de calor en el sistema climático (*nivel de confianza alto*). Desde 1993, el nivel de calentamiento de los océanos se ha duplicado con creces (*probable*). Es *muy probable* que la frecuencia de las olas de calor marinas se haya duplicado desde 1982 y que su intensidad vaya en aumento (*nivel de confianza muy alto*). Al absorber más CO₂, los océanos han sufrido una mayor acidificación en la superficie (*prácticamente seguro*). Se ha producido una pérdida de oxígeno desde la superficie hasta los 1.000 m (*nivel de confianza medio*). {1.4, 3.2, 5.2, 6.4, 6.7, figuras RRP.1, RRP.2}

A.2.1  La tendencia al calentamiento de los océanos que se documentó en el Quinto Informe de Evaluación (IE5) del IPCC se ha mantenido. Desde 1993, el nivel de calentamiento de los océanos y, por ende, la absorción de calor han aumentado más del doble (*probable*): de $3,22 \pm 1,61$ ZJ/año⁻¹ (a una profundidad de 0 a 700 m) y $0,97 \pm 0,64$ ZJ/año⁻¹ (de 700 a 2 000 m) entre 1969 y 1993 a $6,28 \pm 0,48$ ZJ/año⁻¹ (de 0 a 700 m) y $3,86 \pm 2,09$ ZJ/año⁻¹ (de 700 a 2 000 m) entre 1993 y 2017¹⁷, lo que se atribuye al forzamiento antropógeno (*muy probable*). {1.4.1, 5.2.2, cuadro 5.1, figura RRP.1}

A.2.2  El océano Austral representó entre el 35 % y el 43 % del aumento total del calor en los 2 000 m superiores de los océanos a escala mundial entre 1970 y 2017 (*nivel de confianza alto*). Su proporción aumentó a entre el 45 % y el 62 % de 2005 a 2017 (*nivel de confianza alto*). Desde 1992, las profundidades del océano, por debajo de los 2 000 m, se han calentado (*probable*), especialmente en el océano Austral. {1.4, 3.2.1, 5.2.2, cuadro 5.1, figura RRP.2}

A.2.3  A escala mundial, se ha registrado un incremento de los fenómenos relacionados con el calor marino; se ha duplicado la frecuencia de las olas de calor marinas¹⁸, que se definen como los períodos en los que la temperatura diaria de la superficie del mar supera el percentil 99 local durante el período comprendido entre 1982 y 2016, las cuales son cada vez más prolongadas, intensas y extensas (*muy probable*). Es *muy probable* que entre el 84 % y el 90 % de las olas de calor marinas que se produjeron de 2006 a 2015 sean atribuibles al aumento antropógeno de la temperatura. {Cuadro 6.2, 6.4; figuras RRP.1, RRP.2}

A.2.4  La estratificación de la densidad¹⁹ ha aumentado en los 200 m superiores de los océanos desde 1970 (*muy probable*). El calentamiento observado de la superficie del océano y la adición de agua dulce en las latitudes altas han provocado una reducción de la densidad de la superficie oceánica con relación a las partes más profundas del océano (*nivel de confianza alto*) y han limitado la mezcla entre las aguas superficiales y las más profundas (*nivel de confianza alto*). La estratificación media de los 200 m superiores ha aumentado en un $2,3 \pm 0,1$ % (*rango muy probable*) del promedio del período 1971-1990 al promedio del período 1998-2017. {5.2.2}

A.2.5  El océano ha absorbido entre el 20 % y el 30 % (*muy probable*) del total de emisiones antropógenas de CO₂ desde la década de 1980, lo que ha incrementado la acidificación del océano. El pH de la superficie en mar abierto ha disminuido en un rango *muy probable* de 0,017 a 0,027 unidades de pH por decenio desde finales de la década de 1980²⁰, y es *muy probable* que la disminución del pH en la superficie oceánica ya se manifieste en contraste con la variabilidad natural de fondo en más del 95 % de la superficie que ocupa el océano. {3.2.1; 5.2.2; recuadro 5.1; figuras RRP.1, RRP.2}

¹⁷ ZJ significa zetajulio y equivale a 10²¹ julios. Para aumentar la temperatura de todo el océano en 1 °C, se necesitan aproximadamente 5 500 ZJ; con 144 ZJ, los 100 m superiores registrarían un aumento de alrededor de 1 °C.

¹⁸ Una ola de calor marina es un período de calentamiento extremo de la temperatura cercana a la superficie del mar que persiste durante días o meses y que puede extenderse hasta miles de kilómetros (anexo I: Glosario).

¹⁹ En el presente informe, la estratificación de la densidad se define como el contraste de densidad entre las capas más cercanas a la superficie y las más profundas. La mayor estratificación reduce el intercambio vertical de calor, salinidad, oxígeno, carbono y nutrientes.

²⁰ Según registros *in situ* de más de 15 años.

A.2.6  Los conjuntos de datos que abarcan el período 1970-2010 indican que el mar abierto ha perdido oxígeno en un rango *muy probable* del 0,5% al 3,3 % en los 1 000 m superiores, junto con una expansión *probable* del volumen de las zonas con niveles mínimos de oxígeno del 3 % al 8 % (*nivel de confianza medio*). La pérdida de oxígeno obedece principalmente a la intensificación de la estratificación del océano, que modifica la ventilación y la biogeoquímica (*nivel de confianza alto*). {5.2.2; figuras RRP.1, RRP.2}

A.2.7  Las observaciones, tanto aquellas *in situ* (2004-2017) como las basadas en reconstrucciones de la temperatura superficial del mar, indican que la circulación meridional de retorno del Atlántico²¹ (AMOC) se ha debilitado con relación al período 1850-1900 (*nivel de confianza medio*). No se dispone de datos suficientes para cuantificar la magnitud del debilitamiento ni para atribuirlo adecuadamente al forzamiento antropógeno, debido a la duración limitada del registro de observaciones. Si bien actualmente la atribución no es posible, las simulaciones de modelos de la CMIP5 del período 1850-2015, en promedio, muestran un debilitamiento de la circulación meridional de retorno del Atlántico cuando son impulsados por el forzamiento antropógeno. {6.7}

A.3 El nivel medio del mar a escala mundial está aumentando, y la aceleración observada en los últimos decenios obedece al ritmo cada vez más rápido de la pérdida de hielo de los mantos de hielo de Groenlandia y de la Antártida (*nivel de confianza muy alto*), así como a la pérdida constante de masa de los glaciares y la expansión térmica del océano. Los aumentos de los vientos y las precipitaciones de los ciclones tropicales, así como los incrementos de las olas extremas, combinados con el aumento del nivel del mar relativo agravan los fenómenos relacionados con el nivel del mar extremo y los peligros costeros (*nivel de confianza alto*). {3.3; 4.2; 6.2; 6.3; 6.8; figuras RRP.1, RRP.2, RRP.4, RRP.5}

A.3.1  El aumento total del nivel medio del mar a escala mundial durante el período 1902-2015 es de 0,16 m (rango *probable* de 0,12 a 0,21 m). La tasa de aumento de dicho nivel en el período 2006-2015 de 3,6 mm/año⁻¹ (de 3,1 a 4,1 mm/año⁻¹, rango *muy probable*) no tiene precedentes en los últimos 100 años (*nivel de confianza alto*) y es igual a 2,5 veces la tasa del período 1901-1990 de 1,4 mm/año⁻¹ (de 0,8 a 2,0 mm/año⁻¹, rango *muy probable*). En el período 2006-2015, la suma de las contribuciones de los mantos de hielo y los glaciares es la fuente principal del aumento del nivel del mar (1,8 mm/año⁻¹, rango *muy probable* de 1,7 a 1,9 mm/año⁻¹), y supera el efecto de la expansión térmica del agua del océano (1,4 mm/año⁻¹, rango *muy probable* de 1,1 a 1,7 mm/año⁻¹)²² (*nivel de confianza muy alto*). La causa dominante del aumento del nivel medio del mar a escala mundial desde 1970 es el forzamiento antropógeno (*nivel de confianza alto*). {4.2.1, 4.2.2, figura RRP.1}

A.3.2  El aumento del nivel del mar se ha acelerado (*sumamente probable*) debido a la mayor pérdida de hielo combinada de los mantos de hielo de Groenlandia y de la Antártida (*nivel de confianza muy alto*). La pérdida de masa del manto de hielo de la Antártida durante el período 2007-2016 se triplicó con relación a 1997-2006. En el caso de Groenlandia, la pérdida de masa se duplicó en el mismo período (*probable, nivel de confianza medio*). {3.3.1; figuras RRP.1, RRP.2; RRP A1.1}

A.3.3  En el entrante del mar de Amundsen de la Antártida occidental y en la Tierra de Wilkes, en la Antártida oriental, se observa la aceleración del flujo y el retroceso del hielo, que puede generar un aumento del nivel del mar de varios metros en pocos siglos (*nivel de confianza muy alto*). Estos cambios podrían constituir el inicio de una inestabilidad irreversible²³ del manto de hielo. La incertidumbre relacionada con el inicio de la inestabilidad del manto de hielo obedece a las observaciones limitadas, la modelización inadecuada de los procesos del manto de hielo y el entendimiento restringido de las complejas interacciones entre la atmósfera, el océano y el manto de hielo. {3.3.1, recuadro general 8 del capítulo 3, 4.2.3}

A.3.4  El aumento del nivel del mar no es uniforme a escala mundial y varía en las distintas regiones. Las diferencias regionales, dentro del ± 30 % del aumento del nivel medio del mar a escala mundial, se deben a la pérdida de masas de hielo terrestres y a las variaciones en el calentamiento y la circulación del océano. Las diferencias con respecto al promedio mundial pueden ser mayores en las zonas de movimientos verticales rápidos de tierras, incluidos aquellos derivados de las actividades humanas locales (por ejemplo, la extracción de aguas subterráneas) (*nivel de confianza alto*). {4.2.2, 5.2.2, 6.2.2, 6.3.1, 6.8.2, figura RRP.2}

²¹ La circulación meridional de retorno del Atlántico es el principal sistema de corrientes del océano Atlántico Norte y Sur (anexo I: Glosario).

²² El ritmo total de aumento del nivel del mar es mayor que la suma de las contribuciones de la criosfera y los océanos debido a las incertidumbres en las estimaciones del almacenamiento terrestre de agua.

²³ La escala de tiempo de recuperación abarca de cientos a miles de años (anexo I: Glosario).

- A.3.5  Las alturas de olas extremas, que contribuyen a los fenómenos relacionados con el nivel del mar extremo, la erosión en las costas y las inundaciones, han aumentado en los océanos Austral y Atlántico Norte en alrededor de 1,0 cm/año⁻¹ y 0,8 cm/año⁻¹ durante el período 1985-2018 (*nivel de confianza medio*). La pérdida de hielo marino en el Ártico también ha incrementado las alturas de las olas durante el período 1992-2014 (*nivel de confianza medio*). {4.2.2, 6.2, 6.3, 6.8, recuadro 6.1}
- A.3.6  El cambio climático antropógeno ha aumentado las precipitaciones (*nivel de confianza medio*), los vientos (*nivel de confianza bajo*) y los fenómenos relacionados con el nivel del mar extremo (*nivel de confianza alto*) observados en relación con algunos ciclones tropicales, lo cual ha incrementado la intensidad de diversos fenómenos extremos y los impactos en cascada conexos (*nivel de confianza alto*). Es posible que el cambio climático antropógeno haya contribuido a una migración hacia los polos de la fase de intensidad máxima de los ciclones tropicales en la región occidental del Pacífico Norte en los últimos decenios, que se relaciona con la expansión de los trópicos causada por el forzamiento antropógeno (*nivel de confianza bajo*). Existe evidencia emergente del aumento de la proporción global anual de ciclones tropicales de categoría 4 o 5 en las últimas décadas (*nivel de confianza bajo*). {6.2, cuadro 6.2, 6.3, 6.8, recuadro 6.1}

Impactos observados en los ecosistemas

- A.4 Los cambios criosféricos y las modificaciones hidrológicas conexas han afectado las especies y los ecosistemas terrestres y de agua dulce en las regiones polares y de alta montaña a través de la aparición de tierra que solía estar cubierta por el hielo, los cambios en el manto de nieve y el deshielo del permafrost. Estos cambios han contribuido a la alteración de las actividades estacionales, la población y la distribución de especies vegetales y animales importantes desde el punto de vista ecológico, cultural y económico, las perturbaciones ecológicas y el funcionamiento de los ecosistemas (*nivel de confianza alto*). {2.3.2, 2.3.3, 3.4.1, 3.4.3, recuadro 3.4, figura RRP.2}**

- A.4.1  Durante el último siglo, algunas especies de plantas y animales han registrado un aumento de su población, han cambiado su área o rango de distribución y se han establecido en nuevas zonas debido al retroceso de los glaciares y la prolongación de la estación sin nieve (*nivel de confianza alto*). Estos cambios, junto con el calentamiento, han incrementado localmente el número de especies en las regiones de alta montaña, dado que las especies de zonas de poca altitud migran ladera arriba (*nivel de confianza muy alto*). Algunas especies adaptadas al frío o dependientes de la nieve han visto reducida su población, lo que eleva su riesgo de extinción, sobre todo en las cimas de las montañas (*nivel de confianza alto*). En las regiones polares y montañosas, numerosas especies han modificado sus actividades estacionales, especialmente a fines del invierno y en la primavera (*nivel de confianza alto*). {2.3.3, recuadro 3.4}
- A.4.2  El aumento de los incendios forestales y el deshielo abrupto del permafrost, así como los cambios en la hidrología del Ártico y las montañas han modificado la frecuencia y la intensidad de las perturbaciones de los ecosistemas (*nivel de confianza alto*). Esto ha generado impactos tanto positivos como negativos en la vegetación y la fauna silvestre, por ejemplo, los renos y el salmón (*nivel de confianza alto*). {2.3.3, 3.4.1, 3.4.3}
- A.4.3  En la tundra, las observaciones satelitales muestran un aumento general del verde (reverdecimiento), que a menudo indica un incremento de la productividad de las plantas (*nivel de confianza alto*). Algunas zonas de la tundra y de los bosques boreales con un aumento del marrón (oscurecimiento) indican que la productividad ha disminuido (*nivel de confianza alto*). Estos cambios han perjudicado los servicios ecosistémicos culturales, de regulación y de aprovisionamiento; sin embargo, han tenido algunos impactos positivos transitorios en los servicios de aprovisionamiento, tanto en las regiones de alta montaña (*nivel de confianza medio*) como en las regiones polares (*nivel de confianza alto*). {2.3.1, 2.3.3, 3.4.1, 3.4.3, anexo I: Glosario}

A.5 Aproximadamente desde 1950, numerosas especies marinas de diversos grupos han experimentado modificaciones en su área de distribución geográfica y sus actividades estacionales en respuesta al calentamiento de los océanos, los cambios del hielo marino y los cambios biogeoquímicos, como la pérdida del oxígeno, en sus hábitats (*nivel de confianza alto*). Esta situación ha generado cambios en la composición y la población de las especies, así como en la producción de biomasa de los ecosistemas, desde el ecuador hasta los polos. Las interacciones alteradas entre las especies han causado impactos en cascada en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas (*nivel de confianza medio*). En algunos ecosistemas marinos, las especies sufren los efectos tanto de la pesca como del cambio climático (*nivel de confianza medio*). {3.2.3, 3.2.4, recuadro 3.4, 5.2.3, 5.3, 5.4.1, figura RRP.2}

A.5.1  Las tasas de cambios en la distribución hacia los polos de diferentes especies marinas desde la década de 1950 son de 52 ± 33 km por decenio y 29 ± 16 km por decenio (rangos *muy probables*) para los organismos de los ecosistemas de la zona epipelágica (los 200 m superiores desde la superficie del mar) y del fondo marino, respectivamente. La rapidez y la dirección de los cambios observados en la distribución están determinadas por la temperatura local, el oxígeno y las corrientes oceánicas en los distintos gradientes de profundidad, latitud y longitud (*nivel de confianza alto*). Las expansiones del área de distribución geográfica de las especies provocadas por el calentamiento han ocasionado una alteración de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, por ejemplo, en el Atlántico Norte, el Pacífico Nororiental y el Ártico (*nivel de confianza medio*). {5.2.3, 5.3.2, 5.3.6, recuadro 3.4, figura RRP.2}

A.5.2  En las últimas décadas, la producción primaria neta del Ártico ha aumentado en las aguas libres de hielo (*nivel de confianza alto*) y los afloramientos de fitoplancton de la primavera aparecen en una etapa más temprana del año en respuesta a los cambios del hielo marino y la disponibilidad de nutrientes, con consecuencias positivas y negativas variables en términos espaciales para los ecosistemas marinos (*nivel de confianza medio*). En la Antártida, estos cambios son espacialmente heterogéneos y han sido asociados al rápido cambio medioambiental local, incluyendo el retroceso de los glaciares y los cambios del hielo marino (*nivel de confianza medio*). Los cambios en las actividades estacionales, la producción y la distribución de una parte del zooplancton del Ártico y el desplazamiento hacia el sur de la distribución de la población de krill de la Antártida en el Atlántico Sur están relacionados con cambios medioambientales vinculados con el clima (*nivel de confianza medio*). En las regiones polares, las aves y los mamíferos marinos asociados al hielo han sufrido una contracción del hábitat relacionada con los cambios del hielo marino (*nivel de confianza alto*) e impactos en el éxito de forrajeo debidos a los impactos del clima en la distribución de las presas (*nivel de confianza medio*). Los efectos en cascada de diversas fuerzas impulsoras relacionadas con el clima en el zooplancton polar han afectado la estructura y la función de la red alimentaria, así como la biodiversidad y la pesca (*nivel de confianza alto*). {3.2.3, 3.2.4, recuadro 3.4, 5.2.3, figura RRP.2}

A.5.3  Los sistemas de surgencia de bordes orientales oceánicos (SSBO) son algunos de los ecosistemas oceánicos más productivos. El aumento de la acidificación del océano y la pérdida de oxígeno están perjudicando a dos de los cuatro sistemas de afloramiento principales: la corriente de California y la corriente de Humboldt (*nivel de confianza alto*). La acidificación del océano y la disminución del nivel de oxígeno en el sistema de afloramiento de la corriente de California han alterado la estructura del ecosistema y han generado impactos negativos directos en la producción de biomasa y la composición de las especies (*nivel de confianza medio*). {Recuadro 5.3, figura RRP.2}

A.5.4  A lo largo del siglo XX y posteriormente, el calentamiento de los océanos ha contribuido a una disminución general del potencial de capturas máximas (*nivel de confianza medio*), lo que ha agravado los impactos de la pesca excesiva en algunas poblaciones de peces (*nivel de confianza alto*). En muchas regiones, la disminución de las poblaciones de peces y mariscos debida a los efectos directos e indirectos del calentamiento global y de los cambios biogeoquímicos ya ha contribuido a reducir las capturas pesqueras (*nivel de confianza alto*). En algunas zonas, las condiciones oceánicas cambiantes han contribuido a la expansión del hábitat adecuado o al aumento de la población de ciertas especies (*nivel de confianza alto*). Desde la década de 1970, estos cambios han estado acompañados de modificaciones en la composición de las especies de las capturas pesqueras en muchos ecosistemas (*nivel de confianza medio*). {3.2.3, 5.4.1, figura RRP.2}

A.6 Los ecosistemas costeros se ven afectados por el calentamiento de los océanos, lo que incluye la intensificación de las olas de calor marinas, la acidificación, la pérdida de oxígeno, la intrusión salina y el aumento del nivel del mar, además de los efectos adversos de las actividades humanas en el océano y en la tierra (*nivel de confianza alto*). Actualmente ya se observan impactos en los hábitats y la biodiversidad, así como en el funcionamiento y los servicios de los ecosistemas (*nivel de confianza alto*). {4.3.2, 4.3.3, 5.3, 5.4.1, 6.4.2, figura RRP.2}

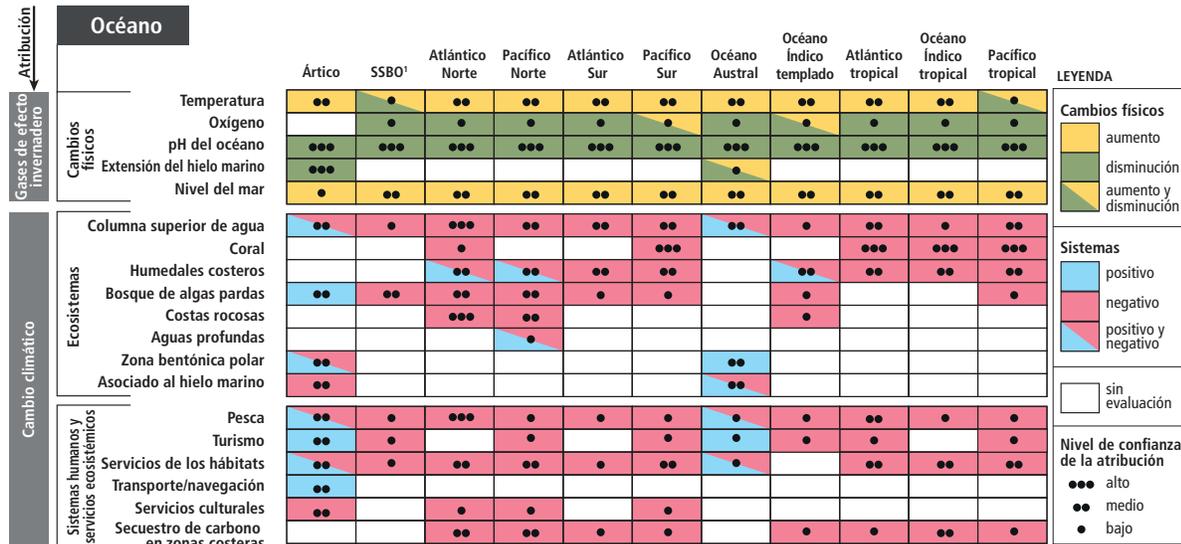
A.6.1  Los ecosistemas costeros con vegetación protegen la costa de las tormentas y la erosión y ayudan a atenuar los impactos del aumento del nivel del mar. Durante los últimos 100 años, se ha perdido casi el 50 % de los humedales costeros como resultado de los efectos combinados de las presiones humanas locales, el aumento del nivel del mar, el calentamiento y los fenómenos climáticos extremos (*nivel de confianza alto*). Los ecosistemas costeros con vegetación son importantes almacenamientos de carbono; su pérdida es responsable de la emisión actual de 0,04 a 1,46 GtC/año⁻¹ (*nivel de confianza medio*). En respuesta al calentamiento, las áreas de distribución de las praderas marinas y los bosques de algas pardas se están expandiendo en las latitudes altas y contrayendo en las latitudes bajas desde finales de la década de 1970 (*nivel de confianza alto*), y en algunas zonas, se producen pérdidas episódicas luego de las olas de calor (*nivel de confianza medio*). La mortalidad en gran escala de los manglares que se relaciona con el calentamiento desde la década de 1960 ha sido contrarrestada parcialmente por su invasión en las marismas subtropicales como resultado del aumento de la temperatura, lo que ha causado la pérdida de espacios abiertos con plantas herbáceas que proporcionen alimentos y hábitats para la fauna dependiente (*nivel de confianza alto*). {4.3.3, 5.3.2, 5.3.6, 5.4.1, 5.5.1, figura RRP.2}

A.6.2  La mayor infiltración de agua del mar en los estuarios debido al aumento del nivel del mar ha provocado la redistribución aguas arriba de las especies marinas (*nivel de confianza medio*) y ha causado una reducción de los hábitats adecuados para las comunidades de los estuarios (*nivel de confianza medio*). Desde la década de 1970, el aumento de las descargas de nutrientes y materia orgánica en los estuarios derivado del desarrollo humano intensivo y de las descargas fluviales ha agravado los efectos estimulantes del calentamiento del océano sobre la respiración bacteriana, lo que ha generado una expansión de las zonas con poco oxígeno (*nivel de confianza alto*). {5.3.1}

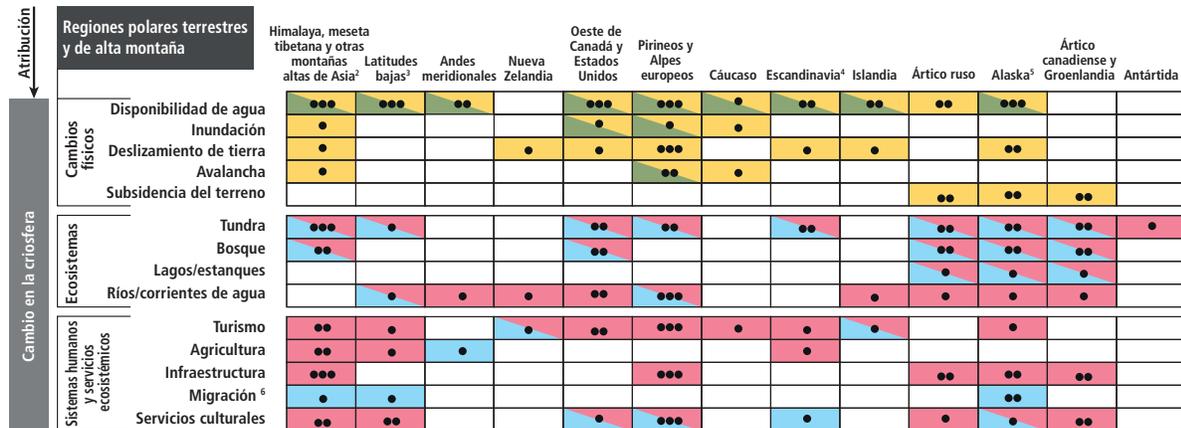
A.6.3  Los impactos del aumento del nivel del mar en los ecosistemas costeros incluyen la contracción del hábitat, las modificaciones en el área de distribución geográfica de las especies relacionadas y la pérdida de biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas. Los impactos se ven agravados por las perturbaciones humanas directas, así como en los lugares donde las barreras antropógenas impiden el desplazamiento hacia tierra firme de las marismas y los manglares (lo que se denomina angostamiento costero) (*nivel de confianza alto*). Según la geomorfología local y el suministro de sedimentos, las marismas y los manglares pueden crecer verticalmente a tasas iguales o superiores al aumento del nivel medio del mar actual (*nivel de confianza alto*). {4.3.2, 4.3.3, 5.3.2, 5.3.7, 5.4.1}

A.6.4  Actualmente, los arrecifes de coral de aguas cálidas y las costas rocosas donde predominan los organismos inmóviles calcificadores (por ejemplo, que forman caparzones o esqueletos), como los corales, percebes y mejillones, se ven afectados por las temperaturas extremas y la acidificación del océano (*nivel de confianza alto*). Las olas de calor marinas ya han generado fenómenos de blanqueamiento de coral a gran escala, con una frecuencia cada vez mayor (*nivel de confianza muy alto*), lo que ha causado la degradación de los arrecifes de coral en todo el mundo desde 1997, y la recuperación, si se produce, es lenta (más de 15 años) (*nivel de confianza alto*). Los períodos prolongados de alta temperatura ambiental y deshidratación de los organismos plantean un riesgo elevado para los ecosistemas de las costas rocosas (*nivel de confianza alto*). {SR1.5; 5.3.4, 5.3.5, 6.4.2.1, figura RRP.2}

Impactos regionales observados que se derivan de cambios en los océanos y la criosfera



¹ Sistemas de surgencia de bordes orientales oceánico (SSBO) (corriente de Benguela, corriente de las Canarias, corriente de California y corriente de Humboldt); {recuadro 5.3}



² Incluye Kush Hindú, Karakórum, Hengduan Shan y Tien Shan. ³ Andes tropicales, México, África oriental e Indonesia. ⁴ Incluye Finlandia, Noruega y Suecia. ⁵ Incluye zonas adyacentes en el territorio del Yukón y la Columbia Británica (Canadá). ⁶ La migración se refiere a un aumento o una disminución en la migración neta, y no a un valor beneficioso o adverso.

Figura RRP.2 | Síntesis de los peligros y los impactos regionales observados en el océano²⁴ (parte superior) y en las regiones polares y de alta montaña (parte inferior) evaluados en el SROCC. Se muestran, para cada región, los cambios físicos, los impactos en los ecosistemas claves y en los sistemas humanos, así como el funcionamiento y los servicios de los ecosistemas. Con respecto a los cambios físicos, los colores amarillo y verde se refieren a un aumento o una disminución, respectivamente, de la cantidad o la frecuencia de la variable medida. En lo que se refiere a los impactos en los ecosistemas, los sistemas humanos y los servicios ecosistémicos, los colores azul y rojo indican si un impacto observado es positivo (beneficioso) o negativo (adverso), respectivamente, para el sistema o servicio en cuestión. Las celdas a las que se ha asignado "aumento y disminución" indican que en esa región se han detectado tanto aumentos como disminuciones de los cambios físicos, aunque no necesariamente iguales; lo mismo ocurre con las celdas que presentan impactos atribuibles "positivos y negativos". En cuanto a las regiones oceánicas, el nivel de confianza hace referencia a la confianza con que los cambios observados pueden atribuirse a los cambios en el forzamiento de gases de efecto invernadero en el caso de los cambios físicos y al cambio climático en el caso de los ecosistemas, los sistemas humanos y los servicios ecosistémicos. En lo que respecta a las regiones polares y de alta montaña, se muestra el nivel de confianza con que los impactos y los cambios físicos pueden atribuirse, al menos en parte, a un cambio en la criosfera. "Sin evaluar" significa que no se aplica, que no se evaluó a escala regional o que no se dispone de evidencias suficientes para realizar una evaluación. Los cambios físicos en el océano se definen de la siguiente forma: cambio de la temperatura en la capa de 0 a 700 m del océano, a excepción del océano Austral (de 0 a 2 000 m) y el océano Ártico (la capa mixta superior y los principales tributarios); oxígeno en la capa de 0 a 1 200 m o capa con niveles mínimos de oxígeno; pH del océano como pH en la superficie (la disminución del pH corresponde a un aumento de la acidificación del océano). Ecosistemas en el océano: coral se refiere a los arrecifes de coral tanto de aguas cálidas como de aguas frías. La categoría "columna superior de agua" hace referencia a la zona epipelágica de todas las regiones oceánicas, excepto las regiones polares, donde se incluyeron los impactos en algunos organismos pelágicos en mar abierto a profundidades mayores que los 200 m superiores. Los humedales costeros incluyen las marismas, los manglares y las praderas marinas. Los bosques de algas pardas son hábitats de un grupo específico de macroalgas. Las costas rocosas son hábitats costeros donde predominan los organismos inmóviles calcificados, como los mejillones y los percebes. Las aguas profundas hacen referencia a los ecosistemas del fondo marino que se encuentran a una profundidad de entre 3 000 y 6 000 m. El término "asociado al hielo marino" incluye los ecosistemas que se encuentran dentro y debajo del hielo marino y sobre este. Los servicios de los hábitats se refieren a las estructuras y los servicios de apoyo (por ejemplo, hábitat, biodiversidad, producción primaria). El secuestro de carbono en zonas costeras se refiere a la absorción y el almacenamiento de carbono que realizan los ecosistemas de carbono azul de las zonas costeras.

²⁴ Los mares marginales no se evalúan individualmente como regiones oceánicas en el presente informe.

Figura RRP.2 (continuación): Ecosistemas en tierra: la tundra, que hace referencia tanto a la tundra como a las praderas alpinas, incluye los ecosistemas terrestres de la Antártida. La migración se refiere a un aumento o una disminución de la migración neta, no a un valor beneficioso o adverso. Los impactos en el turismo se refieren a las condiciones de funcionamiento para el sector del turismo. Los servicios culturales incluyen la identidad cultural, la sensación de hogar y los valores espirituales, intrínsecos y estéticos, así como los aportes de los descubrimientos arqueológicos en los glaciares. Se proporciona información de referencia sobre las regiones terrestres en los cuadros SM2.6, SM2.7, SM2.8, SM3.8, SM3.9 y SM3.10, y sobre las regiones oceánicas en los cuadros SM5.10, SM5.11, SM3.8, SM3.9 y SM3.10. {2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.3.6, 2.3.7, figura 2.1, 3.2.1; 3.2.3; 3.2.4; 3.3.3; 3.4.1; 3.4.3; 3.5.2; recuadro 3.4, 4.2.2, 5.2.2, 5.2.3, 5.3.3, 5.4, 5.6, figura 5.24, recuadro 5.3}

Impactos observados en las personas y los servicios ecosistémicos

A.7 Desde mediados del siglo XX, la reducción de la extensión de la criosfera en el Ártico y en las zonas de alta montaña ha generado impactos predominantemente negativos en la seguridad alimentaria, los recursos hídricos, la calidad del agua, los medios de subsistencia, la salud y el bienestar, la infraestructura, el transporte, el turismo y la recreación, así como en la cultura de las sociedades humanas, en particular, entre los pueblos indígenas (*nivel de confianza alto*). Los costos y los beneficios se han distribuido de forma desigual entre las diferentes poblaciones y regiones. Los esfuerzos de adaptación se han beneficiado con la inclusión de los conocimientos indígenas y locales (*nivel de confianza alto*). {1.1, 1.5, 1.6.2, 2.3, 2.4, 3.4, 3.5, figura RRP.2}

A.7.1  En muchas regiones del Ártico, los cambios en el manto de nieve, el hielo lacustre y fluvial y el permafrost han repercutido de forma adversa en la seguridad alimentaria y del agua (*nivel de confianza alto*). Estos cambios han obstaculizado el acceso a las zonas de pastoreo, caza, pesca y recolección y han afectado la disponibilidad de alimentos en dichas zonas, lo que ha perjudicado los medios de subsistencia y la identidad cultural de los residentes del Ártico, incluidos los pueblos indígenas (*nivel de confianza alto*). El retroceso de los glaciares y los cambios en el manto de nieve han incidido en las disminuciones locales del rendimiento agrícola en algunas regiones de alta montaña, por ejemplo, el Hindú Kush del Himalaya y los Andes tropicales (*nivel de confianza medio*). {2.3.1., 2.3.7, recuadro 2.4, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, 3.5.2, figura RRP.2}

A.7.2  En el Ártico, los impactos negativos de los cambios de la criosfera en la salud humana han incluido un mayor riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos, malnutrición, lesiones y problemas de salud mental, especialmente entre los pueblos indígenas (*nivel de confianza alto*). En algunas zonas de alta montaña, la calidad del agua se ha visto afectada por los contaminantes, sobre todo el mercurio, liberados a causa del derretimiento de los glaciares y el deshielo del permafrost (*nivel de confianza medio*). En el Ártico se han desplegado esfuerzos de adaptación relacionados con la salud, tanto a escala local como internacional, cuyos aciertos han estado sustentados por los conocimientos indígenas (*nivel de confianza alto*). {1.8, recuadro general 4 del capítulo 1, 2.3.1, 3.4.3}

A.7.3  Los residentes del Ártico, especialmente los pueblos indígenas, han modificado las fechas de sus actividades a fin de responder a los cambios observados en la estacionalidad y la seguridad de las condiciones de viaje en caminos de tierra, hielo y nieve. Los municipios y las industrias han comenzado a abordar las fallas de infraestructura asociadas a las inundaciones y el deshielo del permafrost, y algunas comunidades costeras han planificado la relocalización (*nivel de confianza alto*). Las limitaciones en materia de fondos, destrezas, capacidad y apoyo institucional para participar de forma significativa en los procesos de planificación han dificultado la adaptación (*nivel de confianza alto*). {3.5.2, 3.5.4, recuadro general 9}

A.7.4  En el Ártico, el transporte en buques durante el verano (incluido el relacionado con el turismo) se incrementó en los últimos dos decenios en consonancia con las reducciones del hielo marino (*nivel de confianza alto*). Esta situación repercute en el comercio mundial y en las economías vinculadas con los corredores tradicionales de transporte marítimo, a la vez que plantea riesgos para los ecosistemas marinos y las comunidades costeras del Ártico (*nivel de confianza alto*), por ejemplo, los riesgos derivados de las especies invasoras y la contaminación local. {3.2.1, 3.2.4, 3.5.4, 5.4.2, figura RRP.2}

A.7.5  En los últimos decenios, la exposición de las personas y la infraestructura a los peligros naturales ha aumentado a causa del crecimiento demográfico, el turismo y el desarrollo socioeconómico (*nivel de confianza alto*). Algunos desastres se han vinculado con los cambios en la criosfera, por ejemplo, en los Andes, las zonas de alta montaña en Asia, el Cáucaso y los Alpes europeos (*nivel de confianza medio*). {2.3.2, figura RRP.2}

A.7.6  Los cambios en la nieve y los glaciares han modificado la cantidad y la estacionalidad de la escorrentía y los recursos hídricos en las cuencas fluviales alimentadas por glaciares y con predominio de nieve (*nivel de confianza muy alto*). Las plantas de energía hidroeléctrica han experimentado cambios en la estacionalidad, así como aumentos y disminuciones del aporte

de agua proveniente de las zonas de alta montaña, por ejemplo, en Europa central, Islandia, la zona occidental de los Estados Unidos y el Canadá y los Andes tropicales (*nivel de confianza medio*). Sin embargo, solo existe *evidencia limitada* de los impactos resultantes en las operaciones y la producción de energía. {B1.4, 2.3.1}

A.7.7     La disminución de los glaciares y del manto de nieve ha incidido negativamente en los aspectos estéticos y culturales de las zonas de alta montaña (por ejemplo, en el Himalaya, África oriental y los Andes tropicales) (*nivel de confianza medio*). El turismo y la recreación, que incluyen el turismo relacionado con el esquí y los glaciares, el senderismo y el alpinismo, también se han visto perjudicados en muchas regiones montañosas (*nivel de confianza medio*). En algunos lugares, la fabricación de nieve artificial ha reducido los impactos negativos en el turismo de esquí (*nivel de confianza medio*). {2.3.5, 2.3.6, figura RRP.2}

A.8 Los cambios en el océano han afectado los ecosistemas marinos y los servicios ecosistémicos con resultados diversos a escala regional, lo que ha dificultado su gobernanza (*nivel de confianza alto*). Se han generado impactos tanto positivos como negativos para la seguridad alimentaria por medio de la pesca (*nivel de confianza medio*), las culturas y los medios de subsistencia locales (*nivel de confianza medio*), y el turismo y la recreación (*nivel de confianza medio*). Los impactos en los servicios ecosistémicos tienen consecuencias adversas para la salud y el bienestar (*nivel de confianza medio*), así como para los pueblos indígenas y las comunidades locales que dependen de la pesca (*nivel de confianza alto*). {1.1, 1.5, 3.2.1, 5.4.1, 5.4.2, figura RRP.2}

A.8.1   Los cambios provocados por el calentamiento en la distribución espacial y la abundancia de algunas poblaciones de peces y mariscos han tenido impactos tanto positivos como negativos en las capturas, los beneficios económicos, los medios de subsistencia y la cultura local (*nivel de confianza alto*). Las consecuencias para los pueblos indígenas y las comunidades locales que dependen de la pesca han sido negativas (*nivel de confianza alto*). Los cambios en las distribuciones y las poblaciones de las especies han dificultado la gobernanza de los océanos y la pesca a escala nacional e internacional, tanto en el Ártico como en el Atlántico Norte y el Pacífico, en lo que se refiere a la reglamentación de la pesca para garantizar la integridad de los ecosistemas y el uso compartido de los recursos entre las entidades pesqueras (*nivel de confianza alto*). {3.2.4, 3.5.3, 5.4.2, 5.5.2, figura RRP.2}

A.8.2   Desde la década de 1980, se han observado una expansión del ámbito geográfico y un aumento de la frecuencia de la proliferación de algas perjudiciales en las zonas costeras, en respuesta a fuerzas impulsoras climáticas y no climáticas, como el incremento de la escorrentía de nutrientes de aguas fluviales (*nivel de confianza alto*). Las tendencias observadas en la proliferación de algas perjudiciales se atribuyen, en parte, a los efectos del calentamiento de los océanos, las olas de calor marinas, la pérdida de oxígeno, la eutrofización y la contaminación (*nivel de confianza alto*). La proliferación de algas perjudiciales ha tenido impactos negativos en la seguridad alimentaria, el turismo, la economía local y la salud de las personas (*nivel de confianza alto*). Las comunidades humanas más vulnerables a estos peligros biológicos son las que se encuentran en zonas que no disponen de programas sistemáticos de monitoreo ni sistemas específicos de alerta temprana de proliferación de algas perjudiciales (*nivel de confianza medio*). {Recuadro 5.4, 5.4.2, 6.4.2}

A.9 Las comunidades costeras están expuestas a numerosos peligros climáticos, entre los que se incluyen los ciclones tropicales, los niveles del mar extremos y las inundaciones, las olas de calor marinas, la pérdida de hielo marino y el deshielo del permafrost (*nivel de confianza alto*). En todo el mundo se han puesto en marcha diversas respuestas, sobre todo después del acaecimiento de fenómenos extremos, pero algunas también en previsión del futuro aumento del nivel del mar, por ejemplo, en el caso de la infraestructura de gran magnitud. {3.2.4, 3.4.3, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.4.2, 5.4.2, 6.2, 6.4.2, 6.8, recuadro 6.1, recuadro general 9, figura RRP.5}

A.9.1   La atribución de los actuales impactos costeros en las personas al aumento del nivel del mar sigue siendo difícil en la mayoría de los lugares, dado que los impactos se vieron agravados por fuerzas impulsoras no climáticas provocadas por las actividades humanas, como la subsidencia de la tierra (por ejemplo, la extracción de agua subterránea), la contaminación, la degradación de los hábitats, la explotación de los arrecifes de coral y la extracción de arena (*nivel de confianza alto*). {4.3.2., 4.3.3}

A.9.2   En numerosos deltas y ciudades costeras, es habitual adoptar medidas relativas a la infraestructura para proteger las costas, por ejemplo, diques, malecones y barreras contra las mareas. En todo el mundo, se utilizan cada vez más los enfoques híbridos y basados en los ecosistemas, en los que se combinan los ecosistemas y la infraestructura construida. El avance costero, que hace referencia a la creación de tierras nuevas mediante actividades de construcción destinadas a ganar terreno

al mar (por ejemplo, las actividades de recuperación de tierra), se lleva a cabo desde hace mucho tiempo en la mayoría de las zonas con poblaciones costeras densas y escasez de tierras. También se observa el retroceso costero, que se refiere al retiro de la ocupación humana de las zonas costeras, aunque generalmente se limita a comunidades humanas pequeñas o se realiza para crear un hábitat de humedales costeros. En la figura RRP.5 se evalúa la eficacia de las respuestas al aumento del nivel del mar. {3.5.3, 4.3.3, 4.4.2, 6.3.3, 6.9.1, recuadro general 9}

RRP.B Cambios y Riesgos Previstos

Cambios físicos previstos²⁵

B.1 Se prevé que la pérdida de masa de los glaciares, el deshielo del permafrost y la disminución del manto de hielo a escala mundial, así como la disminución de la extensión del hielo marino del Ártico continúe en el corto plazo (2031-2050) debido a los aumentos de la temperatura del aire en superficie (*nivel de confianza alto*), con consecuencias inevitables para la escorrentía de aguas fluviales y los peligros locales (*nivel de confianza alto*). Asimismo, se prevé que los mantos de hielo de Groenlandia y de la Antártida sufrarán pérdidas de masa a un ritmo creciente durante el siglo XXI y posteriormente (*nivel de confianza alto*). De acuerdo con las proyecciones, las tasas y magnitudes de estos cambios criosféricos se incrementarán aún más en la segunda mitad del siglo XXI en un escenario de altas emisiones de gases de efecto invernadero (*nivel de confianza alto*). Según se prevé, las fuertes disminuciones de las emisiones de gases de efecto invernadero que se alcancen en las próximas décadas reducirán los cambios después de 2050 (*nivel de confianza alto*). {2.2, 2.3, recuadro general 6 del capítulo 2, 3.3, 3.4, figura RRP.1, RRP recuadro RRP.1}

B.1.1  Las reducciones de la masa de los glaciares proyectadas entre 2015 y 2100 (excluidos los mantos de hielo) oscilan entre un 18 ± 7 % (rango *probable*) en la RCP 2,6 y un 36 ± 11 % (rango *probable*) en la RCP 8,5, lo que representa una contribución al nivel del mar de 94 ± 25 mm (rango *probable*) en términos de nivel de mar equivalente en la RCP 2,6, y 200 ± 44 mm (rango *probable*) en la RCP 8,5 (*nivel de confianza medio*). Se prevé que las regiones donde predominan los glaciares más pequeños (por ejemplo, Europa central, el Cáucaso, Asia septentrional, Escandinavia, los Andes tropicales, México, África oriental e Indonesia) sufrirán la pérdida de más del 80 % de su masa de hielo actual en 2100 en el marco de la RCP 8,5 (*nivel de confianza medio*); asimismo, de acuerdo con las proyecciones, muchos glaciares desaparecerán independientemente de las emisiones futuras (*nivel de confianza muy alto*). {Recuadro general 6 del capítulo 2, figura RRP.1}

B.1.2  En 2100, la contribución prevista del manto de hielo de Groenlandia al aumento del nivel medio del mar a escala mundial es de 0,07 m (de 0,04 a 0,12 m, rango *probable*) en la RCP 2,6, y de 0,15 m (de 0,08 a 0,27 m, rango *probable*) en la RCP 8,5. En 2100, se prevé que el manto de hielo de la Antártida contribuirá 0,04 m (de 0,01 a 0,11 m, rango *probable*) en la RCP 2,6 y 0,12 m (de 0,03 a 0,28 m, rango *probable*) en la RCP 8,5. El manto de hielo de Groenlandia actualmente contribuye en mayor medida al aumento del nivel del mar que el manto de hielo de la Antártida (*nivel de confianza alto*), sin embargo, la contribución de la Antártida podría incrementarse a finales del siglo XXI como consecuencia del rápido retroceso (*nivel de confianza bajo*). Con posterioridad a 2100, la divergencia creciente entre las contribuciones relativas de Groenlandia y de la Antártida al aumento del nivel medio del mar a escala mundial en la RCP 8,5 repercute considerablemente en el ritmo del aumento del nivel del mar relativo en el hemisferio norte. {3.3.1, 4.2.3, 4.2.5, 4.3.3, recuadro general 8 del capítulo 3, figura RRP.1}

B.1.3  Se prevé que el manto de nieve del Ártico en otoño y en primavera registrará una disminución de entre el 5 % y el 10 %, con relación al período 1986-2005, a corto plazo (2031-2050) y, posteriormente, no se observarán nuevas pérdidas en el marco de la RCP 2,6. Sin embargo, en la RCP 8,5 se prevé una pérdida adicional de entre el 15 % y el 25 % hacia finales del siglo (*nivel de confianza alto*). En las zonas de alta montaña, es *probable* que las disminuciones previstas del espesor medio de nieve en invierno a baja altitud, en comparación con el período 1986-2005, sean del 10 % al 40 % en el período 2031-2050, independientemente del escenario de emisiones (*nivel de confianza alto*). Para el período 2081-2100, es *probable* que esta disminución prevista sea del 10 % al 40 % en la RCP 2,6 y del 50 % al 90 % en la RCP 8,5. {2.2.2, 3.3.2, 3.4.2, figura RRP.1}

²⁵ En el presente informe se utilizan principalmente la RCP 2,6 y la RCP 8,5 por las siguientes razones: estos escenarios representan, en gran medida, el rango evaluado de los temas que se abordan en este informe, así como lo que se trata en las publicaciones evaluadas, sobre la base de la CMIP5, y permiten una descripción textual coherente de los cambios previstos. La RCP 4,5 y la RCP 6,0 no están disponibles para todos los temas que se abordan en el informe. {Recuadro RRP.1}

- B.1.4  Se prevé un deshielo generalizado del permafrost durante este siglo (*nivel de confianza muy alto*) y posteriormente. De aquí a 2100, la superficie proyectada del permafrost cerca de la superficie (en profundidades de 3 a 4 m) indica una disminución del 24 ± 16 % (rango *probable*) en la RCP 2,6 y del 69 ± 20 % (rango *probable*) en la RCP 8,5. El escenario de la RCP 8,5 se traduce en una emisión acumulada de decenas a centenares de miles de millones de toneladas (GtC) de carbono del permafrost en forma de CO₂²⁶ y metano en la atmósfera en 2100, lo que podría agravar el cambio climático (*nivel de confianza medio*). Los escenarios con emisiones más bajas amortiguan la respuesta de las emisiones de carbono procedentes de las regiones de permafrost (*nivel de confianza alto*). El metano aporta una pequeña fracción de la liberación de carbono adicional total; sin embargo, reviste importancia debido a su mayor potencial de calentamiento. De acuerdo con las proyecciones, un incremento del crecimiento vegetal compensará parte del carbono liberado desde el suelo, pero no igualará las emisiones de carbono a largo plazo (*nivel de confianza medio*). {2.2.4, 3.4.2, 3.4.3, figura RRP.1, recuadro general 5 del capítulo 1}
- B.1.5  En muchas zonas de alta montaña, se prevé que el retroceso de los glaciares y el deshielo del permafrost reducirán aún más la estabilidad de las laderas, y que el número y la superficie de los lagos glaciares continuarán en aumento (*nivel de confianza alto*). Asimismo, se prevé que también se producirán inundaciones por desbordamiento de lagos glaciares o por la lluvia caída sobre la nieve, deslizamientos de tierra y avalanchas de nieve en nuevos lugares o en estaciones diferentes (*nivel de confianza alto*). {2.3.2}
- B.1.6  Se prevé un cambio de la escorrentía de aguas fluviales en las cuencas de alta montaña alimentadas por glaciares o con predominio de nieve, independientemente del escenario de emisiones (*nivel de confianza muy alto*), con aumentos del promedio de escorrentía en el invierno (*nivel de confianza alto*) y niveles máximos más tempranos en la primavera (*nivel de confianza muy alto*). En todos los escenarios de emisiones, se prevé que el promedio de escorrentía anual y estival procedente de los glaciares alcanzará su nivel máximo a finales del siglo XXI o antes (*nivel de confianza alto*), por ejemplo, aproximadamente a mediados de siglo en las zonas de alta montaña de Asia, a lo que le seguirá una disminución de la escorrentía de los glaciares. En las regiones con una cubierta de glaciares de tamaño reducido (por ejemplo, los Andes tropicales y los Alpes europeos), la mayoría de los glaciares ya han superado este nivel máximo (*nivel de confianza alto*). Las disminuciones de la escorrentía de los glaciares previstas para 2100 (RCP 8,5) pueden reducir la escorrentía de las cuencas en un 10 % o más en, al menos, un mes de la estación de deshielo en varias cuencas fluviales grandes, especialmente en las zonas de alta montaña de Asia durante la estación seca (*nivel de confianza bajo*). {2.3.1}
- B.1.7  De acuerdo con las proyecciones, la pérdida de hielo marino del Ártico continuará hasta mediados de siglo; posteriormente, las proyecciones difieren según la magnitud del calentamiento global: con una estabilización del calentamiento global en 1,5 °C, la probabilidad anual de que el hielo marino desaparezca en septiembre a finales de siglo es aproximadamente del 1 %, y se eleva a entre el 10% y el 35 % con una estabilización del calentamiento global en 2 °C (*nivel de confianza alto*). Existe un *nivel de confianza bajo* en las proyecciones correspondientes al hielo marino de la Antártida. {3.2.2, figura RRP.1}
- B.2 Durante el siglo XXI, se prevé una transición del océano a condiciones sin precedentes, con un aumento de las temperaturas (*prácticamente seguro*), una intensificación de la estratificación de la capa superior del océano (*muy probable*), un incremento de la acidificación (*prácticamente seguro*), una disminución del oxígeno (*nivel de confianza medio*) y una alteración de la producción primaria neta (*nivel de confianza bajo*). Se prevé una mayor frecuencia de las olas de calor marinas (*nivel de confianza muy alto*) y de los fenómenos extremos de El Niño y La Niña (*nivel de confianza medio*). De acuerdo con las proyecciones, se debilitará la circulación meridional de retorno del Atlántico (*muy probable*). Las tasas y magnitudes de estos cambios serán menores en los escenarios con bajas emisiones de gases de efecto invernadero (*muy probable*). {3.2; 5.2; 6.4; 6.5; 6.7; recuadro 5.1; figuras RRP.1, RRP.3}**
- B.2.1  La temperatura del océano continuará en aumento durante todo el siglo XXI (*prácticamente seguro*). De aquí a 2100, se prevé que los 2 000 m superiores del océano absorberán entre cinco y siete veces más calor en la RCP 8,5 (o entre dos y cuatro veces más en la RCP 2,6) que la absorción acumulada de calor en los océanos observada desde 1970 (*muy probable*).

²⁶ Como referencia, el total de emisiones antropógenas anuales de CO₂ fueron de $10,8 \pm 0,8$ GtC/año⁻¹ ($39,6 \pm 2,9$ GtCO₂/año⁻¹), en promedio, durante el período 2008-2017. El total de emisiones antropógenas anuales de metano fueron de $0,35 \pm 0,01$ GtCH₄/año⁻¹, en promedio, durante el período 2003-2012. {5.5.1}

Se prevé que la estratificación de la densidad¹⁹ media anual de los 200 m superiores, promediada entre los 60° S y los 60° N, aumentará entre un 12 % y un 30 % en la RCP 8,5 y entre un 1 % y un 9 % en la RCP 2,6 en el período 2081-2100, con relación al período 1986-2005 (*muy probable*), lo que inhibirá los flujos verticales de nutrientes, carbono y oxígeno. {5.2.2, figura RRP.1}

- B.2.2  Para el período 2081-2100, en la RCP 8,5, se prevé que el contenido de oxígeno en los océanos (*nivel de confianza medio*), el contenido de nitrato en la capa superior del océano (*nivel de confianza medio*), la producción primaria neta (*nivel de confianza bajo*) y la exportación de carbono (*nivel de confianza medio*) disminuirán a escala mundial en rangos *muy probables* del 3 % al 4 %, del 9 % al 14 %, del 4 % al 11 % y del 9 % al 16 %, respectivamente, con relación al período 2006-2015. En la RCP 2,6, los cambios previstos a escala mundial para el período 2081-2100 son menores que en la RCP 8,5 con respecto a la pérdida de oxígeno (*muy probable*), la disponibilidad de nutrientes (*tan probable como improbable*) y la producción primaria neta (*nivel de confianza alto*). {5.2.2; recuadro 5.1; figuras RRP.1, RRP.3}
- B.2.3  Es *prácticamente seguro* que la absorción continua de carbono por el océano de aquí a 2100 agravará la acidificación del océano. Se prevé que el pH de la superficie en mar abierto se reducirá en alrededor de 0,3 unidades de pH en el período 2081-2100, con relación al período 2006-2015, en la RCP 8,5 (*prácticamente seguro*). En la RCP 8,5, se plantean riesgos elevados para las especies cimentales que forman caparzones de aragonito debido a que se superará el umbral anual de estabilidad del aragonito en los océanos de las regiones polares y subpolares en el período 2081-2100 (*muy probable*). En la RCP 2,6, estas condiciones se evitarán durante este siglo (*muy probable*); sin embargo, se prevé que algunos sistemas de afloramiento en las zonas costeras orientales seguirán siendo vulnerables (*nivel de confianza alto*). {3.2.3, 5.2.2, recuadro 5.1, recuadro 5.3, figura RRP.1}
- B.2.4  En el océano se están desarrollando condiciones climáticas sin precedentes desde el período preindustrial, que elevan los riesgos para los ecosistemas de mar abierto. La acidificación y el calentamiento en las capas superiores ya se han manifestado a lo largo del período histórico (*muy probable*). Se prevé que la pérdida de oxígeno a una profundidad de 100 a 600 m se manifestará en entre el 59 % y el 80 % de la superficie oceánica en el período 2031-2050, en el marco de la RCP 8,5 (*muy probable*). El tiempo de manifestación proyectado de las cinco fuerzas impulsoras principales de los cambios en los ecosistemas marinos (calentamiento y acidificación de las capas superiores, pérdida de oxígeno y cambios del contenido de nitrato y de la producción primaria neta) es, en todos los casos, antes de 2100 para más del 60 % de la superficie oceánica en la RCP 8,5 y más del 30 % en la RCP 2,6 (*muy probable*). {Anexo I: Glosario, recuadro 5.1, recuadro 5.1 figura 1}
- B.2.5  Se prevé que la frecuencia, la duración, la extensión espacial y la intensidad (temperatura máxima) de las olas de calor marinas seguirán en aumento (*nivel de confianza muy alto*). En los modelos climáticos se prevén aumentos de la frecuencia de las olas de calor marinas en el período 2081-2100, con relación al período 1850-1900, de aproximadamente 50 veces en la RCP 8,5 y 20 veces en la RCP 2,6 (*nivel de confianza medio*). De acuerdo con las proyecciones, los mayores aumentos de la frecuencia se registrarán en el Ártico y en los océanos tropicales (*nivel de confianza medio*). Según se prevé, la intensidad de las olas de calor marinas se multiplicará aproximadamente por 10 en la RCP 8,5 durante el período 2081-2100, con relación al período 1850-1900 (*nivel de confianza medio*). {6.4, figura RRP.1}
- B.2.6  Según se prevé, es *probable* que la frecuencia de los fenómenos extremos de El Niño y La Niña aumente en el siglo XXI; asimismo, es *probable* que dichos fenómenos intensifiquen los peligros actuales, con respuestas más secas o más húmedas en varias regiones del mundo. Se prevé que se duplicará, aproximadamente, la frecuencia de los fenómenos extremos de El Niño, tanto en la RCP 2,6 como en la RCP 8,5, en el siglo XXI, en comparación con el siglo XX (*nivel de confianza medio*). Las proyecciones indican que también aumentará la frecuencia de los fenómenos extremos del dipolo del océano Índico (*nivel de confianza bajo*). {6.5; figuras 6.5, 6.6}
- B.2.7  Se prevé que la circulación meridional de retorno del Atlántico se debilitará en el siglo XXI en todas las RCP (*muy probable*), aunque un colapso es *muy improbable* (*nivel de confianza medio*). Según las proyecciones de la CMIP5, para 2300 es *tan probable como improbable* que se produzca un colapso de la circulación meridional de retorno del Atlántico en los escenarios con emisiones altas y *muy improbable* en los escenarios con emisiones más bajas (*nivel de confianza medio*). Se prevé que cualquier debilitamiento importante de la circulación meridional de retorno del Atlántico causará una disminución de la productividad marina en el Atlántico Norte (*nivel de confianza medio*), más tormentas en el norte de Europa (*nivel de confianza medio*), un nivel inferior de precipitaciones estivales en el Sahel (*nivel de confianza alto*) y en Asia Meridional (*nivel de confianza medio*), un número reducido de ciclones tropicales en el Atlántico (*nivel de confianza medio*) y un aumento del nivel del mar regional en la costa noreste de América del Norte (*nivel de confianza medio*). Estos cambios se sumarían a la señal del calentamiento global. {6.7; figuras 6.8-6.10}

B.3 El nivel del mar continúa aumentando a un ritmo cada vez mayor. Se prevé que los fenómenos relacionados con el nivel del mar extremo que históricamente han sido poco frecuentes (uno por siglo en el pasado reciente) se producirán con frecuencia (al menos, una vez al año) en numerosos lugares de aquí a 2050 en todos los escenarios de las RCP, especialmente en las regiones tropicales (*nivel de confianza alto*). La frecuencia cada vez mayor de los niveles de agua altos puede tener impactos graves en muchos lugares en función de la exposición (*nivel de confianza alto*). En todos los escenarios de las RCP, se prevé que el aumento del nivel del mar continuará después de 2100. En un escenario de emisiones altas (RCP 8,5), las proyecciones del aumento del nivel del mar a escala mundial para 2100 son superiores a las indicadas en el Quinto Informe de Evaluación, debido a la mayor contribución del manto de hielo de la Antártida (*nivel de confianza medio*). En los próximos siglos, en la RCP 8,5, se prevé que el aumento del nivel del mar superará tasas de varios centímetros por año y se traducirá en un aumento de varios metros (*nivel de confianza medio*), mientras que en la RCP 2,6 se prevé que el aumento del nivel del mar se limitará a alrededor de 1 m en 2300 (*nivel de confianza bajo*). Los niveles del mar extremos y los peligros costeros se verán agravados por los aumentos previstos de la intensidad y las precipitaciones de los ciclones tropicales (*nivel de confianza alto*). Los cambios proyectados en las olas y las mareas presentan variaciones locales con respecto a si intensifican o reducen estos peligros (*nivel de confianza medio*). {Recuadro general 5 del capítulo 1; recuadro general 8 del capítulo 3; 4.1; 4.2; 5.2.2, 6.3.1; figuras RRP.1, RRP.4, RRP.5}

B.3.1  Se prevé que el aumento del nivel medio del mar a escala mundial en la RCP 2,6 será de 0,39 m (de 0,26 a 0,53 m, rango *probable*) para el período 2081-2100 y de 0,43 m (de 0,29 a 0,59 m, rango *probable*) en 2100 con respecto al período 1986-2005. En la RCP 8,5, el aumento del nivel medio del mar a escala mundial correspondiente es de 0,71 m (de 0,51 a 0,92 m, rango *probable*) para el período 2081-2100 y de 0,84 m (de 0,61 a 1,10 m, rango *probable*) en 2100. Las proyecciones del aumento del nivel medio del mar en la RCP 8,5 en 2100 son 0,1 m más altas que las del Quinto Informe de Evaluación, y el rango *probable* es superior a 1 m en 2100 debido a que se prevé una mayor pérdida de hielo del manto de hielo de la Antártida (*nivel de confianza medio*). La incertidumbre a finales de siglo está determinada principalmente por los mantos de hielo, sobre todo en la Antártida. {4.2.3; figuras RRP.1, RRP.5}

B.3.2  Las proyecciones del nivel del mar presentan diferencias regionales con respecto al nivel medio del mar a escala mundial. Los procesos que no han sido impulsados por el cambio climático reciente, como la subsidencia a escala local causada por los procesos naturales y las actividades humanas, son importantes para los cambios del nivel del mar relativo en la costa (*nivel de confianza alto*). Si bien se prevé que la importancia relativa del aumento del nivel del mar impulsado por las condiciones climáticas se incrementará con el tiempo, es preciso considerar los procesos locales para determinar las proyecciones y los impactos del nivel del mar (*nivel de confianza alto*). {RRP A3.4, 4.2.1, 4.2.2, figura RRP.5}

B.3.3  Se prevé que la tasa de aumento del nivel medio del mar a escala mundial será de 15 mm/año⁻¹ (de 10 a 20 mm/año⁻¹, rango *probable*) en la RCP 8,5 en 2100 y superior a varios centímetros por año en el siglo XXII. En la RCP 2,6, se prevé que la tasa será de 4 mm/año⁻¹ (de 2 a 6 mm/año⁻¹, rango *probable*) en 2100. Los estudios basados en modelos indican un aumento de varios metros del nivel del mar para 2300 (de 2,3 a 5,4 m en la RCP 8,5 y de 0,6 a 1,07 m en la RCP 2,6) (*nivel de confianza bajo*), lo que pone de relieve la importancia de la reducción de las emisiones para limitar el aumento del nivel del mar. Los procesos que controlan los plazos de la futura pérdida de la plataforma de hielo y el alcance de las inestabilidades del manto de hielo podrían elevar la contribución de la Antártida al aumento del nivel del mar a valores considerablemente más altos que el rango *probable* en escalas temporales que van desde siglos hasta períodos más prolongados (*nivel de confianza bajo*). Teniendo en cuenta las consecuencias del aumento del nivel del mar que el desplome de algunas partes del manto de hielo de la Antártida implica, debe prestarse atención a este riesgo de alto impacto. {Recuadro general 5 del capítulo 1, recuadro general 8 del capítulo 3, 4.1, 4.2.3}

B.3.4  En la mayoría de los lugares, el aumento del nivel medio del mar a escala mundial elevará la frecuencia de los fenómenos relacionados con el nivel del mar extremo. Se prevé que los niveles del mar locales que históricamente se han registrado una vez por siglo (fenómenos centenarios históricos) se producirán, al menos, una vez por año en la mayoría de los lugares para 2100 en todos los escenarios de las RCP (*nivel de confianza alto*). De acuerdo con las proyecciones, numerosas megaciudades y pequeñas islas de baja altitud (incluidos los PEID) experimentarán fenómenos centenarios históricos, al menos, una vez por año para 2050 en la RCP 2,6, la RCP 4,5 y la RCP 8,5. El año en que el fenómeno centenario histórico se convierte en un fenómeno anual en las latitudes medias ocurre primero en la RCP 8,5, luego en la RCP 4,5 y, por último, en la RCP 2,6. La frecuencia cada vez mayor de los niveles de agua altos puede tener impactos graves en muchos lugares en función de la exposición (*nivel de confianza alto*). {4.2.3; 6.3; figuras RRP.4, RRP.5}

- B.3.5  Se prevé que las alturas significativas de las olas (el promedio de altura entre el punto de depresión y el punto de cresta del tercio más alto de las olas) aumentarán en el océano Austral y en la parte oriental del Pacífico tropical (*nivel de confianza alto*) y en el mar Báltico (*nivel de confianza medio*), y disminuirán en el Atlántico Norte y en el mar Mediterráneo, en la RCP 8,5 (*nivel de confianza alto*). De acuerdo con las proyecciones, las amplitudes y los patrones de las mareas costeras cambiarán debido al aumento del nivel del mar y las medidas de adaptación costera (*muy probable*). Los cambios previstos en las olas derivados de los cambios en los patrones meteorológicos, así como los cambios en las mareas debidos al aumento del nivel del mar, pueden profundizar o reducir los peligros costeros a escala local (*nivel de confianza medio*). {6.3.1, 5.2.2}
- B.3.6  Se prevé que la intensidad media de los ciclones tropicales, la proporción de ciclones tropicales de categoría 4 y 5 y las tasas de precipitación media conexas se incrementarán con un aumento de la temperatura mundial de 2 °C por encima de cualquier período de referencia (*nivel de confianza medio*). El aumento del nivel medio del mar contribuirá a la elevación de los niveles del mar extremos asociados a los ciclones tropicales (*nivel de confianza muy alto*). Los peligros costeros se verán agravados por un aumento de la intensidad media, la magnitud de las mareas meteorológicas y las tasas de precipitación de los ciclones tropicales. En la RCP 8,5 se prevén mayores incrementos que en la RCP 2,6, aproximadamente desde mediados de siglo hasta 2100 (*nivel de confianza medio*). Existe un *nivel de confianza bajo* en los cambios en la futura frecuencia de los ciclones tropicales a escala mundial. {6.3.1}

Riesgos previstos para los ecosistemas

- B.4 Los futuros cambios en la criosfera terrestre continuarán alterando los ecosistemas terrestres y de agua dulce en las regiones polares y de alta montaña, con modificaciones importantes en las distribuciones de las especies que provocarán cambios en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas y, posiblemente, la pérdida de una biodiversidad incomparable a escala mundial (*nivel de confianza medio*). Se prevé que los incendios forestales aumentarán considerablemente durante el resto de este siglo en la mayor parte de la tundra y las regiones boreales, así como en algunas regiones montañosas (*nivel de confianza medio*). {2.3.3, recuadro 3.4, 3.4.3}**

- B.4.1  En las regiones de alta montaña, el aumento de la migración ladera arriba de las especies de zonas de poca altitud, las contracciones del ámbito de distribución y el incremento de la mortalidad darán lugar a reducciones de la población de algunas especies alpinas, en particular las que dependen de la nieve o de los glaciares (*nivel de confianza alto*), lo que supondrá la pérdida de especies a escala local y, posiblemente, mundial (*nivel de confianza medio*). La persistencia de las especies alpinas y de los servicios ecosistémicos que las sostienen depende de la adopción de medidas adecuadas de conservación y adaptación (*nivel de confianza alto*). {2.3.3}
- B.4.2  En la superficie terrestre del Ártico, se prevé una pérdida de la biodiversidad excepcional a escala mundial, dado que los refugios de algunas especies del alto Ártico son limitados y, por ende, estas se ven desplazadas por las especies de las regiones más templadas (*nivel de confianza medio*). De acuerdo con las proyecciones, los arbustos y árboles leñosos cubrirán entre el 24 % y el 52 % de la tundra ártica en 2050 (*nivel de confianza medio*). Asimismo, se prevé que el bosque boreal se expandirá en el límite septentrional y se reducirá en el límite meridional, donde será reemplazado por zonas arboladas o montes de menor biomasa (*nivel de confianza medio*). {3.4.3, recuadro 3.4}
- B.4.3  El deshielo del permafrost y la disminución de la nieve incidirán en la hidrología y los incendios forestales del Ártico y las montañas, con impactos en la vegetación y la fauna silvestre (*nivel de confianza medio*). Alrededor del 20 % del permafrost del Ártico es vulnerable al deshielo abrupto del permafrost y la subsidencia del terreno, lo cual, según se prevé, aumentará la superficie de los lagos pequeños en más del 50 % para 2100 en la RCP 8,5 (*nivel de confianza medio*). Si bien se prevé una intensificación del ciclo completo del agua a escala regional (que incluye un aumento de la precipitación, la evapotranspiración y la descarga de los ríos en el océano Ártico), las disminuciones de la nieve y del permafrost podrían provocar el secado del suelo, con consecuencias para la productividad y perturbaciones de los ecosistemas (*nivel de confianza medio*). De acuerdo con las proyecciones, los incendios forestales aumentarán durante el resto de este siglo en la mayor parte de la tundra y las regiones boreales, así como en algunas regiones montañosas; por otra parte, las interacciones entre el clima y los cambios en la vegetación influirán en la intensidad y la frecuencia de los futuros incendios (*nivel de confianza medio*). {2.3.3, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, RRP B1}

B.5 Se prevé una disminución de la biomasa mundial de las comunidades de animales marinos, de su producción y del potencial de capturas pesqueras, así como un cambio en la composición de las especies a lo largo del siglo XXI en los ecosistemas oceánicos, desde la superficie hasta las profundidades del fondo marino, en todos los escenarios de emisiones (*nivel de confianza medio*). De acuerdo con las proyecciones, la tasa y la magnitud de la disminución serán más elevadas en los trópicos (*nivel de confianza alto*), mientras que los impactos seguirán siendo diversos en las regiones polares (*nivel de confianza medio*) y aumentarán en los escenarios de emisiones altas. La acidificación del océano (*nivel de confianza medio*), la pérdida de oxígeno (*nivel de confianza medio*) y la reducción de la extensión del hielo marino (*nivel de confianza medio*), así como las actividades humanas no climáticas (*nivel de confianza medio*) pueden agravar estos impactos provocados por el calentamiento en los ecosistemas. {3.2.3, 3.3.3, 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4, 5.4.1, figura RRP.3}

B.5.1  El calentamiento de los océanos y los cambios en la producción primaria neta previstos alteran la biomasa, la producción y la estructura de las comunidades de los ecosistemas marinos. Se prevé una reducción de la biomasa a escala mundial de los animales marinos de toda la red alimentaria en un $15,0 \pm 5,9$ % (rango *muy probable*) y del potencial de capturas pesqueras máximas de entre el 20,5 % y el 24,1 % a finales del siglo XXI, con relación al período 1986-2005 en la RCP 8,5 (*nivel de confianza medio*). De acuerdo con las proyecciones, es *muy probable* que estos cambios sean entre tres y cuatro veces mayores en la RCP 8,5 que en la RCP 2,6. {3.2.3, 3.3.3, 5.2.2, 5.2.3, 5.4.1, figura RRP.3}

B.5.2  En condiciones de mayor estratificación, se prevé que la reducción del suministro de nutrientes provocará una disminución de la producción primaria neta de los océanos tropicales de entre el 7 % y el 16 % (rango *muy probable*) en la RCP 8,5 en el período 2081-2100 (*nivel de confianza medio*). En las regiones tropicales, se prevé que la biomasa y la producción de los animales marinos disminuirán más que el promedio mundial en todos los escenarios de emisiones en el siglo XXI (*nivel de confianza alto*). De acuerdo con las proyecciones, el calentamiento y los cambios del hielo marino aumentarán la producción primaria neta marina en el Ártico (*nivel de confianza medio*) y alrededor de la Antártida (*nivel de confianza bajo*), con modificaciones causadas por el cambio en el suministro de nutrientes debido a las alteraciones en el afloramiento y la estratificación. A escala mundial, se prevé una disminución del flujo de materia orgánica que desciende desde la capa superior del océano, vinculada principalmente con los cambios en la producción primaria neta (*nivel de confianza alto*). Como resultado, se prevé que el 95 % o más del fondo marino en aguas profundas (de 3 000 a 6 000 m de profundidad) y de los ecosistemas de los arrecifes de coral de aguas frías experimentarán una reducción de la biomasa bentónica en la RCP 8,5 (*nivel de confianza medio*). {3.2.3, 5.2.2, 5.2.4, figura RRP.1}

B.5.3  Se prevé que el calentamiento, la acidificación del océano, la reducción estacional de la extensión de hielo marino y la pérdida constante de hielo marino multianual afectarán los ecosistemas marinos polares mediante efectos directos e indirectos en los hábitats, en las poblaciones y en su viabilidad (*nivel de confianza medio*). De acuerdo con las proyecciones, se contraerá el ámbito geográfico de las especies marinas del Ártico, incluidos los mamíferos marinos, las aves y los peces, mientras que se ampliará el ámbito de algunas comunidades de peces de las regiones subárticas, lo que generará aún más presión sobre las especies del alto Ártico (*nivel de confianza medio*). En el océano Austral, se prevé que el hábitat del krill de la Antártida, una especie de presa fundamental para los pingüinos, las focas y las ballenas, se contraerá hacia el sur en la RCP 2,6 y la RCP 8,5 (*nivel de confianza medio*). {3.2.2, 3.2.3, 5.2.3}

B.5.4  Se prevé que el calentamiento de los océanos, la pérdida de oxígeno, la acidificación y la disminución del flujo de carbono orgánico desde la superficie hacia las profundidades del océano perjudicarán los arrecifes de coral de aguas frías que forman hábitats, los cuales dan sustento a una gran diversidad de peces y otros grupos, en parte, mediante la reducción de la calcificación, el aumento de la disolución de esqueletos y la erosión biológica (*nivel de confianza medio*). La vulnerabilidad y los riesgos son mayores en los lugares y los momentos en que las condiciones de temperatura y oxígeno alcanzan valores que superan los rangos de tolerancia de las especies (*nivel de confianza medio*). {Recuadro 5.2, figura RRP.3}

Cambios, impactos y riesgos previstos para los ecosistemas oceánicos como resultado del cambio climático

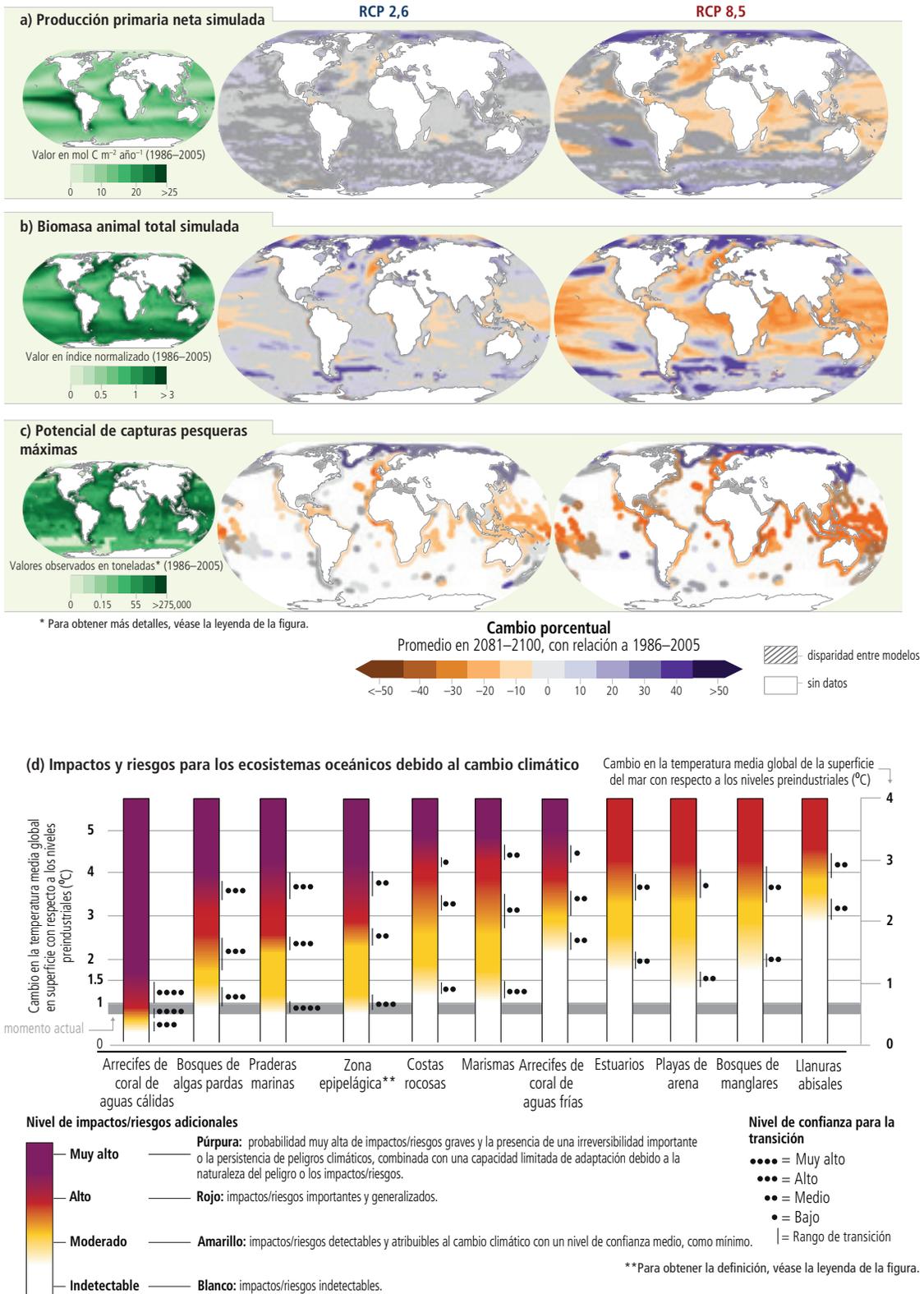


Figura RRP.3 | Cambios, impactos y riesgos previstos para las regiones y los ecosistemas oceánicos:

Figura RRP.3 (continuación): **(a)** producción primaria neta por integración vertical (producción primaria neta de la CMIP5²⁷), **(b)** biomasa animal total (por integración vertical, incluidos los peces e invertebrados de FISHMIP²⁸), **(c)** potencial de capturas pesqueras máximas, y **(d)** impactos y riesgos para los ecosistemas costeros y de mar abierto. Las tres casillas izquierdas representan los valores medios simulados (a, b) y observados (c) correspondientes al pasado reciente (1986-2005); las casillas centrales y derechas representan los cambios previstos (%) para el período 2081-2100 con relación al pasado reciente en escenarios de bajas (RCP 2,6) y altas (RCP 8,5) emisiones de gases de efecto invernadero (recuadro RRP.1), respectivamente. La biomasa animal total en el pasado reciente (b, casilla izquierda) representa la biomasa animal total prevista de cada píxel espacial con relación al promedio mundial. c) *Promedio de capturas pesqueras observadas en el pasado reciente (según información de la base de datos de pesca mundial Sea Around Us); los cambios previstos en el potencial de capturas pesqueras máximas en áreas epicontinentales se basan en los resultados medios de dos modelos de pesca y ecosistemas marinos. Para indicar las áreas de incongruencia de los modelos, las partes sombreadas representan regiones donde los modelos no concuerdan con respecto a la dirección de cambio en más de a) y b) 3 de cada 10 proyecciones de los modelos; y c) 1 de cada 2 modelos. Si bien no están sombreados, los cambios previstos en las regiones del Ártico y de la Antártida en b) biomasa animal total y c) potencial de capturas pesqueras tienen un *nivel de confianza bajo* debido a las incertidumbres asociadas a la modelización de varias fuerzas impulsoras y respuestas de los ecosistemas interactivas. Las proyecciones presentadas en b) y c) están impulsadas por los cambios en las condiciones físicas y biogeoquímicas de los océanos, por ejemplo, la temperatura, el nivel de oxígeno y la producción primaria neta, previstas en los modelos del sistema Tierra de la CMIP5. **La zona epipelágica se refiere a la parte superior del océano con menos de 200 m de profundidad desde la superficie, donde se recibe la suficiente luz solar para posibilitar la fotosíntesis. d) Evaluación de riesgos para los ecosistemas costeros y de mar abierto en función de los impactos climáticos observados y previstos en la estructura, el funcionamiento y la biodiversidad de los ecosistemas. Los impactos y los riesgos se muestran en relación con los cambios en la temperatura media global en superficie con respecto a los niveles preindustriales. Dado que las evaluaciones de los riesgos y los impactos se basan en la temperatura superficial del mar (TSM) media a escala mundial, se muestran los niveles de TSM correspondientes²⁹. La evaluación de las transiciones de los riesgos se describe en el capítulo 5, secciones 5.2, 5.3, 5.2.5 y 5.3.7, y en los materiales complementarios SM5.3, cuadro SM5.6, cuadro SM5.8 y otras partes del informe de base. En la figura se indican los riesgos evaluados a niveles de calentamiento aproximados y peligros climáticos en aumento en el océano: calentamiento de los océanos, acidificación, desoxigenación, aumento de la estratificación de la densidad, cambios en los flujos de carbono, aumento del nivel del mar, e incremento de la frecuencia o la intensidad de los fenómenos extremos. En la evaluación se considera la capacidad de adaptación natural de los ecosistemas, así como su exposición y su vulnerabilidad. En los niveles de impacto y riesgo, no se consideran las estrategias de reducción de riesgos como las intervenciones humanas, ni los cambios futuros en las fuerzas impulsoras no climáticas. Los riesgos para los ecosistemas se evaluaron considerando los aspectos biológicos, biogeoquímicos, geomorfológicos y físicos. Los riesgos más elevados asociados a los efectos combinados de los peligros climáticos comprenden la pérdida de hábitat y de biodiversidad, los cambios en la composición y los ámbitos de distribución de las especies, así como los impactos y los riesgos en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, que incluyen los cambios en la biomasa y la densidad de animales y plantas, la productividad, los flujos de carbono y el transporte de sedimentos. Como parte de la evaluación, se recopilaron publicaciones y se extrajeron datos, los que se presentaron en un cuadro resumido. Se llevó a cabo un proceso de consulta de opiniones de expertos de varias rondas, con una evaluación independiente de la estimación de umbrales, y un debate para alcanzar un consenso final. En las secciones 5.2 y 5.3 del capítulo 5 y en los materiales complementarios, se incluye más información sobre los métodos y las publicaciones de referencia. {3.2.3, 3.2.4, 5.2, 5.3, 5.2.5, 5.3.7, SM5.6, SM5.8, figura 5.16, recuadro general 1 del capítulo 1, cuadro CCB1}

B.6 Se prevé que los riesgos de impactos graves en la biodiversidad, la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas costeros serán mayores en el caso de temperaturas elevadas en los escenarios de altas emisiones, en comparación con los de bajas emisiones, en el siglo XXI y posteriormente. Las respuestas previstas de los ecosistemas incluyen las pérdidas del hábitat y la diversidad de las especies, así como la degradación de las funciones de los ecosistemas. La capacidad de los organismos y los ecosistemas para ajustarse y adaptarse es mayor en los escenarios de emisiones más bajas (*nivel de confianza alto*). En el caso de los ecosistemas sensibles, como las praderas marinas y los bosques de algas pardas, se prevén riesgos elevados si el calentamiento global supera los 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, en combinación con otros peligros climáticos (*nivel de confianza alto*). Los arrecifes de coral de aguas cálidas ya están expuestos a un riesgo alto, y se prevé que enfrentarán un riesgo muy elevado aun si el calentamiento global se limitara a 1,5 °C (*nivel de confianza muy alto*). {4.3.3, 5.3, 5.5, figura RRP.3}

B.6.1  Se prevé que todos los ecosistemas costeros evaluados enfrentarán un aumento del nivel de riesgo, de moderado a alto en la RCP 2,6 y de alto a muy alto en la RCP 8,5 en 2100. De acuerdo con las proyecciones, los ecosistemas de las costas rocosas intermareales enfrentarán un riesgo muy alto en 2100 en la RCP 8,5 (*nivel de confianza medio*) debido a la exposición al calentamiento (especialmente durante las olas de calor marinas), la acidificación, el aumento del nivel del mar y la pérdida de especies calcificadoras y de biodiversidad (*nivel de confianza alto*). La acidificación del océano perjudica estos ecosistemas y limita aún más la adecuación de su hábitat (*nivel de confianza medio*) al inhibir la recuperación mediante la reducción de la calcificación y el aumento de la erosión biológica. Se prevé que la disminución de los bosques de algas pardas continuará en las regiones templadas debido al calentamiento, en particular, en el contexto de la intensificación proyectada de las olas de calor marinas, con un riesgo alto de extinciones locales en la RCP 8,5 (*nivel de confianza medio*). {5.3, 5.3.5, 5.3.6, 5.3.7, 6.4.2, figura RRP.3}

B.6.2  Las praderas marinas y las marismas, así como los almacenamientos de carbono conexos enfrentan un riesgo moderado con un calentamiento global de 1,5 °C y un riesgo más elevado con un calentamiento aún mayor (*nivel de confianza medio*). A escala mundial, se prevé que entre el 20 % y el 90 % de los humedales costeros desaparecerá para 2100, en

²⁷ La producción primaria neta se estima en función de la quinta fase del Proyecto de Comparación de Modelos Acoplados (CMIP5).

²⁸ La biomasa animal total corresponde al Proyecto de Intercomparación de Modelos de Pesca y de Ecosistemas Marinos (FISHMIP).

²⁹ La conversión entre la temperatura media global en superficie y la TSM se basa en un factor de escala de 1,44 derivado de los cambios en un conjunto de simulaciones de la RCP 8,5; este factor de escala tiene una incertidumbre de alrededor del 4 % debido a las diferencias entre los escenarios de la RCP 2,6 y la RCP 8,5. {Cuadro RRP.1}

función del aumento del nivel del mar previsto, las diferencias regionales y los tipos de humedales, especialmente en los lugares donde el crecimiento vertical ya está restringido por la reducción del suministro de sedimentos y la migración tierra adentro está limitada por la abrupta topografía o la modificación humana de las líneas de costa (*nivel de confianza alto*). {4.3.3, 5.3.2, figura RRP.3, RRP A6.1}

- B.6.3  Se prevé que el calentamiento de los océanos, el aumento del nivel del mar y los cambios en las mareas incrementarán la salinización y la hipoxia en los estuarios (*nivel de confianza alto*), con riesgos altos para una parte de la biota que darán lugar a la migración, la reducción de la supervivencia y la extinción local en los escenarios con emisiones altas (*nivel de confianza medio*). De acuerdo con las proyecciones, estos impactos serán más pronunciados en los estuarios eutróficos y poco profundos más vulnerables con baja amplitud de marea de las regiones templadas y de latitudes altas (*nivel de confianza medio*). {5.2.2., 5.3.1, figura RRP.3}
- B.6.4  Se prevé que casi todos los arrecifes de coral de aguas cálidas sufrirán pérdidas de superficie importantes y extinciones locales, aun si el calentamiento global se limitara a 1,5 °C (*nivel de confianza alto*). De acuerdo con las proyecciones, la composición de las especies y la diversidad de las comunidades de arrecifes restantes serán diferentes de los arrecifes de la actualidad (*nivel de confianza muy alto*). {5.3.4, 5.4.1, figura RRP.3}

Riesgos previstos para las personas y los servicios ecosistémicos

- B.7 Se prevé que los futuros cambios en la criosfera terrestre afectarán los recursos hídricos y sus usos, por ejemplo, la energía hidroeléctrica (*nivel de confianza alto*) y la agricultura de regadío en las zonas de aguas abajo y de alta montaña (*nivel de confianza medio*), así como los medios de subsistencia en el Ártico (*nivel de confianza medio*). Se prevé que los cambios en las inundaciones, las avalanchas, los deslizamientos de tierra y la desestabilización del terreno generarán un mayor riesgo para los activos relacionados con la infraestructura, la cultura, el turismo y la recreación (*nivel de confianza medio*). {2.3, 2.3.1, 3.4.3}**
- B.7.1  Se prevé que los riesgos de desastre para los asentamientos humanos y las opciones de medios de subsistencia en el Ártico y en las zonas de alta montaña aumentarán (*nivel de confianza medio*) debido a los futuros cambios en los peligros, como las inundaciones, los incendios, los deslizamientos de tierra, las avalanchas, las condiciones de hielo y nieve poco seguras, y la mayor exposición de las personas y la infraestructura (*nivel de confianza alto*). De acuerdo con las proyecciones, los sistemas de reducción de riesgos diseñados actualmente resultarán menos eficaces a medida que se modifiquen las características de los peligros (*nivel de confianza medio*). Algunas estrategias importantes de reducción de riesgos y adaptación ayudan a evitar mayores impactos de los peligros de inundaciones y deslizamientos de tierra en las montañas, en el contexto de aumento de la exposición y la vulnerabilidad en numerosas regiones montañosas que se registrará durante este siglo (*nivel de confianza alto*). {2.3.2, 3.4.3, 3.5.2}
- B.7.2  Se prevé que la subsidencia de la superficie terrestre provocada por el deshielo del permafrost afectará la estructura suprayacente de comunicación y transporte de las áreas urbanas y rurales en el Ártico y en las zonas de alta montaña (*nivel de confianza medio*). La mayor parte de la infraestructura del Ártico se encuentra en regiones en las que, de acuerdo con las proyecciones, el deshielo del permafrost se intensificará a mediados de siglo. El reequipamiento y la mejora del diseño de la infraestructura pueden reducir a la mitad los costos derivados del deshielo del permafrost y los impactos climáticos conexos de aquí a 2100 (*nivel de confianza medio*). {2.3.4, 3.4.1, 3.4.3}
- B.7.3  Se prevé que los activos culturales, recreativos y turísticos de las zonas de alta montaña se verán perjudicados por los futuros cambios criosféricos (*nivel de confianza alto*). De acuerdo con las proyecciones, las tecnologías actuales de fabricación de nieve serán menos eficaces para reducir los riesgos que enfrentará el turismo de esquí en un clima más cálido, en la mayor parte de Europa, América del Norte y el Japón, en particular, con un calentamiento global de 2 °C y superior (*nivel de confianza alto*). {2.3.5, 2.3.6}

B.8 Se prevé que los futuros cambios en la distribución de peces y la reducción de sus poblaciones y del potencial de capturas pesqueras a causa del cambio climático afectarán los ingresos, los medios de subsistencia y la seguridad alimentaria de las comunidades que dependen de los recursos marinos (*nivel de confianza medio*). La pérdida y la degradación a largo plazo de los ecosistemas marinos ponen en peligro la función del océano relacionada con valores culturales, recreativos e intrínsecos que son importantes para la identidad y el bienestar de los seres humanos (*nivel de confianza medio*). {3.2.4, 3.4.3, 5.4.1, 5.4.2, 6.4}

B.8.1  Las modificaciones en el ámbito geográfico y las disminuciones de la biomasa de los animales marinos a escala mundial y del potencial de capturas pesqueras previstas son más pronunciadas en la RCP 8,5 que en la RCP 2,6, lo que eleva el riesgo para los ingresos y los medios de subsistencia de los que dependen las comunidades humanas, especialmente en las zonas vulnerables desde el punto de vista económico (*nivel de confianza medio*). La redistribución prevista de los recursos y las poblaciones aumenta el riesgo de conflicto entre las entidades pesqueras, las autoridades o las comunidades (*nivel de confianza medio*). En la RCP 8,5 se plantean numerosos desafíos para la gobernanza de la pesca, con algunas zonas críticas a escala regional, como el Ártico y el océano Pacífico tropical (*nivel de confianza medio*). {3.5.2, 5.4.1, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, 6.4.2, figura RRP.3}

B.8.2  Se prevé que la reducción de los arrecifes de coral de aguas cálidas comprometerá en gran medida los servicios que estos prestan a la sociedad, por ejemplo, la provisión de alimentos (*nivel de confianza alto*), la protección costera (*nivel de confianza alto*) y el turismo (*nivel de confianza medio*). De acuerdo con las proyecciones, los mayores riesgos para la seguridad de los alimentos marinos (*nivel de confianza medio*) asociados a la disminución de la disponibilidad de alimentos marinos elevarán el riesgo para la salud nutricional en algunas comunidades que dependen mucho de esos alimentos (*nivel de confianza medio*), por ejemplo, aquellas que se encuentran en el Ártico, en África Occidental y en los PEID. Estos impactos agravan los riesgos derivados de otros cambios en las dietas y los sistemas alimentarios causados por los cambios sociales y económicos y el cambio climático que afecta la superficie terrestre (*nivel de confianza medio*). {3.4.3, 5.4.2, 6.4.2}

B.8.3  El calentamiento global compromete la seguridad de los alimentos marinos (*nivel de confianza medio*) mediante la exposición de las personas a la bioacumulación elevada de contaminantes orgánicos persistentes y mercurio en las plantas y los animales marinos (*nivel de confianza medio*), el aumento de la prevalencia de los organismos patógenos *Vibrio* transmitidos por el agua (*nivel de confianza medio*) y la mayor probabilidad de proliferación de algas perjudiciales (*nivel de confianza medio*). Se prevé que estos riesgos serán especialmente importantes en las comunidades humanas con un consumo elevado de alimentos marinos, incluidas las comunidades indígenas costeras (*nivel de confianza medio*), y en algunos sectores económicos, como la pesca, la acuicultura y el turismo (*nivel de confianza alto*). {3.4.3, 5.4.2, recuadro 5.3}

B.8.4  Los impactos del cambio climático en los ecosistemas marinos y sus servicios ponen en riesgo dimensiones culturales esenciales de la vida y los medios de subsistencia (*nivel de confianza medio*), en particular mediante los cambios en la distribución o las poblaciones de las especies recolectadas y la disminución del acceso a las zonas de pesca o caza. Entre estos cambios se incluyen la pérdida posiblemente rápida e irreversible de la cultura y los conocimientos locales y los conocimientos indígenas, así como los impactos negativos en las dietas tradicionales y la seguridad alimentaria, los aspectos estéticos y las actividades recreativas marinas (*nivel de confianza medio*). {3.4.3, 3.5.3, 5.4.2}

B.9 Se prevé que el aumento del nivel del mar medio y extremo, junto con el calentamiento y la acidificación de los océanos exacerbarán los riesgos para las comunidades humanas en las zonas costeras bajas (*nivel de confianza alto*). En las comunidades humanas del Ártico donde no hay una elevación rápida del terreno, así como en los atolones urbanos, se prevé que los riesgos serán entre moderados y altos incluso en un escenario de emisiones bajas (RCP 2,6) (*nivel de confianza medio*) e incluirán la posibilidad de que se alcancen los límites de adaptación (*nivel de confianza alto*). En un escenario de emisiones altas (RCP 8,5), se prevé que los deltas y las ciudades costeras con riqueza de recursos experimentarán riesgos entre moderados y altos después de 2050 en el contexto de la adaptación actual (*nivel de confianza medio*). Se prevé que mediante la adopción de medidas de adaptación audaces, que incluyan una gobernanza transformadora, se reducirá el riesgo (*nivel de confianza alto*), aunque los beneficios dependerán de cada contexto específico. {4.3.3, 4.3.4, 6.9.2, recuadro general 9, SM4.3, figura RRP.5}

B.9.1  Si no se despliegan esfuerzos de adaptación más audaces que los vigentes, y según las tendencias actuales de aumento de la exposición y la vulnerabilidad de las comunidades costeras, se prevé que los riesgos, como la erosión y la pérdida de tierra, las inundaciones, la salinización y los impactos en cascada debidos al aumento del nivel medio del mar y a los fenómenos extremos, aumentarán considerablemente durante este siglo en todos los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (*nivel de confianza muy alto*). Partiendo de los mismos supuestos, se prevé que los daños anuales por inundaciones costeras se incrementarán entre 2 y 3 órdenes de magnitud en 2100, en comparación con la actualidad (*nivel de confianza alto*). {4.3.3; 4.3.4; recuadro 6.1; 6.8; SM4.3; figuras RRP.4, RRP.5}

B.9.2  En los escenarios de emisiones altas, se prevén riesgos entre altos y muy altos derivados del aumento del nivel del mar para las comunidades vulnerables de los entornos de los arrecifes de coral, los atolones urbanos y las zonas bajas del Ártico, mucho antes de finales de siglo. Esto implica que se estarán alcanzando los límites de adaptación, que son los puntos en que los objetivos de un agente (o las necesidades de un sistema) no pueden asegurarse frente a los riesgos intolerables mediante medidas de adaptación (*nivel de confianza alto*). El alcance de los límites de adaptación (por ejemplo, biofísicos, geográficos, financieros, técnicos, sociales, políticos e institucionales) depende del escenario de emisiones y de la tolerancia al riesgo de cada contexto específico, y se prevé que se extenderá a otras zonas después de 2100, debido al compromiso a largo plazo del aumento del nivel del mar (*nivel de confianza medio*). Es probable que algunas naciones insulares se tornen inhabitables debido a los cambios climáticos en el océano y la criosfera (*nivel de confianza medio*); sin embargo, sigue siendo sumamente difícil evaluar los umbrales de habitabilidad. {4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 5.5.2, recuadro general 9, SM4.3, RRP C1, Glosario, figura RRP.5}

B.9.3  A escala mundial, un ritmo más lento de los cambios climáticos en el océano y la criosfera ofrece mejores oportunidades de adaptación (*nivel de confianza alto*). Si bien existe un *nivel de confianza alto* en que las medidas de adaptación audaces, incluida la gobernanza orientada a lograr un cambio transformador, tienen posibilidades de reducir los riesgos en muchos lugares, estos beneficios pueden variar en los distintos sitios. A escala mundial, la protección costera puede reducir el riesgo de inundación entre 2 y 3 órdenes de magnitud durante el siglo XXI, pero depende de inversiones de decenas a varios centenares de miles de millones de dólares de los Estados Unidos por año (*nivel de confianza alto*). Si bien estas inversiones generalmente tienen una buena relación costo-eficacia en las zonas urbanas densamente pobladas, las zonas rurales y más pobres podrían tener dificultades para hacer frente a tales inversiones, cuyos costos anuales relativos para algunos pequeños Estados insulares equivalen a varios puntos porcentuales del producto interno bruto (*nivel de confianza alto*). Aunque se desplieguen importantes esfuerzos de adaptación, se prevé que habrá riesgos residuales y pérdidas conexas (*nivel de confianza medio*); sin embargo, sigue siendo difícil evaluar los límites de adaptación y los riesgos residuales de cada contexto específico. {4.1.3, 4.2.2.4, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.4., 4.4.3, 6.9.1, 6.9.2, recuadros generales 1 y 2 del capítulo 1, SM4.3, figura RRP.5}

Fenómenos relacionados con el nivel del mar extremo

Debido al aumento proyectado del nivel medio del mar a escala mundial, se prevé que los niveles del mar locales que históricamente se registraron una vez por siglo (fenómenos centenarios históricos) se transformarán en fenómenos, al menos, anuales en la mayoría de los lugares durante el siglo XXI. La altura de un fenómeno centenario histórico varía mucho y, según el nivel de exposición, ya puede provocar impactos graves. Es posible que los impactos sigan aumentando con una frecuencia mayor de dichos fenómenos.

(a) Efecto esquemático del aumento del nivel del mar regional en fenómenos proyectados relacionados con el nivel del mar extremo (no está a escala)

b) Año en que se prevé que los fenómenos centenarios históricos se repetirán **una vez por año**, en promedio

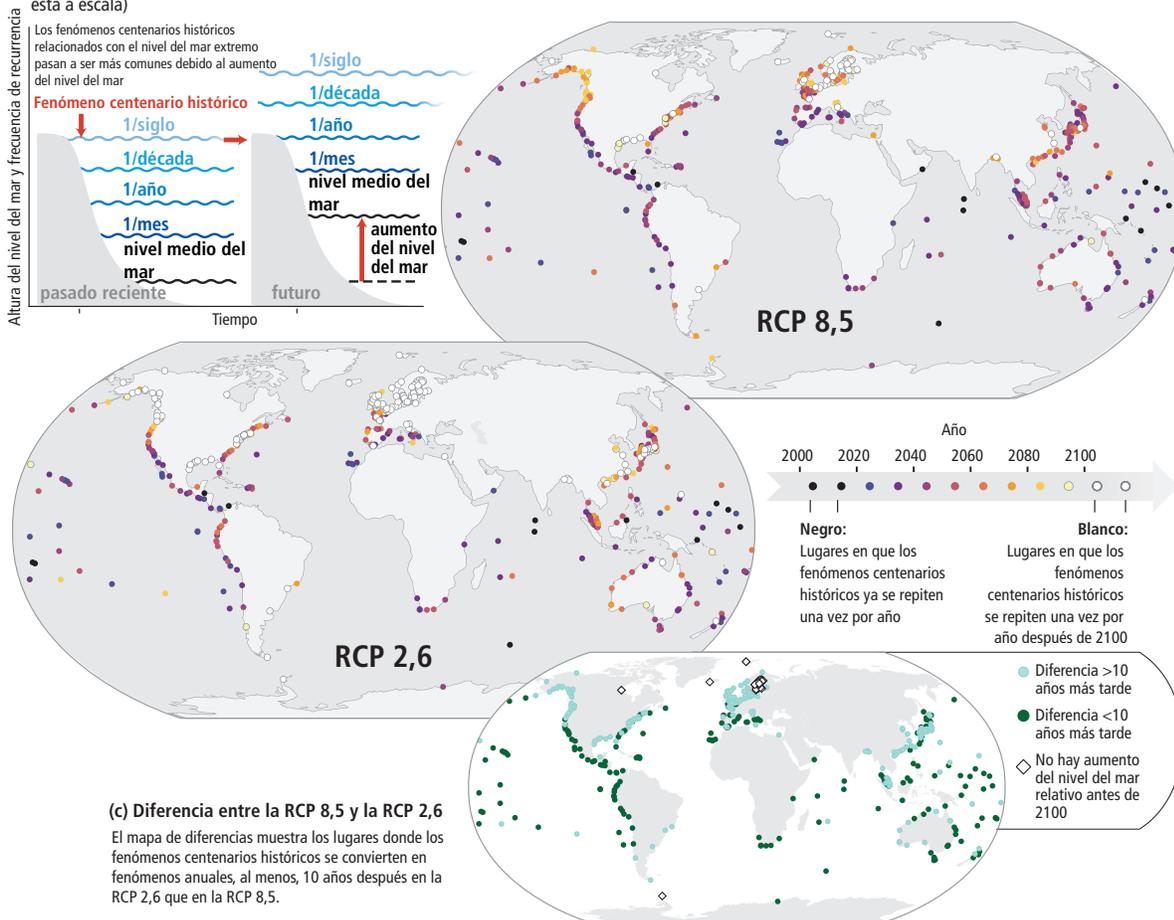


Figura RRP.4 | El efecto del aumento del nivel del mar a escala regional en los fenómenos relacionados con el nivel del mar extremo en ubicaciones costeras. (a) Ilustración esquemática de fenómenos relacionados con el nivel del mar extremo y su recurrencia media en el pasado reciente (1986-2005) y en el futuro. Como consecuencia del aumento del nivel medio del mar, se prevé que los niveles del mar locales que históricamente se han registrado una vez por siglo (fenómenos centenarios históricos) se repetirán con mayor frecuencia en el futuro. (b) El año en que se prevé que los fenómenos centenarios históricos se repetirán una vez por año, en promedio, en la RCP 8,5 y la RCP 2,6, en las 439 ubicaciones costeras específicas donde el registro de observaciones es suficiente. La ausencia de un círculo indica la imposibilidad de realizar una evaluación porque no se dispone de datos, pero no indica que no haya exposición y riesgo. Cuanto más oscuro es el círculo, más temprano se prevé que ocurrirá esta transición. El rango probable es de ± 10 años en las ubicaciones donde se prevé que esta transición ocurrirá antes de 2100. Los círculos blancos (el 33 % de las ubicaciones en la RCP 2,6 y el 10 % en la RCP 8,5) indican que no se prevé que los fenómenos centenarios históricos se repitan una vez por año antes de 2100. (c) Indicación sobre las ubicaciones en las que se prevé que esta transición de los fenómenos centenarios históricos a fenómenos anuales ocurrirá más de 10 años después en la RCP 2,6, en comparación con la RCP 8,5. Dado que los escenarios generan pequeñas diferencias para 2050 en muchas ubicaciones, los resultados correspondientes a la RCP 4,5 no se muestran en este informe, pero están disponibles en el capítulo 4. [4.2.3, figura 4.10, figura 4.12]

RRP.C Instrumentación de Respuestas a Los Cambios en Los Océanos y la Criosfera

Desafíos

C.1 Los impactos de los cambios relacionados con el clima en los océanos y la criosfera suponen desafíos cada vez mayores para las actividades actuales en materia de gobernanza destinadas a elaborar e instrumentar respuestas de adaptación a escala local y mundial y, en algunos casos, las llevan al límite. Con frecuencia, las personas con el máximo nivel de exposición y vulnerabilidad son aquellas con la capacidad de respuesta más limitada (*nivel de confianza alto*). {1.5, 1.7, recuadros generales 2 y 3 del capítulo 1, 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.4, 3.2.4, 3.4.3, 3.5.2, 3.5.3, 4.1, 4.3.3, 4.4.3, 5.5.2, 5.5.3, 6.9}

C.1.1  Las escalas temporales de los impactos del cambio climático en los océanos y la criosfera y sus consecuencias para la sociedad conllevan plazos más prolongados que los de los acuerdos de gobernanza (por ejemplo, los ciclos de planificación, los ciclos públicos e institucionales de adopción de decisiones y los instrumentos financieros). Estas diferencias temporales ponen a prueba la capacidad de las sociedades para prepararse de forma adecuada para los cambios a largo plazo, incluidas las variaciones en la frecuencia y la intensidad de los fenómenos extremos, y responder a dichos cambios (*nivel de confianza alto*). Entre algunos ejemplos, cabe mencionar los cambios en los deslizamientos de tierra y las inundaciones en las regiones de alta montaña y los riesgos para las especies y los ecosistemas importantes del Ártico, así como las naciones y las islas de baja altitud, los pequeños Estados insulares, otras regiones costeras y los ecosistemas de arrecifes de coral. {2.3.2, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.3, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5.1, 5.5.2, 5.5.3, 6.9}

C.1.2  Los acuerdos de gobernanza (por ejemplo, las áreas protegidas marinas, la planificación espacial y los sistemas de gestión de los recursos hídricos) están, en muchos contextos, demasiado fragmentados entre los límites y sectores administrativos para brindar respuestas integradas a los crecientes riesgos en cascada que se derivan de los cambios climáticos en los océanos y la criosfera (*nivel de confianza alto*). Recientemente se ha fortalecido la capacidad de los sistemas de gobernanza en las regiones polares y oceánicas para dar respuesta a los impactos del cambio climático; sin embargo, este desarrollo no es lo suficientemente rápido ni adecuado para abordar debidamente los riesgos proyectados, que son cada vez mayores (*nivel de confianza alto*). En las zonas de alta montaña, las regiones costeras y las islas pequeñas, también existen dificultades para coordinar las respuestas de adaptación al clima, debido a las numerosas interacciones de las fuerzas impulsoras de riesgos climáticas y no climáticas (por ejemplo, la imposibilidad de acceso, las tendencias demográficas y en materia de asentamientos, o la subsistencia de la tierra causada por las actividades locales) entre diferentes escalas, sectores y ámbitos de políticas (*nivel de confianza alto*). {2.3.1, 3.5.3, 4.4.3, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, recuadro 5.6, 6.9, recuadro general 3 del capítulo 1}

C.1.3  Se ha determinado un amplio abanico de obstáculos y límites de la adaptación al cambio climático en los ecosistemas (*nivel de confianza alto*). Entre las limitaciones se incluyen el espacio que los ecosistemas necesitan, las fuerzas impulsoras no climáticas y los impactos humanos que deben abordarse como parte de la respuesta de adaptación, la disminución de la capacidad de adaptación de los ecosistemas a causa del cambio climático, las tasas más lentas de recuperación de los ecosistemas vinculadas con la recurrencia de los impactos climáticos, la disponibilidad de tecnología, el apoyo financiero y en materia de conocimientos, y los acuerdos de gobernanza vigentes (*nivel de confianza medio*). {3.5.4, 5.5.2}

C.1.4  Existen obstáculos financieros, tecnológicos, institucionales y de otra índole para la instrumentación de respuestas a los impactos negativos actuales y proyectados de los cambios relacionados con el clima en los océanos y la criosfera, los cuales obstaculizan la creación de resiliencia y las medidas de reducción de riesgos (*nivel de confianza alto*). El hecho de si estos obstáculos reducen la eficacia de la adaptación o corresponden a los límites de adaptación depende de las circunstancias de cada contexto específico, la tasa y la escala de los cambios climáticos, así como la habilidad de las sociedades de convertir su capacidad de adaptación en respuestas de adaptación eficaces. La capacidad de adaptación continúa siendo diversa tanto dentro de las comunidades y las sociedades como entre ellas (*nivel de confianza alto*). Las personas con el nivel más alto de exposición y vulnerabilidad a los peligros actuales y futuros derivados de los cambios en los océanos y la criosfera suelen ser también quienes tienen la menor capacidad de adaptación, especialmente en las islas y costas de baja altitud, el Ártico y las regiones de alta montaña con desafíos en materia de desarrollo (*nivel de confianza alto*). {2.3.1, 2.3.2, 2.3.7, recuadro 2.4, 3.5.2, 4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 5.5.2, 6.9, recuadros generales 2 y 3 del capítulo 1, recuadro general 9}

Fortalecimiento de las opciones de respuesta

C.2 Los servicios y las opciones de gran alcance que proporcionan los ecosistemas relacionados con los océanos y la criosfera pueden respaldarse mediante la protección, la restauración, el uso de los recursos renovables basado en la gestión preventiva de los ecosistemas, y la reducción de la contaminación y otros factores de estrés (*nivel de confianza alto*). Los enfoques de gestión integrada del agua (*nivel de confianza medio*) y de adaptación basada en los ecosistemas (*nivel de confianza alto*) reducen los riesgos climáticos a escala local y brindan numerosos beneficios para la sociedad. Sin embargo, estas medidas enfrentan limitaciones ecológicas, financieras, institucionales y de gobernanza (*nivel de confianza alto*); asimismo, en muchos contextos, la adaptación basada en los ecosistemas solo será eficaz bajo niveles mínimos de calentamiento (*nivel de confianza alto*). {2.3.1, 2.3.3, 3.2.4, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.2, 5.2.2, 5.4.2, 5.5.1, 5.5.2, figura RRP.5}

C.2.1  Las redes de zonas protegidas ayudan a mantener los servicios ecosistémicos, que incluyen la absorción y el almacenamiento de carbono, a la vez que posibilitan futuras opciones de adaptación basada en los ecosistemas al facilitar los desplazamientos en altitud y hacia los polos de especies, poblaciones y ecosistemas que se producen en respuesta al calentamiento y al aumento del nivel del mar (*nivel de confianza medio*). Las barreras geográficas, la degradación de los ecosistemas, la fragmentación de los hábitats y los obstáculos a la cooperación regional limitan las posibilidades que brindan estas redes de respaldar los futuros cambios del rango de distribución de las especies en las regiones marinas, polares y de alta montaña (*nivel de confianza alto*). {2.3.3, 3.2.3, 3.3.2, 3.5.4, 5.5.2, recuadro 3.4}

C.2.2  La restauración de los hábitats terrestres y marinos y las herramientas de gestión de los ecosistemas, como la relocalización asistida de especies y el cultivo de corales, pueden ser eficaces a escala local para mejorar la adaptación basada en los ecosistemas (*nivel de confianza alto*). Estas medidas dan resultados óptimos cuando están respaldadas por la comunidad, tienen una base científica y, a la vez, aprovechan los conocimientos indígenas y locales, cuentan con apoyo a largo plazo (incluidas la reducción o la eliminación de los factores de estrés no climáticos), y se aplican en un contexto de niveles mínimos de calentamiento (*nivel de confianza alto*). Por ejemplo, las opciones de restauración de los arrecifes de coral pueden resultar ineficaces si el calentamiento global es superior a 1,5 °C, dado que los corales ya enfrentan un riesgo elevado (*nivel de confianza muy alto*) con los niveles actuales de calentamiento. {2.3.3, 4.4.2, 5.3.7, 5.5.1, 5.5.2, recuadro 5.5, figura RRP.3}

C.2.3  El fortalecimiento de los enfoques preventivos, como la reconstrucción de las poblaciones de peces sobreexplotadas y agotadas y la capacidad de respuesta de las estrategias actuales de gestión pesquera, reduce los impactos negativos del cambio climático en la pesca, lo que genera beneficios para las economías y los medios de subsistencia regionales (*nivel de confianza medio*). A través de una gestión pesquera en la que se evalúan periódicamente las medidas y se las actualiza a lo largo del tiempo, en función de las evaluaciones de las futuras tendencias de los ecosistemas, se reducen los riesgos para los recursos pesqueros (*nivel de confianza medio*), aunque su capacidad para abordar los cambios en los ecosistemas es limitada. {3.2.4, 3.5.2, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, figura RRP.5}

C.2.4  La restauración de los ecosistemas costeros con vegetación, como los manglares, las marismas y las praderas marinas (ecosistemas de carbono azul de las zonas costeras), podría mitigar el cambio climático mediante un aumento de la absorción y el almacenamiento de carbono de alrededor del 0,5 % de las emisiones anuales actuales a nivel mundial (*nivel de confianza medio*). La mejora de la protección y la gestión puede reducir las emisiones de carbono provenientes de estos ecosistemas. En conjunto, estas medidas también generan otros beneficios, por ejemplo, brindan protección contra las tormentas, mejoran la calidad del agua y favorecen la biodiversidad y la pesca (*nivel de confianza alto*). A través de una mejor cuantificación del almacenamiento de carbono y de los flujos de gases de efecto invernadero de estos ecosistemas costeros, se reducirán las incertidumbres actuales relativas a la medición, la notificación y la verificación (*nivel de confianza alto*). {Recuadro 4.3, 5.4, 5.5.1, 5.5.2, anexo I: Glosario}

C.2.5  La energía renovable obtenida del océano, que puede apoyar la mitigación del cambio climático, puede incluir la extracción de energía de los vientos terrales, las mareas, las olas, los gradientes térmicos y de salinidad, y los biocombustibles a partir de algas. Se prevé que la demanda incipiente de fuentes de energía alternativas generará oportunidades económicas para el sector de energías renovables obtenidas del océano (*nivel de confianza alto*), aunque su potencial también podría verse afectado por el cambio climático (*nivel de confianza bajo*). {5.4.2, 5.5.1, figura 5.23}

- C.2.6     Los enfoques de gestión integrada del agua en diversas escalas pueden ser eficaces para hacer frente a los impactos y aprovechar las oportunidades que se derivan de los cambios en la criosfera en las zonas de alta montaña. Estos enfoques también respaldan la gestión de los recursos hídricos mediante la creación y la optimización de sistemas de almacenamiento y descarga de agua de embalses para diversos fines (*nivel de confianza medio*), aunque deben considerarse los impactos posiblemente negativos para los ecosistemas y las comunidades. La diversificación de las actividades turísticas durante todo el año fomenta la adaptación en las economías de alta montaña (*nivel de confianza medio*). {2.3.1, 2.3.5}
- C.3 Las comunidades costeras afrontan elecciones difíciles a la hora de elaborar respuestas integradas al aumento del nivel del mar para cada contexto específico que permitan equilibrar los costos, los beneficios y las soluciones de compromiso de las opciones disponibles y que puedan ajustarse a lo largo del tiempo (*nivel de confianza alto*). Todos los tipos de opciones, por ejemplo, la protección, la adaptación costera, la adaptación basada en los ecosistemas, el avance y el retroceso costeros, cuando sean posibles, pueden ser importantes en dichas respuestas integradas (*nivel de confianza alto*). {4.4.2, 4.4.3, 4.4.4, 6.9.1, recuadro general 9; figura RRP.5}**
- C.3.1.    Cuanto más importante es el aumento del nivel del mar, más difícil resulta la protección costera, debido principalmente a los obstáculos económicos, financieros y sociales, más que a los límites técnicos (*nivel de confianza alto*). En los próximos decenios, la reducción de las fuerzas impulsoras de la exposición y la vulnerabilidad a escala local, como la urbanización de las zonas costeras y la subsidencia antropógena, constituirá una respuesta eficaz (*nivel de confianza alto*). En los lugares donde el espacio es limitado y el valor de los activos expuestos es elevado (por ejemplo, en las ciudades), es *probable* que las medidas de protección basadas en la infraestructura (como los diques) sean una respuesta con una buena relación costo-eficiente durante el siglo XXI, teniendo en cuenta las características específicas de cada contexto (*nivel de confianza alto*); sin embargo, es posible que algunas zonas con recursos limitados no puedan hacer frente a tales inversiones. En los lugares donde se dispone de espacio, la adaptación basada en los ecosistemas puede reducir los riesgos costeros y generar otros beneficios, como el almacenamiento de carbono, la mejora de la calidad del agua, la conservación de la biodiversidad y el apoyo a los medios de subsistencia (*nivel de confianza medio*). {4.3.2, 4.4.2, recuadro 4.1, recuadro general 9, figura RRP.5}
- C.3.2    Algunas medidas de adaptación costera, como los sistemas de alerta temprana y la protección de los edificios contra las inundaciones, suelen ser económicas y tener una excelente relación costo-eficiente en el contexto de los niveles del mar actuales (*nivel de confianza alto*). En el marco del aumento del nivel del mar y el incremento de los peligros costeros proyectados, algunas de estas medidas se tornan menos eficaces, salvo que se las combine con otras medidas (*nivel de confianza alto*). Todos los tipos de opciones, por ejemplo, la protección, la adaptación costera, la adaptación basada en los ecosistemas, el avance costero y la relocalización planificada, si existen localidades alternativas, pueden ser importantes en estas respuestas integradas (*nivel de confianza alto*). Cuando la comunidad afectada es pequeña, o durante la fase posterior a un desastre, vale la pena considerar la posibilidad de reducir el riesgo mediante relocalizaciones planificadas en las zonas costeras, si existen alternativas seguras. Estas relocalizaciones planificadas pueden verse limitadas por razones sociales, culturales, financieras y políticas (*nivel de confianza muy alto*). {4.4.2, recuadro 4.1, recuadro general 9, RRP B3}
- C.3.3    Las respuestas al aumento del nivel del mar y la reducción de los riesgos conexos plantean profundos desafíos en materia de gobernanza para la sociedad, que se derivan de la incertidumbre sobre la magnitud y la tasa del futuro aumento del nivel del mar, las complejas soluciones de compromiso entre los objetivos de la sociedad (por ejemplo, seguridad, conservación, desarrollo económico y equidad intergeneracional e intrageneracional), los recursos limitados, y los intereses y valores en conflicto de las diversas partes interesadas (*nivel de confianza alto*). Estos desafíos pueden atenuarse mediante el uso de combinaciones adecuadas a escala local de análisis de decisiones, planificación del uso de la tierra, participación de la sociedad, diversos sistemas de conocimientos y enfoques de solución de conflictos que se modifiquen a lo largo del tiempo a medida que las circunstancias cambian (*nivel de confianza alto*). {Recuadro general 5 del capítulo 1, 4.4.3, 4.4.4, 6.9}
- C.3.4    A pesar de las importantes incertidumbres acerca de la magnitud y la tasa del aumento del nivel del mar después de 2050, actualmente se toman muchas decisiones relativas a las zonas costeras con plazos desde décadas hasta superiores a un siglo (por ejemplo, con respecto a las infraestructuras fundamentales, las obras de protección costera y la planificación urbana). Dichas decisiones pueden mejorarse teniendo en cuenta el aumento del nivel del mar relativo, favoreciendo las respuestas flexibles (es decir, aquellas que pueden adaptarse a lo largo del tiempo) sustentadas por sistemas de monitoreo

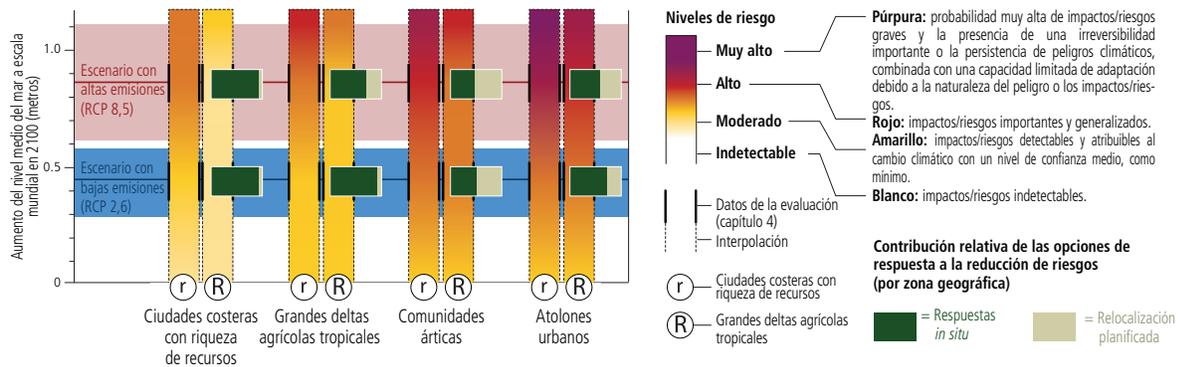
para emitir avisos de alerta temprana, modificando periódicamente las decisiones (es decir, la adopción de decisiones adaptativas) y utilizando enfoques adecuados de toma de decisiones, opiniones de expertos, elaboración de escenarios y diversos sistemas de conocimientos (*nivel de confianza alto*). El rango de aumento del nivel del mar que debe considerarse para planificar y aplicar las respuestas en las zonas costeras depende de la tolerancia al riesgo de los actores. Los actores con una tolerancia al riesgo más elevada (por ejemplo, aquellas que planifican inversiones que pueden adaptarse muy fácilmente a condiciones imprevistas) generalmente prefieren utilizar el rango *probable* de proyecciones, mientras que los actores con menor tolerancia al riesgo (por ejemplo, aquellas que adoptan decisiones relacionadas con infraestructuras vitales) también consideran el nivel medio del mar a escala mundial y local por encima del extremo superior del rango *probable* (a escala mundial, 1,1 m en el marco de la RCP 8,5 para 2100), así como el derivado de métodos caracterizados por un nivel de confianza más bajo, como la consulta de opiniones de expertos. {1.8.1, 1.9.2, 4.2.3, 4.4.4, figura 4.2, recuadro general 5 del capítulo 1, figura RRP.5, RRP B3}

Riesgos y respuestas relacionados con el aumento del nivel del mar

En este informe se utiliza el término respuesta, en lugar de adaptación, porque algunas respuestas, como el retroceso, podrían o no considerarse una adaptación.

a) Riesgo en 2100 en el marco de diferentes escenarios de respuesta y aumento del nivel del mar

Riesgo para las zonas geográficas ilustrativas en función de los cambios del nivel medio del mar (*nivel de confianza medio*)



En esta evaluación, el término respuesta hace referencia a las respuestas in situ al aumento del nivel del mar (las defensas costeras relacionadas con la infraestructura, la restauración de los ecosistemas degradados y la limitación de la subsidencia) y la relocalización planificada. En esta evaluación, la relocalización planificada hace referencia al reasentamiento o abandono organizado proactivo solo a escala local y de acuerdo con las características específicas de cada contexto (por ejemplo, en los atolones urbanos: dentro de la isla, en una isla cercana o en islas creadas artificialmente). En esta evaluación no se consideran el desplazamiento forzado ni la migración internacional.

Las zonas geográficas ilustrativas se basan en un número limitado de estudios de casos abordados ampliamente en publicaciones examinadas por expertos. La materialización del riesgo dependerá de las características específicas de cada contexto.

Escenarios de aumento del nivel del mar: la RCP 4,5 y la RCP 6,0 no se consideran en esta evaluación de riesgos porque las publicaciones que respaldan esta evaluación solo están disponibles para la RCP 2,6 y la RCP 8,5.

(b) Beneficios de las respuestas al aumento del nivel del mar y la mitigación

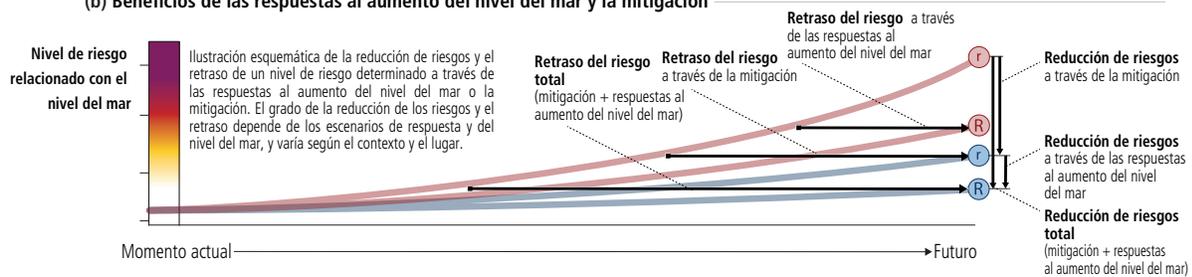


Figura RRP.5 | a, b

(c) Respuestas al aumento de los niveles del mar medio y extremo

En el cuadro se ofrecen ejemplos ilustrativos de las respuestas y sus características; no es exhaustivo. El hecho de si una respuesta es pertinente depende de la zona geográfica y el contexto.

Niveles de confianza (evaluados conforme a la eficacia): ●●●● = Muy alto ●●● = Alto ●● = Medio ● = Bajo

Respuestas	Posible eficacia <small>en cuanto a la reducción de riesgos del aumento del nivel del mar (límites técnicos/biofísicos)</small>	Ventajas <small>(además de la reducción de riesgos)</small>	Cobeneficios	Desventajas	Eficiencia económica	Desafíos de gobernanza	
Protección basada en la infraestructura	Hasta varios metros de aumento del nivel del mar [4.4.2.2.4] ●●●	Niveles previsible de seguridad [4.4.2.2.4]	Diques multifuncionales, por ejemplo, para fines recreativos u otros usos de la tierra [4.4.2.2.5]	Destrucción del hábitat a través del angostamiento costero, inundaciones y erosión aguas abajo, encerramiento, consecuencias desastrosas en caso de fallas de defensa [4.3.2.4, 4.4.2.2.5]	Nivel alto si el valor de los activos protegidos es elevado, como los que se encuentran en muchas zonas urbanas y costeras densamente pobladas [4.4.2.2.7]	Con frecuencia, inasequible para las zonas más pobres. Conflictos entre los objetivos (p. ej., conservación, seguridad y turismo), conflictos sobre la distribución de los presupuestos públicos, falta de financiación [4.3.3.2, 4.4.2.2.6]	
Protección basada en sedimentos	Eficaz, pero depende de la disponibilidad de sedimentos [4.4.2.2.4] ●●●	Alto nivel de flexibilidad [4.4.2.2.4]	Conservación de playas con fines recreativos o turísticos [4.4.2.2.5]	Destrucción del hábitat donde se extraen los sedimentos [4.4.2.2.5]	Nivel alto si los ingresos por turismo son elevados	Conflictos sobre la distribución de los presupuestos públicos [4.4.2.2.6]	
Adaptación basada en los ecosistemas	Conservación de corales	Eficaz hasta un aumento del nivel del mar de 0,5 cm año ⁻¹ . ●●	Oportunidad para la participación de la comunidad [4.4.2.3.1]	Aumento del hábitat, biodiversidad, secuestro de carbono, ingresos por turismo, aumento de la productividad pesquera y mejora de la calidad del agua. Provisión de alimentos, medicamentos, combustibles, madera y beneficios culturales. [4.4.2.3.5]	La eficacia a largo plazo depende del calentamiento y la acidificación de los océanos y los escenarios de emisiones. [4.3.3.5.2., 4.4.2.3.2]	Evidencia limitada sobre la relación beneficio-costo. Depende de la densidad demográfica y la disponibilidad de tierras. [4.4.2.3.7]	
	Restauración de corales	Fuertemente limitada por el calentamiento y la acidificación de los océanos. Restringida con un calentamiento de 1,5 °C y nula con 2 °C en muchos lugares. [4.3.3.5.2, 4.4.2.3.2, 5.3.4] ●●●					
	Conservación de humedales <small>(manglares y marismas)</small>	Eficaz hasta un aumento del nivel del mar de 0,5 a 1 cm año ⁻¹ , ●● menos eficaz con un aumento de 2 °C [4.3.3.5.1, 4.4.2.3.2, 5.3.7] ●●●					
	Restauración de humedales <small>(manglares y marismas)</small>	Eficaz hasta un aumento del nivel del mar de 0,5 a 1 cm año ⁻¹ , ●● menos eficaz con un aumento de 2 °C [4.3.3.5.1, 4.4.2.3.2, 5.3.7] ●●●					
Avance costero	Hasta varios metros de aumento del nivel del mar [4.4.2.2.4] ●●●	Niveles previsible de seguridad [4.4.2.2.4]	Se generan tierras, y los ingresos por la venta de tierras pueden utilizarse para financiar la adaptación [4.4.2.4.5]	Salinización de las aguas subterráneas, mayor erosión y pérdida de ecosistemas y hábitats costeros [4.4.2.4.5]	Muy alta si los precios de las tierras son elevados, como en el caso de muchas costas urbanas [4.4.2.4.7]	Con frecuencia, inasequible para las zonas más pobres. Conflictos sociales en lo que respecta al acceso a las nuevas tierras y a su distribución [4.4.2.4.6]	
Adaptación costera <small>(protección de los edificios contra las inundaciones, sistemas de alerta temprana de inundaciones, etc.)</small>	Muy eficaz si el aumento del nivel de mar es leve [4.4.2.5.4] ●●●	Tecnología madura; los sedimentos depositados durante las inundaciones pueden incrementar la elevación [4.4.2.5.5]	Se mantiene la conectividad de los paisajes [4.4.2.5.5]	No evita las inundaciones ni los impactos [4.4.2.5.5]	Muy alta para los sistemas de alerta temprana y las medidas relativas a la construcción [4.4.2.5.7]	Los sistemas de alerta temprana exigen acuerdos institucionales eficaces [4.4.2.6.6]	
Retroceso	Relocalización planificada	Eficaz si existen alternativas seguras [4.4.2.6.4] ●●●	Pueden eliminarse los riesgos de nivel del mar de origen [4.4.2.6.4]	Acceso a mejores servicios (salud, educación, vivienda), oportunidades de trabajo y crecimiento económico [4.4.2.6.5]	Pérdida de cohesión social, identidad cultural y bienestar. Menos servicios (salud, educación, vivienda), oportunidades de trabajo y crecimiento económico [4.4.2.6.5]	Evidencia limitada [4.4.2.6.7]	Conciliación de los diferentes intereses que surgen a partir de la relocalización de personas desde el punto de origen hasta el destino [4.4.2.6.6]
	Desplazamiento forzado	Solo resuelve el riesgo inmediato en el lugar de origen	No se aplica	No se aplica	Varía desde la pérdida de vidas hasta la pérdida de medios de subsistencia y soberanía [4.4.2.6.5]	No se aplica	Plantea cuestiones humanitarias complejas sobre los medios de subsistencia, los derechos humanos y la equidad [4.4.2.6.6]

d) Elección y facilitación de las respuestas al aumento del nivel del mar



Figura RRP.5 | c, d

Figura RRP.5 | Riesgos y respuestas relacionados con el aumento del nivel del mar. En este informe se utiliza el término respuesta, en lugar de adaptación, porque algunas respuestas, como el retroceso, podrían o no considerarse una adaptación. En la casilla (a) se muestra el riesgo combinado de las inundaciones costeras, la erosión y la salinización en zonas geográficas ilustrativas en 2100, debido a los cambios del nivel del mar medio y extremo en la RCP 2,6 y la RCP 8,5 y en dos escenarios de respuesta. No se evaluaron los riesgos en el marco de la RCP 4,5 y la RCP 6,0 porque no se disponía de publicaciones sobre las zonas geográficas evaluadas. En la evaluación no se tienen en cuenta los cambios en el nivel del mar extremo que no sean aquellos inducidos directamente por el aumento del nivel medio del mar; los niveles de riesgo podrían incrementarse si se consideraran otros cambios en los niveles del mar extremos (por ejemplo, debido a los cambios en la intensidad de los ciclones). En la casilla (a) se considera un escenario socioeconómico con una densidad demográfica costera relativamente estable durante todo el siglo. [SM4.3.2] Los riesgos en las zonas geográficas ilustrativas se han evaluado en función de los cambios del nivel del mar relativo proyectado para un conjunto de ejemplos específicos: la ciudad de Nueva York, Shanghai y Rotterdam, en el caso de las ciudades costeras con riqueza de recursos que abarcan un amplio abanico de experiencias de respuestas; Tarawa Sur, Fongafale y Malé, en el caso de los atolones urbanos; Mekong y Ganges-Brahmaputra-Meghna, en el caso de los grandes deltas agrícolas tropicales; y Bykovsky, Shishmaref, Kivalina, Tuktoyaktuk y Shingle Point, en el caso de las comunidades árticas situadas en regiones alejadas del ajuste isostático-glacial rápido. [4.2, 4.3.4, SM4.2] En la evaluación se establece una distinción entre dos escenarios de respuestas contrapuestos. La “respuesta nula a moderada” describe los esfuerzos desplegados en la actualidad (es decir, sin medidas importantes nuevas ni tipos nuevos de medidas). La “máxima respuesta posible” representa una combinación de respuestas instrumentadas plenamente y, por ende, esfuerzos adicionales importantes en comparación con los actuales, suponiendo obstáculos financieros, sociales y políticos mínimos. Se ha realizado la evaluación de cada aumento del nivel del mar y cada escenario de respuesta, como lo indican los gradientes de color en la figura; los niveles de riesgo intermedios están interpolados. [4.3.3] Los criterios de evaluación incluyen la exposición y la vulnerabilidad (la densidad de activos y el nivel de degradación de los ecosistemas de protección terrestres y marinos), los peligros costeros (las inundaciones, la erosión del litoral y la salinización), las respuestas *in situ* (las defensas costeras relacionadas con la infraestructura, la restauración de los ecosistemas o la creación de nuevas zonas de protección naturales, y la gestión de la subsidencia) y la relocalización planificada. La relocalización planificada se refiere al reasentamiento o abandono organizado que se describen en el capítulo 4, es decir, las medidas preventivas a escala local orientadas a reducir el riesgo mediante la relocalización de personas, activos e infraestructuras. En esta evaluación no se considera el desplazamiento forzado. En la casilla (a) también se destacan las contribuciones relativas de las respuestas *in situ* y la relocalización planificada a la reducción total del riesgo. En la casilla (b) se representa de forma esquemática la reducción del riesgo (flechas verticales) y el retraso del riesgo (flechas horizontales) por medio de las medidas de mitigación o las respuestas al aumento del nivel del mar. En la casilla (c) se resumen y se evalúan las respuestas al aumento del nivel del mar con respecto a la eficacia, los costos, los cobeneficios, los inconvenientes, la eficiencia económica y los desafíos conexos en materia de gobernanza. [4.4.2] En la casilla (d) se presentan las medidas generales de un enfoque de adopción de decisiones adaptativas, así como las principales condiciones habilitadoras para las respuestas al aumento del nivel del mar. [4.4.4; 4.4.5]

Condiciones habilitadoras

C.4 La creación de condiciones habilitadoras para la resiliencia al clima y el desarrollo sostenible depende fundamentalmente de la reducción urgente y audaz de las emisiones, combinada con medidas de adaptación coordinadas, sostenidas y cada vez más ambiciosas (*nivel de confianza muy alto*). Los principales elementos facilitadores para la instrumentación de respuestas eficaces a los cambios climáticos en los océanos y la criosfera incluyen la intensificación de la cooperación y la coordinación entre las autoridades gubernamentales en diferentes escalas espaciales y horizontes de planificación. También son esenciales la educación y los conocimientos sobre el clima, el monitoreo y las predicciones, el uso de todas las fuentes de conocimientos disponibles, el intercambio de datos, información y conocimientos, los recursos financieros, el abordaje de la vulnerabilidad y la equidad sociales, y el apoyo institucional. Dichas inversiones posibilitarán la creación de capacidad, el aprendizaje social y la participación en la adaptación en cada contexto específico, así como la negociación de las compensaciones (compromisos) y la obtención de cobeneficios en la reducción de riesgos a corto plazo y la creación de resiliencia y sostenibilidad a largo plazo (*nivel de confianza alto*). El presente informe refleja el estado de la ciencia con relación a los océanos y la criosfera con niveles bajos de calentamiento global (1,5 °C), como también se ha evaluado en informes anteriores del IPCC y de IPBES. {1.1, 1.5, 1.8.3, 2.3.1, 2.3.2, 2.4, figura 2.7, 2.5, 3.5.2, 3.5.4, 4.4, 5.2.2, recuadro 5.3, 5.4.2, 5.5.2, 6.4.3, 6.5.3, 6.8, 6.9, recuadro general 9, figura RRP.5}

C.4.1  A la luz de los cambios observados y proyectados en los océanos y la criosfera, numerosas naciones enfrentarán desafíos en materia de adaptación, aun cuando se adopten medidas de mitigación ambiciosas (*nivel de confianza muy alto*). En un escenario con emisiones altas, se prevé que muchas comunidades que dependen de los océanos y la criosfera alcanzarán los límites de adaptación (por ejemplo, biofísicos, geográficos, financieros, técnicos, sociales, políticos e institucionales) durante la segunda mitad del siglo XXI. Las trayectorias de emisiones bajas, en comparación, limitan los riesgos derivados de los cambios en los océanos y la criosfera en este siglo y posteriormente, a la vez que posibilitan la instrumentación de respuestas más eficaces (*nivel de confianza alto*) y generan cobeneficios. Un cambio transformador y profundo en el ámbito económico e institucional hará posible trazar trayectorias de desarrollo resilientes al clima en el contexto de los océanos y la criosfera (*nivel de confianza alto*). {1.1, 1.4–1.7, recuadros generales 1 a 3 del capítulo 1, 2.3.1, 2.4, recuadro 3.2, figura 3.4, recuadro general 7 del capítulo 3, 3.4.3, 4.2.2, 4.2.3, 4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.6, 5.4.2, 5.5.3, 6.9.2, recuadro general 9, figura RRP.5}

C.4.2  La intensificación de la cooperación y la coordinación entre las autoridades gubernamentales en diferentes escalas, jurisdicciones, sectores, ámbitos de políticas y horizontes de planificación puede facilitar la instrumentación de respuestas eficaces a los cambios en los océanos y la criosfera, así como al aumento del nivel del mar (*nivel de confianza alto*). La cooperación regional, que incluye tratados y convenios, puede apoyar las medidas de adaptación; sin embargo, el grado en

que los marcos normativos regionales posibilitan la respuesta a los impactos y las pérdidas que surgen de los cambios en los océanos y la criosfera actualmente es limitado (*nivel de confianza alto*). Los acuerdos institucionales que proporcionan vínculos sólidos y multiscales con las comunidades locales e indígenas son beneficiosos para la adaptación (*nivel de confianza alto*). La coordinación y la complementariedad entre las políticas regionales a escala nacional y transfronteriza pueden respaldar los esfuerzos tendientes a abordar los riesgos para la seguridad y la gestión de los recursos, así como del agua y de la pesca (*nivel de confianza medio*). {2.3.1, 2.3.2, 2.4, recuadro 2.4, 2.5, 3.5.2, 3.5.3, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, cuadro 4.9, 5.5.2, 6.9.2}

- C.4.3  La experiencia adquirida hasta la fecha (por ejemplo, en la respuesta al aumento del nivel del mar, los riesgos relacionados con el agua en algunas montañas altas y los riesgos del cambio climático en el Ártico) también revela la influencia propicia para considerar una perspectiva a largo plazo a la hora de tomar decisiones a corto plazo, tener en cuenta explícitamente la incertidumbre de los riesgos de cada contexto específico después de 2050 (*nivel de confianza alto*), y fortalecer las capacidades de gobernanza para hacer frente a los riesgos complejos (*nivel de confianza medio*). {2.3.1, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, cuadro 4.9, 5.5.2, 6.9, figura RRP.5}
- C.4.4  Las inversiones en educación y creación de capacidad en diversos niveles y escalas facilitan el aprendizaje social y la capacidad a largo plazo de las respuestas de cada contexto específico para reducir el riesgo y mejorar la resiliencia (*nivel de confianza alto*). Entre las actividades específicas, cabe mencionar la utilización de diversos sistemas de conocimientos y de la información climática regional en los procesos de adopción de decisiones, así como la participación de las comunidades locales, los pueblos indígenas y los actores pertinentes en los acuerdos de gobernanza adaptativa y los marcos de planificación (*nivel de confianza medio*). La promoción de los conocimientos sobre el clima y el uso de sistemas de conocimientos locales, indígenas y científicos fomentan la concienciación del público, la comprensión y el aprendizaje social sobre los riesgos de cada lugar específico y las posibles respuestas (*nivel de confianza alto*). Estas inversiones pueden fortalecer y, en muchos casos, transformar las instituciones actuales, así como facilitar acuerdos de gobernanza adaptativa interactivos y fundamentados (*nivel de confianza alto*). {1.8.3, 2.3.2, figura 2.7, recuadro 2.4, 2.4, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, cuadro 4.9, 5.5.2, 6.9}
- C.4.5  El monitoreo y las predicciones de los cambios en los océanos y la criosfera en cada contexto específico orientan la planificación y la aplicación de las medidas de adaptación, a la vez que facilitan la adopción de decisiones acertadas sobre las concesiones entre los beneficios a corto y a largo plazo (*nivel de confianza medio*). El monitoreo sostenido a largo plazo, el intercambio de datos, información y conocimientos, y la mejora de las predicciones de cada contexto específico, incluidos los sistemas de alerta temprana para predecir más fenómenos extremos de El Niño y La Niña, ciclones tropicales y olas de calor marinas, ayudan a gestionar los impactos negativos de los cambios en los océanos, como las pérdidas de los recursos pesqueros, y los impactos adversos en la salud humana, la seguridad alimentaria, la agricultura, los arrecifes de coral, la acuicultura, los incendios forestales, el turismo, la conservación, las sequías y las inundaciones (*nivel de confianza alto*). {2.4, 2.5, 3.5.2, 4.4.4, 5.5.2, 6.3.1, 6.3.3, 6.4.3, 6.5.3, 6.9}
- C.4.6  La priorización de las medidas tendientes a abordar la vulnerabilidad y la equidad sociales sustenta los esfuerzos para promover la resiliencia al clima y el desarrollo sostenible justos y equitativos (*nivel de confianza alto*), y puede facilitarse mediante la creación de entornos comunitarios seguros para la participación significativa de la sociedad, la deliberación y la solución de conflictos (*nivel de confianza medio*). {Recuadro 2.4, 4.4.4, 4.4.5, cuadro 4.9, figura RRP.5}
- C.4.7  Esta evaluación de los océanos y la criosfera en el contexto del cambio climático pone de relieve los beneficios que las medidas de mitigación ambiciosas y las medidas de adaptación eficaces generan para el desarrollo sostenible, y, por el contrario, los costos y los riesgos cada vez mayores que se derivan del retraso en la adopción de medidas. El potencial para trazar trayectorias de desarrollo resilientes al clima varía entre las diferentes regiones oceánicas, polares terrestres y de alta montaña, así como dentro de ellas. La materialización de este potencial depende del cambio transformador. Esta evaluación pone de manifiesto la necesidad urgente de dar prioridad a las medidas oportunas, ambiciosas, coordinadas y duraderas (*nivel de confianza muy alto*). {1.1, 1.8, recuadro general 1 del capítulo 1, 2.3, 2.4, 3.5, 4.2.1, 4.2.2, 4.3.4, 4.4, cuadro 4.9, 5.5, 6.9, recuadro general 9, figura RRP.5}

