

Nota de síntesis acerca del informe especial del GIEC sobre el océano y la criosfera en un contexto de cambio climático (SROCC)

Marie-Noëlle Woillez (ECO), Timothée Ourbak (CLI)

#MondeEnCommun

RESUMEN

- *Aprobado a finales de septiembre de 2019 por los 195 Gobiernos miembros del GIEC¹, el Informe especial del GIEC sobre el océano y la criosfera – zona del planeta donde el agua está presente en estado sólido, es decir, las regiones congeladas de nuestro planeta – en el contexto de cambio climático (SROCC) presenta nuevas pruebas que ponen de manifiesto las ventajas que supone reducir al máximo el calentamiento del planeta, conforme al objetivo que los gobiernos se fijaron en el Acuerdo de París en 2015. El informe arroja luz sobre los beneficios de una adaptación ambiciosa y eficaz a favor del desarrollo sostenible y, a la inversa, los costes y los riesgos cada vez más elevados debido a la inacción.*
- *El océano y la criosfera son elementos indispensables para la vida en la Tierra. En total, 670 millones de personas que viven en regiones de alta montaña y 680 millones que viven en zonas costeras poco elevadas dependen directamente de estos sistemas (de los cuales 65 millones en pequeños Estados insulares en desarrollo).*
- *El calentamiento del planeta ya es 1°C superior a los niveles preindustriales, debido a las emisiones pasadas y actuales de gases de efecto invernadero.*
- *La solución número uno para luchar contra el cambio climático consiste en atacar de forma ambiciosa y radical los modelos socioeconómicos que generan las emisiones de gases de efecto invernadero responsables de los cambios climáticos que conocemos actualmente. Así pues, podrían protegerse los ecosistemas y los medios de existencia que dependen de ellos.*
- *Existe un número considerable de pruebas que indican que este calentamiento ya tiene graves consecuencias en los ecosistemas y las poblaciones humanas, y que esto debería acentuarse. El océano se calienta, se vuelve más ácido y menos fértil. La dilatación térmica del agua y el deshielo de los glaciares y de los casquetes polares conllevan una subida del nivel del mar que podría superar 1 m a finales de siglo en los peores escenarios. Mecánicamente, las inundaciones costeras que actualmente se consideran extremas se volverían mucho más frecuentes.*
- *Prácticamente todos los ecosistemas marinos y costeros (en particular los arrecifes coralinos) están sujetos a riesgos que serán aún más notables en caso de no detenerse el calentamiento climático. Todas las medidas que permitan reducir las presiones antrópicas directas en estos ecosistemas contribuirán a fortalecer su resiliencia al cambio climático.*
- *El informe también evalúa las soluciones de adaptación pormenorizadas tales como las medidas de protección costera «sólidas» o de adaptación basadas en los ecosistemas (p. ej.: conservación y restauración de los ecosistemas coralinos y de los humedales). Las soluciones basadas en la naturaleza tienen la ventaja de presentar numerosos co-beneficios sobre la biodiversidad, la calidad del agua, etc.*
- *El informe versa también sobre los temas de adecuación (tales como los sistemas de alerta temprana), así como los temas complejos de reasentamiento (planificado o forzado) de las poblaciones.*

¹ Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, órgano de las Naciones Unidas encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático.

CONTEXTO

Justo después de la COP21 celebrada en París en 2015, las Partes solicitaron al GIEC un informe especial sobre el océano y la criosfera². Titulado [«Informe especial del GIEC sobre el océano y la criosfera en el contexto de cambio climático»](#), este informe completa una serie de 3 informes especiales integrados en el sexto ciclo de evaluación del GIEC (AR6). Los dos primeros informes especiales estaban dedicados a un calentamiento de +1,5 °C, (ver la página [web del GIEC](#) o [la explicación de la AFD](#)) y [al sector de la tierra](#). Este último informe y su resumen para los responsables de políticas («Summary for Policymakers» o SPM en inglés) fueron adoptados el 24 de septiembre de 2019 en Mónaco. Si bien el SPM, resultado de una negociación entre los gobiernos, solo consta de unas cuarenta páginas, el informe subyacente al SPM es impresionante (más de mil páginas). Este trabajo de evaluación y de síntesis de unas 7000 publicaciones científicas ha movilizó a un centenar de autores procedentes de 36 países, entre ellos, 19 países en vías de desarrollo o economías en transición.

Analiza las consecuencias ya observables del calentamiento climático para los océanos y la criosfera, las previsiones para las próximas décadas, los impactos en las sociedades humanas y los ecosistemas y las opciones de adaptación. Aquí presentamos una explicación de sus principales conclusiones. Este documento va dirigido a aquellos que tratan de tener una visión global de los desafíos y las propuestas de los científicos sobre el tema de las relaciones entre cambio climático y océano y criosfera.

LAS ÚLTIMAS DÉCADAS: EL HIELO SE DERRITE, SUBE EL NIVEL DEL MAR, LOS ECOSISTEMAS SE TRANSFORMAN

Durante las últimas décadas, el calentamiento climático mundial ha generado en el conjunto del planeta un retroceso notorio de la criosfera:

- La extensión de las superficies nevadas en el Ártico en el mes de junio se redujo de $13,4 \pm 5,4$ % cada década entre 1967 y 2018; la capa de nieve de los macizos montañosos también disminuyó prácticamente por todas partes.
- La superficie de la banquisa Ártica se redujo para todos los meses del año, con una disminución en septiembre de $12,8 \pm 2,3$ % cada década entre 1979 y 2018. Unos cambios sin parangón desde hace al menos 1000 años. El retroceso de la banquisa intensifica el calentamiento en el Ártico y, además, podría ejercer un impacto sobre el clima de las latitudes medias, pero este último punto sigue siendo objeto de debate.
- El permafrost (es decir, los permahielos o suelos congelados) se derrite, ya sea en las regiones árticas y boreales o en zonas de alta montaña, lo que conlleva una desestabilización de las pendientes.
- A nivel mundial, los **glaciares** perdieron en promedio 220 ± 30 Gt de hielo al año entre 2006 y 2015, lo que supone una **contribución a la subida del nivel del mar a escala mundial de +0,61 mm/año**.
- Entre 2006 y 2015, la pérdida de masa de los **casquetes polares** aumentó un promedio de 280 Gt/año en Groenlandia y de 155 Gt/año en el conjunto de la Antártida, **contribuyendo a una subida del nivel del mar de +0,77 mm/año y +0,43 mm/año** respectivamente. Los procesos en marcha no son los mismos para estas dos regiones: las pérdidas de masa de Groenlandia se deben principalmente al deshielo en superficie, mientras que en la Antártida, dominan procesos mecánicos que modifican la dinámica de flujo del hielo en la porción occidental del casquete. Sin embargo, en ambos casos observamos una clara **aceleración de la pérdida de masa desde la década del 2000** (Fig.1): los

² Conjunto de todos los elementos congelados en la superficie terrestre: glaciares, casquetes polares, permafrost, banquisa, nieve...

valores aquí abajo representan una triplicación de las pérdidas para la Antártida y una duplicación para Groenlandia con respecto a la década anterior.

El deshielo de los glaciares y de los casquetes polares es ahora la primera causa de aumento del nivel del mar (+1,8 mm/año), por delante de la expansión térmica de las masas de agua (+1,4 mm/año). La aceleración del deshielo de los casquetes polares es responsable en gran medida del incremento del nivel de mar, que registró un promedio de +3,6 mm/año durante el periodo 2006-2015, es decir, 2,5 veces más rápida que la media en el siglo XX (Fig. 1). Esta subida no es uniforme, y se observan a nivel regional o local diferencias con el promedio de $\pm 30\%$. Las diferencias más importantes se sitúan en las altas latitudes, en las inmediaciones de los casquetes polares.

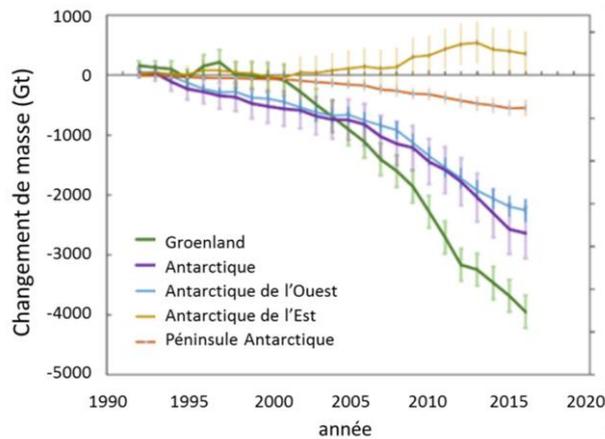


Fig.1: Cambio de masa acumulado de los casquetes polares, de 1992 a 2016. Las barras verticales representan los rangos de incertidumbre sobre el valor anual.

La subida del nivel de las aguas no es la única transformación que ya está experimentando el océano. Globalmente, este se vuelve:

- **Más cálido:** absorbió más del 90 % del calor excedente en el sistema climático desde 1970; las olas de calor³ submarinas, con efectos perjudiciales en los ecosistemas marinos, especialmente los arrecifes coralinos tropicales, se han vuelto dos veces más frecuentes desde 1982, más largas, más extensas y más intensas.
- **Más ácido:** solo una parte de las emisiones antrópicas de CO₂ permanece en la atmósfera; aproximadamente el 22 % las absorbe el océano, lo que conlleva una acidificación de las aguas.
- **Más estratificado:** el calentamiento de las aguas superficiales las hace menos densas con respecto a las aguas más profundas y reduce la mezcla entre el océano de superficie y el océano profundo. Este fenómeno conlleva una **reducción del oxígeno y de los nutrientes en las aguas superficiales.**

Asimismo, se observa un aumento de las precipitaciones y subidas extremas del nivel del mar asociados a los ciclones tropicales. Si bien no observamos ninguna tendencia en cuanto al número de ciclones, parece que empezó a surgir una tendencia al alza de la frecuencia de los ciclones más potentes (categorías 4 y 5).

³ Periodo de calor extremo donde la temperatura de superficie del agua supera el percentil 99 del periodo 1982-2016

IMPACTOS GLOBALMENTE NEGATIVOS EN LOS ECOSISTEMAS Y LAS SOCIEDADES HUMANAS YA OBSERVABLES

Todas estas transformaciones físicas tienen impactos en los ecosistemas, tanto terrestres como oceánicos. Se observan cambios en su composición, la abundancia de las especies y la producción de biomasa, desde el ecuador hasta los polos.

Cuando pueden, las especies marinas migran hacia latitudes más altas y las especies terrestres a mayor altitud. En los océanos, la velocidad de migración observada desde 1950 es del orden de 5 km/año para los organismos que viven en las aguas superficiales y de 3 km/año para aquellos que viven en los fondos marinos. Esta estrategia de adaptación obviamente tiene límites, dado que las especies adaptadas al frío no siempre tienen zonas más frías donde establecerse y corren el riesgo de extinguirse, especialmente en la montaña. En el Ártico, se observa generalmente un aumento de la productividad vegetal en la tundra, pero asimismo, un aumento de la frecuencia de los incendios sin precedentes durante los últimos 10 000 años. Por su parte, los arrecifes coralinos de aguas cálidas resultan especialmente afectados por las temperaturas extremas y la acidificación de las aguas. Los fenómenos de blanqueo de los corales se multiplican bajo el efecto de las olas de calor marinas y se observa un deterioro generalizado del estado de salud de los arrecifes desde 1997.

Globalmente, a pesar de algunas consecuencias positivas aquí y allá, el informe pone de relieve el carácter claramente negativo del cambio climático en los ecosistemas oceánicos y en aquellos que dependen de la criosfera.

Los impactos directos en las sociedades o a través de la pérdida de servicios eco sistémicos también son globalmente negativos. Citemos por ejemplo el sector de la pesca, con una reducción del potencial máximo de capturas que se añade a los efectos de la sobreexplotación del stock de peces, impactos negativos en la ganadería, la caza y la pesca en las regiones árticas, y también un aumento de los riesgos de transmisión de enfermedades relacionadas con el agua o los alimentos. Además, el deshielo de los glaciares y la reducción de la capa de nieve provocaron localmente un descenso de la producción agrícola en algunas zonas de montaña, especialmente en el Himalaya y los Andes.

La subida del nivel del mar conlleva riesgos de inundaciones costeras, erosión y salinización de las capas freáticas y de los suelos. No obstante, hay que diferenciar la subida *absoluta*, relacionada con el cambio climático y la subida *relativa*, es decir, la relacionada con cambios de altitud del propio suelo. Así pues, la sobreexplotación de las capas freáticas puede conllevar localmente un hundimiento del suelo de varios cm al año, mientras que la extracción de arena puede exacerbar la erosión costera. Estos factores no climáticos pueden ocupar un lugar preponderante a nivel local y, por lo tanto, a veces es delicado atribuir los daños causados por la subida del nivel de las aguas exclusivamente al cambio climático.

El calentamiento y la acidificación de los océanos, la reducción del oxígeno y las variaciones del abastecimiento en nutrientes ya tienen repercusiones en la distribución y la abundancia de la fauna y la flora marinas en las zonas costeras, en alta mar y en las profundidades oceánicas: el océano se vuelve menos fértil. El estrés que sufrirán los ecosistemas marinos y costeros puede impactar la distribución y la abundancia de la fauna y la flora marinas. Los cambios en la distribución de las poblaciones de peces redujeron el potencial de captura a escala del planeta (en particular, con una disminución en los océanos tropicales, pero con un aumento en el Ártico, por ejemplo). La salud nutricional y la seguridad alimentaria de las comunidades que dependen en gran medida de los productos del mar podrían verse amenazadas.

EL FUTURO: CONTINUIDAD INEXORABLE DE LA TENDENCIA ACTUAL, PERO GRANDES INCERTIDUMBRES ACERCA DEL NIVEL DEL MAR

La evolución futura de los océanos y la criosfera dependerá básicamente de las emisiones de gases de efecto invernadero, si bien algunos impactos ya son inevitables debido a la inercia del sistema.

Recordemos aquí que, como en los informes anteriores del GIEC, las previsiones climáticas futuras procedentes de los modelos digitales se basan en escenarios de emisiones y de evolución de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), de los aerosoles y del uso de la tierra, denominados *Representative Concentration Pathways*, o RCP.

El informe considera principalmente dos escenarios:

- El RCP2.6, que corresponde a un descenso de las emisiones que permiten limitar el calentamiento global con respecto al periodo preindustrial a +2 °C en 2100; El RCP8.5, que supone una ausencia de políticas de mitigación y la continuidad de las altas emisiones, conllevando un aumento de la temperatura global superior a +4 °C en 2100.

Sea cual sea el escenario contemplado, la reducción de la criosfera continuará a lo largo del siglo XXI, aunque con diferencias importantes en la segunda mitad del siglo según la intensidad futura de las emisiones de GEI:

- A escala global, el retroceso de los glaciares en 2100 estaría comprendido entre el 18 % (escenario RCP2.6) y el 36 % (escenario RCP8.5). Estos valores ocultan importantes disparidades regionales, dado que **las pérdidas en las regiones con pequeños glaciares como los Alpes o los Andes tropicales podrían alcanzar el 80 %** en caso de que sigan produciéndose altas emisiones. Desaparecerán totalmente numerosos glaciares, sea cual sea el escenario de las emisiones. Esta evolución influirá en los caudales anuales y estacionales de los ríos alimentados por estos glaciares menguantes. Comúnmente, se observa primero una fase de aumento de los caudales anuales, debido al incremento del deshielo, pero esta fase es temporal y termina por alcanzar un pico seguido de un retroceso. Este pico de caudal debería alcanzarse durante el siglo XXI, quizá a partir de mediados de siglo en el Himalaya. En las regiones con pocos glaciares (Andes tropicales, Alpes...), es posible que ya se haya producido y que el descenso de los caudales se prosiga durante todo el siglo XXI.
- El permafrost cerca de la superficie (3-4 m) podría experimentar una reducción de su superficie del 24±16 % (RCP2.6) al 69±20% (RCP8.5) para el año 2100. Recordemos que el permafrost de las regiones árticas y boreales contiene entre 1460 y 1600 Gt de carbono orgánico. Por lo tanto, su deshielo masivo podría provocar emisiones de decenas o centenas de Gt de carbono, en forma de CO₂ y metano. Un fenómeno de esta índole reforzaría el calentamiento global y reduciría el «presupuesto de carbono⁴» aún disponible para las emisiones antrópicas de GEI con vistas a limitar el calentamiento. Recordemos que el metano es un gas de efecto invernadero cuyo potencial de calentamiento global es 80 veces superior al del CO₂ a 20 años.
- El futuro de la banquisa ártica se caracteriza por grandes incertidumbres. La probabilidad de un océano ártico sin hielo en el mes de septiembre es del orden del 10-35 % a finales de siglo en caso de que el calentamiento global se estabilice en +2 °C (RCP2.6). Los peores pronósticos para el escenario RCP8.5 muestran que la banquisa de septiembre podría desaparecer en la segunda mitad de siglo, pero el informe destaca que el grado de confianza de estos pronósticos sigue siendo bajo. El retroceso de la banquisa intensifica el calentamiento de las regiones árticas y, por lo tanto, el aumento de la temperatura media global.

⁴ Cantidad de gases de efecto invernadero que la humanidad puede emitir sin superar un determinado umbral de calentamiento global.

- Las previsiones medianas de la contribución del deshielo de Groenlandia y de la Antártida a la subida del nivel del mar son de +11 cm y +27 cm para el año 2100 para los escenarios RCP2.6 et RCP8.5 respectivamente, pero estas previsiones podrían estar bastante o muy subestimadas. La aceleración de la pérdida de masa en la Antártida, en particular, podría ser un indicio de que comenzó una desestabilización irreversible del casquete, pero actualmente, las observaciones y las lagunas de los modelos digitales de casquete en la representación de algunos procesos no permiten llegar a una conclusión.

Las previsiones de subida del nivel del mar para finales de siglo en caso de que prosigan las altas emisiones de GEI fueron revisadas al alza con respecto a las del informe del GIEC de 2013, debido a la reestimación de la contribución del casquete antártico (Fig. 2). **Las nuevas previsiones para 2100 son de +0,43 m (intervalo probable: 0,29 m-0,59 m) para el escenario RCP2.6 y +0,84 m para el escenario RCP8.5 (intervalo probable: 0,61 m-1,10 m)** (Fig.2). Estas incorporan la dilatación térmica del océano y los cambios de dinámica oceánica, el deshielo de los glaciares y (parcialmente) el de los casquetes polares. Las previsiones para 2050 son del orden de 0,2-0,3 m, es decir, más que el aumento observado entre 1902 y 2015 (0,16 m).

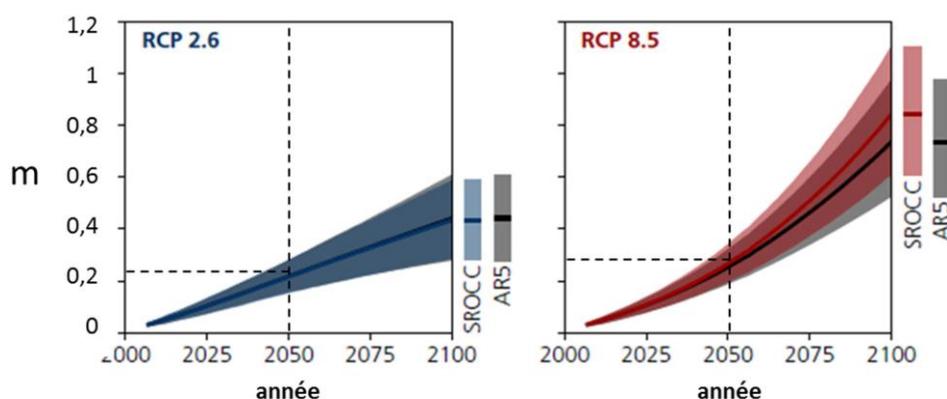


Fig.2: Previsiones de subida del nivel del mar promedio (en m) con respecto al actual para los escenarios RCP2.6 (izquierda) y RCP8.5 (derecha). Las zonas en transparencia indican el intervalo probable. Las zonas en gris indican el intervalo del informe del GIEC de 2013 (AR5). Las líneas de puntos facilitan la lectura para 2050.

No obstante, cabe señalar que la principal fuente de incertidumbre sobre las previsiones del nivel del mar sigue siendo la evolución de los casquetes polares, en particular el antártico. No se excluye una desestabilización más rápida de la que simulan actualmente los modelos digitales. Un estudio basado en opiniones de expertos⁵ calcula en 5 % la probabilidad de que la contribución de la Antártida por sí sola a la subida del nivel del mar supere 80 cm en 2100 para +2 °C de calentamiento global y 178 cm para un mundo a +5 °C. **Dicho de otro modo, en el caso de un escenario con altas emisiones de GEI, habría un 5 % de probabilidades de que la subida del nivel del mar supere los 2 m en 2100.** Asimismo, cabe destacar que este aumento no cesará en 2100. El ritmo podría acelerarse a varios cm/año en el siglo XXII y conllevar una elevación de varios metros para el año 2300 en el caso del escenario RCP8.5.

También continuarán los demás cambios que ya se están produciendo en el océano: calentamiento, estratificación empobrecimiento de las aguas en oxígeno y nutrientes, y acidificación. En el caso del escenario RCP8.5, con vistas al año 2100, las aguas de las latitudes altas podrían volverse corrosivas para algunos organismos planctónicos de concha caliza. La frecuencia de las olas de calor marinas podría

⁵ Recordemos que hace unos 100 000 años, la temperatura media global era de 0,5-1 °C superior a la del periodo preindustrial, pero el nivel marino 6-9 m superior al actual. No es posible establecer una comparación directa entre este periodo pasado y el clima futuro; sin embargo, estos elementos paleo climáticos ilustran el hecho de que la configuración actual de los casquetes polares probablemente ya no esté en equilibrio con el clima actual.

⁶ Bamber, et al. (2019). Ice sheet contributions to future sea-level rise from structured expert judgment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(23), 11195-11200.

multiplicarse por 20 o 50 (escenarios RCP2.6 y RCP8.5, respectivamente). Además, la frecuencia de eventos El Niño y La Niña extremos, así como de ciclones más potentes, también debería aumentar.

IMPACTOS FUTUROS EN LOS ECOSISTEMAS Y LAS SOCIEDADES

Estas alteraciones físicas del océano y de la criosfera reforzarán los impactos en los ecosistemas ya observados o emergentes: descenso de las especies adaptadas al frío en montaña y en el Ártico, aumento de los incendios en la tundra y las regiones boreales, descenso prácticamente general de la productividad marina (salvo en altas latitudes) y, por consiguiente, de los recursos pesqueros. **El índice y la magnitud de la reducción de las posibles capturas en las explotaciones pesqueras serían máximos en los trópicos, donde podrían llegar al 30-40% para 2100 en el caso del escenario RCP8.5.**

A corto plazo, los ecosistemas oceánicos más amenazados son los arrecifes coralinos de aguas cálidas. Tal y como se había señalado en un informe anterior, estos arrecifes ya están gravemente afectados por las olas de calor marinas y corren el riesgo de no poder adaptarse a un calentamiento global superior a 1,5 °C. Si el calentamiento global supera los 4 °C, la mayoría de los ecosistemas marinos se verían seriamente afectados (Fig.3).

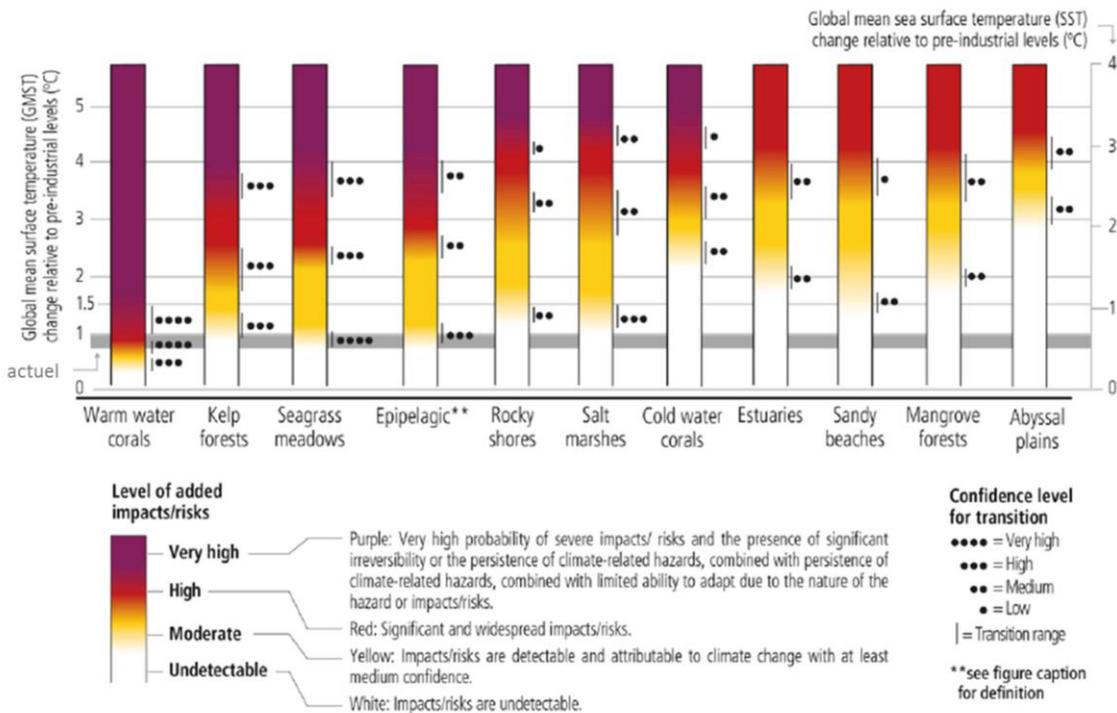


Fig.3: Evaluación de los riesgos que corren varios ecosistemas oceánicos, en función del grado de calentamiento global.

Recordemos que actualmente unos 680 millones de personas viven en zonas costeras de baja altitud⁷, entre ellas, 65 millones en los pequeños Estados insulares en desarrollo y 670 millones en zonas de alta montaña.

La mayoría de las personas que se ven o se verán directamente afectadas por las transformaciones del océano y de la criosfera se encuentran en países en desarrollo o emergentes.

⁷ Altitud inferior a 10 m.

Para los países en los que interviene la AFD, la subida del nivel del mar en particular podría convertirse en un grave problema, especialmente si las previsiones «probables» resultan subestimadas. De hecho, la mayoría de los grandes deltas altamente poblados, de las megalópolis costeras y de los pequeños Estados insulares en desarrollo se encuentran en las zonas intertropicales.

Pero el problema no se limita solamente al riesgo de sumersión progresiva de algunas zonas costeras: una subida del nivel del mar genera salinización de los suelos y de las capas, una mayor erosión y, mecánicamente, **los episodios de oleajes extremos vinculados a las tempestades, poco frecuentes en la actualidad, se volverían habituales (Fig.4)**. Aquellos que durante el periodo histórico se producían una vez cada siglo, podrían volverse anuales en el transcurso del siglo XXI en numerosas localidades, incluso antes de 2050 en el caso de muchas regiones costeras e islas de la zona intertropical. Así pues, sin adaptación, los riesgos de inundación aumentarían considerablemente. Además, en las zonas costeras que disfrutaran actualmente de la protección de los arrecifes coralinos, los riesgos de erosión y de inundaciones podrían verse exacerbados por el declive masivo de estos arrecifes. Es probable que algunos estados insulares de baja altitud se vuelvan inhabitables en el transcurso del siglo; no obstante, los umbrales son difíciles de definir.

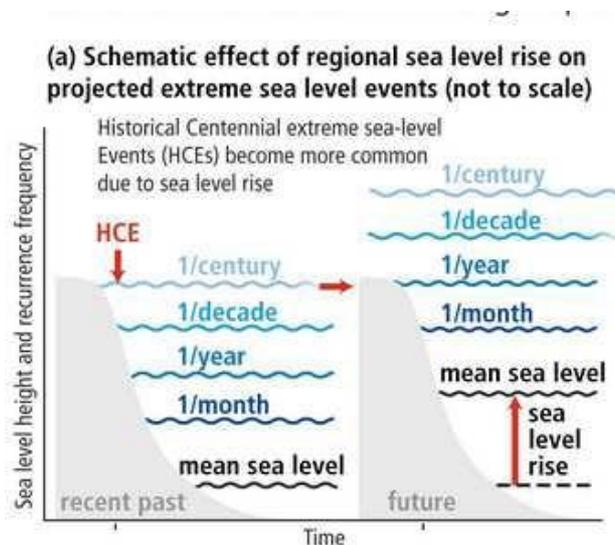


Fig.4: Esquematación del aumento de la frecuencia de fenómenos extremos relacionados con la subida del nivel del mar. Por ejemplo, la flecha roja indica que un evento que se producía una vez al siglo podría producirse 1 vez al año en el futuro.

Además de los riesgos de inundación, las comunidades costeras que dependen en gran medida de la pesca podrían verse afectadas por el descenso de los recursos pesqueros, especialmente en los trópicos (p. ej.: África Occidental y pequeños Estados insulares en desarrollo).

Por su parte, las poblaciones de alta montaña se verán especialmente confrontadas a los cambios de hidrología de las cuencas hidrográficas alimentadas por glaciares, ocasionando en muchas de ellas un descenso de los recursos hídricos procedentes del deshielo durante la estación cálida. Los Andes y las altas montañas de Asia podrían verse especialmente afectados.

¿QUÉ RESPUESTAS FRENTE A LOS CAMBIOS DEL OCÉANO Y DE LA CRIOSFERA?

Los impactos de los cambios en el océano y la criosfera ya se sienten en numerosos países donde interviene la AFD, por ejemplo, con inundaciones costeras y riesgos de derrumbes en la montaña o incluso con una degradación de los ecosistemas costeros y coralinos. La exposición a los riesgos es especialmente patente en las regiones tropicales, donde la escasa capacidad de adaptación incrementa la vulnerabilidad de las poblaciones.

Estos impactos ya observables del cambio climático en ambos estamentos y, sobre todo, la magnitud de los que están por llegar en caso de que continúen las altas emisiones de GEIE, aumentan los desafíos vinculados a los esfuerzos de gobernanza y a la implementación de respuestas de adaptación, en todas las escalas espaciales (desde la local hasta la internacional), y a veces llevan las capacidades de repuesta hasta el límite (véase el concepto de mal adaptación y de pérdidas y perjuicios).

Una de las principales dificultades emana de la dicotomía entre la temporalidad del cambio climático y sus impactos, que se sitúan en una perspectiva a largo plazo, y los mecanismos de gobernanza (por ejemplo, ciclos de toma de decisiones públicas o corporativas, instrumentos financieros y decisiones de inversión) que generalmente se llevan a cabo en periodos más cortos. Sin embargo, es necesario adoptar una perspectiva a largo plazo incluso para las decisiones a corto plazo de cara a permitir la adaptación, en particular, al aumento de la frecuencia e intensidad de los eventos extremos.

Frente a las diferentes alteraciones medioambientales futuras, cabe señalar de nuevo la necesidad de reducir en la medida de lo posible las emisiones de gases de efecto invernadero para retrasar y limitar la magnitud de los impactos y, por consiguiente, facilitar la adaptación de las sociedades. Las opciones de adaptación son múltiples y su pertinencia debe analizarse en función del contexto local.

Frente a la subida del nivel del mar, podemos prever por ejemplo medidas de protección «sólidas» y adaptaciones basadas en los ecosistemas (*Ecosystem-based Adaptation*, EbA) cuando el espacio lo permite. Cada opción tiene sus ventajas e inconvenientes (Fig.5). Los diques son especialmente interesantes para definir con precisión el nivel de protección, pero en caso de ruptura, los daños pueden ser considerables. Asimismo, su coste podría resultar prohibitivo en numerosas regiones en las que interviene la AFDs.

La EbA comporta numerosos co-beneficios (captura de carbono, mejora de la calidad del agua, de la biodiversidad, etc.), pero los niveles de protección podrían resultar insuficientes para escenarios con un calentamiento global superior a 2 °C. La implementación de sistemas de alerta temprana y edificios resistentes a las inundaciones («flood proofing»), también son medidas eficaces y beneficiosas desde ahora, especialmente frente a los eventos extremos.

Asimismo, la **reducción de la urbanización costera y de la subsidencia debida a las actividades humanas** son respuestas eficaces. Cabe observar que la **reubicación**, un reto social complejo, está incluida entre las opciones de respuesta, sea cual sea el escenario (del más ambicioso al menos ambicioso) y sean cuales sean las geografías estudiadas (ciudades costeras ricas en recursos, deltas agrícolas tropicales, islas urbanas y atolones). En cualquier caso, cuanto mayor sea la subida del nivel del mar, más complejas serán las problemáticas de protección costera, y más por cuestiones de barreras económicas, financieras y geográficas que por cuestiones de limitaciones técnicas. Cabe destacar que, dadas las incertidumbres sobre la magnitud futura de

la subida del nivel del mar, los autores recomiendan adoptar en la medida de lo posible **respuestas flexibles**, que de ser necesario puedan ajustarse. Asimismo, **los actores que en particular tienen aversión al riesgo, deberían prever escenarios de subida superior a la gama «probable» indicada en el informe (es decir, superior a 1 m a finales del siglo).**

^a Un dique es generalmente una inversión rentable para las zonas urbanas densamente pobladas, pero para zonas rurales más pobres, es probable que la inversión no sea posible (en orden de magnitud: los costes anuales para algunos pequeños estados insulares podrían equivaler a varios puntos de % del PIB).

(c) Responses to rising mean and extreme sea-levels

The table illustrates responses and their characteristics. It is not exhaustive. Whether a response is applicable depends on geography and context.

Confidence levels (assessed for effectiveness): ●●●● = Very High ●●● = High ●● = Medium ● = Low

Responses	Potential effectiveness in terms of reducing sea-level rise risks (technical/biophysical limits)	Advantages (beyond risk reduction)	Co-benefits	Drawbacks	Economic efficiency	Governance challenges
Hard protection	Up to multiple metres of SLR [4.4.2.2.4] ●●●	Predictable levels of safety [4.4.2.2.4]	Multifunctional dikes such as for recreation, or other land use [4.4.2.2.5]	Destruction of habitat through coastal squeeze, flooding & erosion downdrift, lock-in, disastrous consequence in case of defence failure [4.3.2.4, 4.4.2.2.5]	High if the value of assets behind protection is high, as found in many urban and densely populated coastal areas [4.4.2.2.7]	Often unaffordable for poorer areas. Conflicts between objectives (e.g. conservation, safety and tourism), conflicts about the distribution of public budgets, lack of finance [4.3.3.2, 4.4.2.2.6]
Sediment-based protection	Effective but depends on sediment availability [4.4.2.2.4] ●●●	High flexibility [4.4.2.2.4]	Preservation of beaches for recreation/ tourism [4.4.2.2.5]	Destruction of habitat, where sediment is sourced [4.4.2.2.5]	High if tourism revenues are high [4.4.2.2.7]	Conflicts about the distribution of public budgets [4.4.2.2.6]
Ecosystem based adaptation	Coral conservation	Opportunity for community involvement, [4.4.2.3.1]	Habitat gain, biodiversity, carbon sequestration, income from tourism, enhanced fishery productivity, improved water quality. Provision of food, medicine, fuel, wood and cultural benefits [4.4.2.3.5]	Long-term effectiveness depends on ocean warming, acidification and emission scenarios [4.3.3.5.2., 4.4.2.3.2]	Limited evidence on benefit-cost ratios; Depends on population density and the availability of land [4.4.2.3.7]	Permits for implementation are difficult to obtain. Lack of finance. Lack of enforcement of conservation policies. EbA options dismissed due to short-term economic interest, availability of land [4.4.2.3.6]
	Coral restoration					
	Wetland conservation (Marshes, Mangroves)	Effective up to 0.5-1 cm/yr SLR. ●● decreased at 2°C [4.3.3.5.1, 4.4.2.3.2, 5.3.7] ●●●		Safety levels less predictable, development benefits not realized [4.4.2.3.5, 4.4.2.3.2]		
	Wetland restoration (Marshes, Mangroves)	Safety levels less predictable, a lot of land required, barriers for landward expansion of ecosystems has to be removed [4.4.2.3.5, 4.4.2.3.2]				
Coastal advance	Up to multiple metres of SLR [4.4.2.2.4] ●●●	Predictable levels of safety [4.4.2.2.4]	Generates land and land sale revenues that can be used to finance adaptation [4.4.2.4.5]	Groundwater salinisation, enhanced erosion and loss of coastal ecosystems and habitat [4.4.2.4.5]	Very high if land prices are high as found in many urban coasts [4.4.2.4.7]	Often unaffordable for poorer areas. Social conflicts with regards to access and distribution of new land [4.4.2.4.6]
Coastal accommodation (Flood-proofing buildings, early warning systems for flood events, etc.)	Very effective for small SLR [4.4.2.5.4] ●●●	Mature technology; sediments deposited during floods can raise elevation [4.4.2.5.5]	Maintains landscape connectivity [4.4.2.5.5]	Does not prevent flooding/impacts [4.4.2.5.5]	Very high for early warning systems and building-scale measures [4.4.2.5.7]	Early warning systems require effective institutional arrangements [4.4.2.6.6]
Retreat	Planned relocation	Sea-level risks at origin can be eliminated [4.4.2.6.4] ●●●	Access to improved services (health, education, housing), job opportunities and economic growth [4.4.2.6.5]	Loss of social cohesion, cultural identity and well-being. Depressed services (health, education, housing), job opportunities and economic growth [4.4.2.6.5]	Limited evidence [4.4.2.6.7]	Reconciling the divergent interests arising from relocating people from point of origin and destination [4.4.2.6.6]
	Forced displacement	Addresses only immediate risk at place of origin	Not applicable	Not applicable	Range from loss of life to loss of livelihoods and sovereignty [4.4.2.6.5]	Not applicable

d) Choosing and enabling sea level rise responses

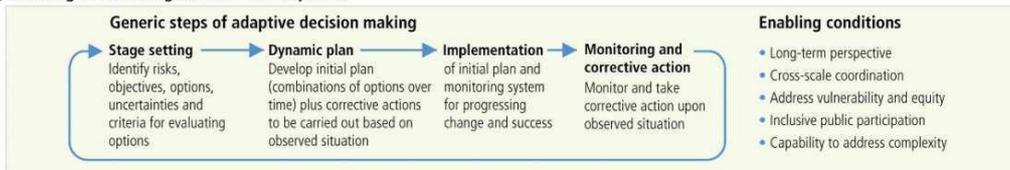


Fig. 5: Características de las opciones de respuesta (adaptativas) frente a la subida del nivel del mar, desde la protección «sólida» tipo dique pasando por la conservación y la restauración de los ecosistemas (adaptación basada en los ecosistemas) hasta la «adecuación costera» y los fenómenos de reasentamiento y desplazamiento forzados.

En lo que respecta a los ecosistemas, todas las medidas que permitan reducir las presiones antrópicas directas contribuirán a fortalecer su resiliencia al cambio climático.

- **Desarrollar las redes de áreas protegidas (AP)**, que permiten mantener servicios ecosistémicos, así como la captura del carbono. Asimismo, las AP facilitarían en particular las migraciones de las especies hacia otras latitudes y altitudes, donde podrían reencontrar condiciones más favorables.
- **Restaurar los hábitats terrestres y marinos**, basándose en los conocimientos científicos, pero implicando también a las comunidades locales y los conocimientos locales y tradicionales.
- **Reducir la contaminación y otras fuentes de estrés.** Cabe destacar que esto supone, entre otros aspectos, actuar en las fuentes de contaminación, que a menudo se originan en tierra (aguas residuales, residuos industriales, residuos urbanos, etc.).
- **Reconstituir los recursos pesqueros sobreexplotados o empobrecidos.**
- Promover medidas de adaptación basadas en los ecosistemas.

Estas medidas serán más eficaces cuanto menor sea el nivel de calentamiento global.

La restauración de los ecosistemas costeros vinculados al «carbono azul costero» (manglares, salinas marinas, marismas) también puede permitir la captura del carbono aunque, no obstante, con un potencial de mitigación bastante limitado a escala global (0,5 % de las emisiones anuales mundiales). Si bien la cuantificación de los flujos de GEI y la cuantificación de la captación de CO₂ aún está por mejorar, los co-beneficios son numerosos: protección costera, mejora de la calidad del agua, de la biodiversidad y de los recursos pesqueros.

Por último, en una perspectiva de reducción de las emisiones de GEI, el informe destaca el potencial de las energías renovables vinculadas a los océanos: eólica en el mar, energías mareomotrices y del oleaje, combustibles de algas y energías ligadas al gradiente de salinidad. El despliegue de estas tecnologías podría generar oportunidades económicas importantes, aunque la resiliencia de estas formas de producción energética podría estar bajo presión frente a los impactos del cambio climático. Se espera una evaluación más completa de esta problemática en el próximo informe global del GIEC, que se publicará en 2021/2022..

CONCLUSIÓN

Al final, el informe retoma el **aspecto central del problema: la resiliencia climática y el desarrollo sostenible solo son posibles a través de una reducción urgente y ambiciosa de las emisiones.** Reducir las emisiones en el futuro disminuirá los riesgos y las necesidades de adaptación.

De forma general, las respuestas que se han de aportar son complejas (y a menudo específicas según las zonas o los casos). Esto se debe a las numerosas ramificaciones con otros retos y al hecho de que deben tomarse decisiones en un contexto de incertidumbre (sobre el nivel de las consecuencias), en función del grado de tolerancia al riesgo de las partes interesadas, y los retos de gobernanza, de recursos limitados, de desarrollo económico, etc.

Es necesario redoblar la cooperación y la coordinación. Si un escenario con altas emisiones de GEI se materializa para el siglo XXI, muchas comunidades hallarán probablemente límites a sus capacidades de adaptación a los impactos que van a tener que experimentar. **Se necesitan cambios económicos y transformaciones institucionales para permitir estrategias de desarrollo climáticas resilientes** (en el sentido del GIEC, véase el [glosario](#)).

Los temas de educación y fortalecimiento de las capacidades también son claves, y las inversiones al respecto pueden permitir las transformaciones necesarias de manera que se tomen los acuerdos y decisiones idóneos.

La implementación de sistemas de observación y de alerta, la agilización del intercambio de datos y modelos propios a los contextos, entre otros aspectos, permiten entender los retos y conflictos entre las decisiones que se puedan tomar a corto y largo plazo y que, a menudo, permitan reducir los efectos negativos en numerosos sectores (salud, explotaciones pesqueras, agricultura, turismo, inundaciones, etc.).