



PRINCE ALBERT II
OF MONACO
FOUNDATION



IAEA

Ocean Acidification
International
Coordination Centre

OA-ICC



FONDATION
BNP PARIBAS



AMAO



OCEANS 2015 INITIATIVE

Interdependencia del océano y el clima: implicaciones para las negociaciones internacionales sobre el clima

Alexandre K. Magnan (IDDRI), Raphael Billé (Secretaría de la Comunidad del Pacífico), Sarah R. Cooley (Ocean Conservancy), Ryan Kelly (Universidad de Washington), Hans-Otto Pörtner (Alfred Wegener Institute), Carol Turley (Plymouth Marine Laboratory), Jean-Pierre Gattuso (CNRS-INSU, Sorbonne Universités, IDDRI)

INTRODUCCIÓN

Aunque la atmósfera y el océano son dos componentes del sistema terrestre fundamentales para la vida, la humanidad está alterando ambos. El cambio climático representa un problema actual, bien identificado: causas antropogénicas, alteración de fenómenos extremos, cambios medioambientales graduales, impactos generalizados en la vida y los recursos naturales y distintos tipos de amenazas que afectan a las sociedades en todo el mundo. No obstante, fuera de la comunidad científica muchos desconocen parte del problema: los importantes cambios que está sufriendo el océano, que amenazan a la vida y a su sostenibilidad en la Tierra.

El presente *Policy Brief* explica la gravedad de los cambios observados en el océano. Este documento se basa en un artículo científico publicado en la revista *Science*¹ donde se sintetizan los cambios recientes y futuros en el océano y sus ecosistemas, así como en los bienes y servicios que estos generan para los seres humanos. Se consideran dos escenarios de emisión de CO₂: uno de altas emisiones (el que tendríamos si todo se mantiene igual, también conocido como RCP8,5, o 'trayectoria de concentración representativa' por su sigla en inglés) y uno de emisiones limitadas (RCP2,6) en consonancia con el Acuerdo de Copenhague², que busca mantener el aumento de la temperatura global debajo de los 2 °C de aquí a 2100.

1. Gattuso J.-P. *et al.* (2015). Contrasting Futures for Ocean and Society from Different Anthropogenic CO₂ Emissions Scenarios. *Science*, 349 (6243).
2. Acuerdo de Copenhague, *Decisión 2/CP.15: Acuerdo de Copenhague* (Convencción Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Ginebra, 2009).

MENSAJES CLAVE

- El clima y los océanos son indisolubles: el océano modera el cambio climático antropogénico absorbiendo proporciones considerables de calor y de CO₂ que se acumulan en la atmósfera y recibiendo toda el agua de deshielo.
- Esta función reguladora del clima se produce a expensas de profundas alteraciones en las propiedades físicas y químicas del océano. Esto, a su vez, se traduce en un calentamiento y acidificación del océano, así como en un aumento del nivel del mar. Estos cambios tienen graves repercusiones en la ecología del océano (los organismos y ecosistemas) y, en última instancia, en las actividades marinas y costeras de los seres humanos (pesca, acuicultura, turismo, salud, etc.).
- A medida que el nivel de CO₂ en la atmósfera aumenta, las posibilidades de respuesta humana disminuyen y se vuelven menos eficaces.
- Estos hallazgos científicos constituyen un argumento vehemente en pos de un inmediato y ambicioso plan de reducción de las emisiones de CO₂ a nivel internacional. Esta conclusión se aplica tanto a la COP21 como a todo el régimen climático post-2015.

Este trabajo ha recibido apoyo financiero del gobierno francés, a través del programa Inversiones del Futuro, administrado por la Agencia Nacional de Investigación bajo la referencia ANR-10-LABX-14-01.

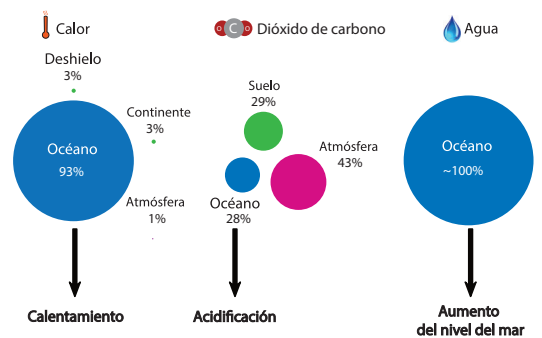
Es producto de la iniciativa "Océanos 2015", un grupo de expertos que reciben el apoyo de la Fundación Príncipe Alberto II de Mónaco, del Centro de Coordinación Internacional sobre la Acidificación de los Océanos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), de la fundación BNP Paribas, y de la Asociación Monegasca para la Acidificación de los Océanos (AMAO).

Institut du développement durable
et des relations internationales
27, rue Saint-Guillaume
75337 Paris cedex 07 France

1. EL OCÉANO INFLUYE CONSIDERABLEMENTE EN EL SISTEMA CLIMÁTICO

El océano en su totalidad (incluidos los mares cerrados) es un *regulador del clima* (figura 1) que (a) ha absorbido el 93 % del calor adicional de la Tierra desde la década de los setenta y, de esa forma, ha ayudado a mantener la atmósfera más fría, (b) ha capturado el 28 % de las emisiones de CO₂ generadas por los humanos desde 1750 y (c) ha recibido prácticamente toda el agua de deshielo. Sin el océano, el cambio climático sería mucho más pronunciado y pondría en riesgo la supervivencia de muchas especies en la Tierra. Sin embargo, toda esta ayuda tiene un precio: el incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera de 278 a 400 ppm durante la era industrial ha provocado numerosos cambios medioambientales en el océano, a saber, su calentamiento, su acidificación, la disminución del oxígeno y el aumento del nivel del mar.

Figura 1. Distribución del calor, el dióxido de carbono y el agua de deshielo en los principales reservorios de la Tierra y sus consecuencias para el océano



Hay datos irrefutables que demuestran que el océano se calentó entre 1971 y 2010, y es muy probable que dicho calentamiento haya empezado antes. Aunque ha ocurrido en todas las profundidades, el calentamiento ha sido más pronunciado en la superficie: durante los últimos cuatro decenios, la temperatura promedio de los 75 m superiores ha aumentado en cerca de 0,11 °C por decenio.

Al mismo tiempo, la absorción de CO₂ por el agua de mar ha provocado una disminución del pH (es decir, un aumento de la acidez), así como de la concentración de iones carbonatos (CO₃²⁻). Se trata de un proceso conocido como *acidificación del océano* que altera muchos organismos y les resta capacidad para formar sus esqueletos y conchas. Asimismo, hay fuertes indicios de que el pH de las aguas superficiales del océano ha disminuido en 0,1 unidades de pH desde el comienzo de la era industrial, lo cual se traduce en un aumento

de 30 % en la acidez del océano en los últimos 250 años.

Por último, el calentamiento del océano (o *dilatación térmica*) y el deshielo en los continentes causado un aumento en el nivel del mar. En efecto, el nivel promedio del mar a nivel mundial subió cerca de 1,7 mm por año entre 1901 y 2010, fenómeno que entre 1993 y 2010 se aceleró a 3,2 mm por año.

2. LAS CONSECUENCIAS YA SON VISIBLES Y EL ESCENARIO FUTURO DEPENDERÁ DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Juntos, el calentamiento y la acidificación del océano, sumados al aumento del nivel de las aguas, generan una cadena de impactos que en última instancia inciden en el bienestar del ser humano. Y las pruebas son claras. En primer lugar, se observan cambios que ya comenzaron a tener serias consecuencias para los organismos y ecosistemas, sobre todo en términos de abundancia, distribución geográfica, presencia de especies invasoras y relación presa-predador. En segundo lugar, varios organismos y ecosistemas corren grandes riesgos de verse afectados antes de 2100 (figura 2), incluso en el escenario de mitigación (RCP2,6).

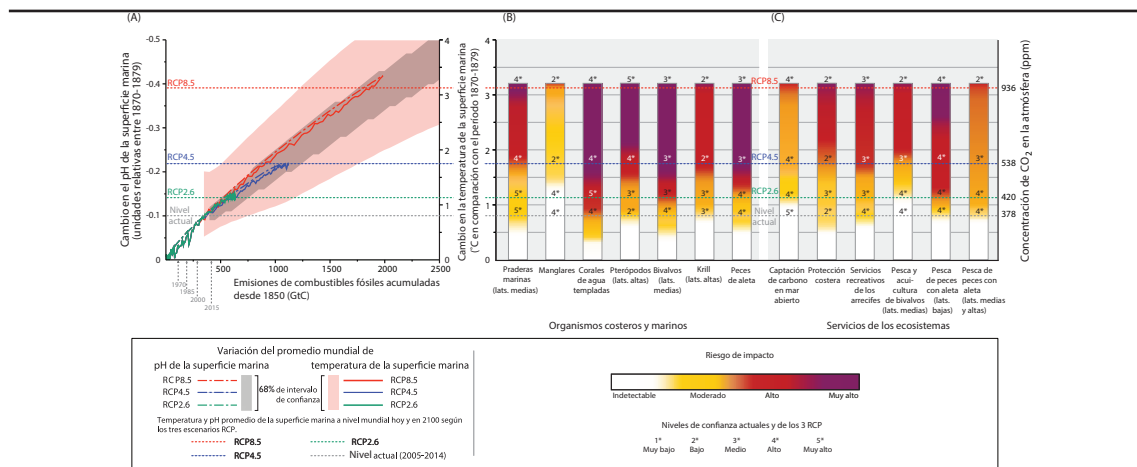
2.1. Propiedades físicas y químicas del océano

Las condiciones futuras del océano dependerán de la cantidad de CO₂ que se emita en los próximos decenios (véase el gráfico A de la figura 2). El escenario de emisiones limitadas (RCP2,6) consiste en menos de una sexta parte de las emisiones previstas para el siglo XXI en caso de que se mantenga la tendencia actual (RCP8,5). De ahí que las condiciones físicas y químicas del océano previstas para 2100 sean considerablemente diferentes entre un escenario y otro.

Desde luego, el océano se calentaría mucho más en el escenario RCP8,5 que en el RCP2,6, puesto que el cambio de temperatura mundial promedio diferiría en un factor cercano a 4 (+2,73 frente a +0,71 °C). La acidez superficial en mar abierto aumentaría un 100 % en el escenario RCP8,5 frente a sólo un 17 % en el caso RCP2,6.

Por último, y aunque el contraste entre ambos escenarios sería menos pronunciado en este caso, el aumento promedio mundial del nivel del mar con respecto a la era preindustrial sería de 0,86 m en el escenario RCP8,5 y de 0,60 m en el escenario RCP2,6. Aun así, esta leve diferencia

Figura 2. Impacto observado y escenarios de riesgo de calentamiento y acidificación del océano para organismos importantes y servicios de los ecosistemas



Fuente: Gattuso *et al.* (2015), reproducido con el permiso de Science.

podría traducirse en graves inundaciones que afectarían a decenas de millones de personas.³

2.2. Organismos y ecosistemas

Aunque los primeros afectados por los cambios en las condiciones del océano son los corales de aguas templadas, las praderas marinas de latitudes medias también están sufriendo las consecuencias de este cambio, al igual que los pterópodos (moluscos de los que se alimentan los salmones y otros peces) y el *krill* de latitudes altas, los bivalvos de latitudes medias (mejillones y ostras) y los peces (véase el gráfico B de la figura 2).

Aun en un escenario de bajas emisiones de CO₂ (RCP2,6), los cambios que padecerá el océano implican grandes riesgos de impacto para los corales de aguas templadas y los bivalvos de latitudes medias, mientras que los demás impactos se mantendrían moderados, aunque no dejarían de ser preocupantes. La situación sería mucho peor si se mantiene la tendencia actual y se concreta el escenario RCP8,5: casi todos los organismos marinos mencionados (corales, pterópodos, peces de aleta y krill) se verían enfrentados a elevados riesgos de impacto, tales como mortandad masiva y desplazamiento de especies. Estos resultados, obtenidos a partir de experimentos, observaciones en terreno y elaboración de modelos, son coherentes con los datos correspondientes a períodos de alta concentración de CO₂ en la evolución geológica, lo cual confiere aún más credibilidad a estas proyecciones.

3. Véanse, por ejemplo, las simulaciones del programa Sea Level Rise de Climate Central para Estados Unidos (<http://www.climatecentral.org/what-we-do/our-programs/sea-level-rise>).

2.3. Servicios de los ecosistemas

La capacidad del océano para absorber CO₂ —un servicio clave de los ecosistemas— disminuirá a medida que aumenten las emisiones: se calcula que la proporción de las emisiones antropogénicas absorbidas por el océano en el siglo XXI caería de un 56 % en un escenario RCP2,6 a un 22 % en el caso RCP8,5. De manera más general, los impactos en los servicios del ecosistema oceánico siguen una trayectoria paralela a la de los impactos en los organismos y ecosistemas, con riesgos de impacto que van de moderados con RCP2,6 a elevados y muy elevados en RCP8,5 (véase el gráfico C de la figura 2).

Si la tendencia actual se mantiene, es muy probable que las actividades pesqueras y de acuicultura, que constituyen una fuente clave de proteínas e ingresos para millones de personas, se vean gravemente afectadas. Y las reacciones en cadena que ello provocaría tendrían consecuencias graves a nivel nacional e internacional. Por ejemplo, la alteración del potencial de pesca en un área determinada probablemente pondría en riesgo los acuerdos internacionales de pesca entre los países afectados, lo que a su vez incidiría en la industria (en términos de rentabilidad, puestos de trabajo, etc.), en los mercados y en los precios en muchos países, así como en la competitividad internacional. En otras palabras, mientras más pronunciados sean los cambios sufridos por los ecosistemas y la productividad del océano, mayor es la amenaza para los acuerdos internacionales vigentes y mayor es el riesgo para la seguridad humana y alimentaria, la geopolítica y el desarrollo a nivel mundial.

Asimismo, el riesgo de impacto sobre los servicios del ecosistema, como la protección costera

(garantizada, por ejemplo, por los arrecifes de corales y manglares) sería elevado o muy elevado en 2100, lo cual exacerbaría los riesgos de inundaciones en áreas de litoral bajo.

El efecto del calentamiento, la disminución del oxígeno y la acidificación del océano en los ecosistemas marinos tendrán consecuencias acumulativas o sinérgicas con otros cambios provocados por los humanos, como la sobreexplotación de los recursos biológicos y la destrucción y contaminación del hábitat. Por otro lado, considerando la magnitud de los cambios previstos, ningún país estará a salvo, lo cual significa que se trata de un problema mundial y pone de manifiesto la importancia de que la comunidad internacional lleve a cabo negociaciones sobre el clima para no seguir avanzando hacia un futuro insostenible.

3. LAS OPCIONES PARA EVITAR O PALIAR LOS RIESGOS DISMINUYEN Y PIERDEN EFICACIA A MEDIDA QUE AUMENTAN LAS CONCENTRACIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Hay varias opciones para hacer frente a los riesgos de impacto sobre el océano, y algunas de ellas ya han dado resultados positivos. Pueden clasificarse en cuatro categorías: mitigación de las emisiones de CO₂; protección de los sistemas marinos y costeros de factores de perturbación no climáticos (con la delimitación de áreas protegidas o la regulación de la explotación de recursos naturales, por ejemplo); reparación de los ecosistemas que ya han sufrido daños (mediante un seguimiento de la evolución de los arrecifes o el cultivo de corales); y adaptación (diversificación de las actividades económicas y zonas de exclusión costera). No obstante, las opciones y su eficacia disminuyen a medida que aumentan la temperatura y la acidez del océano. En otras palabras, además de tener efectos negativos directos en una serie de ecosistemas y servicios, distanciarnos del escenario de +2 °C también limitará el rango de políticas que podrán adoptarse para hacer frente a dichos efectos. Por ejemplo, no habrá forma de gestionar la resiliencia de los arrecifes cuando ya no queden corales sanos. Asimismo, a medida que

aumenten los daños a los ecosistemas costeros, las medidas de reparación se volverán más costosas, requerirán más trabajo y tendrán menos posibilidades de éxito, lo cual no hará más que agravar las consecuencias para los seres humanos.

4. URGE UNA REDUCCIÓN INMEDIATA Y CONSIDERABLE DE LAS EMISIONES DE CO₂

De los tres apartados anteriores se desprende un cuarto mensaje clave: urge una reducción inmediata y considerable de las emisiones de CO₂ para prevenir los impactos masivos e irreversibles que sufrirían los ecosistemas oceánicos y sus servicios si las emisiones superan el umbral del escenario RCP2,6. Según los datos científicos, el escenario de mayor mitigación (RCP2,6) tampoco garantizaría condiciones oceánicas ideales, pues también habría impactos de gran magnitud. Esto significa que el escenario RCP2,6 no es más que el umbral máximo aceptable para cualquier acuerdo mundial sobre cambio climático que busque cumplir con la meta fundamental de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) de impedir «interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático (...) en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible» (Naciones Unidas, 1992).

Sin embargo, en las negociaciones internacionales sobre cambio climático conducidas bajo el alero de la CMNUCC se ha puesto muy poca atención a los impactos de las emisiones de gases de efecto invernadero en el océano, así como al potencial del océano para aportar soluciones que ayuden a perseguir metas globales a largo plazo a través de medidas de adaptación y mitigación del cambio climático. Considerando los avances recientes en materia de conocimiento científico, creemos que la COP21 representa una oportunidad clave para enfrentar el desafío de incorporar de forma más adecuada los problemas importantes relacionados con el océano al régimen climático internacional post-2015. Los diferentes escenarios descritos recientemente y resumidos en el presente *Policy Brief* demuestran que el océano aporta argumentos entusiastas a favor de un plan ambicioso de reducción inmediata de las emisiones de CO₂. Así, cualquier acuerdo sobre cambio climático que no contribuya considerablemente a minimizar los impactos en el océano será incompleto e inadecuado. ■

Agradecimientos

AKM agradece el apoyo de la Agencia Nacional de Investigación de Francia (proyecto CapAdapt, ANR-2011-JSH1-004 01). RB cuenta con el respaldo del proyecto RESCCUE, financiado por la Agencia Francesa de Desarrollo y el Fondo Francés para el Medioambiente Mundial (AFD CZZ 1647 01 F y FFEM CZZ 1667 01 H). CT agradece el apoyo del programa de investigación Programa Británico de Investigación sobre la Acidificación del Océano (UKOA), financiado por el Consejo Investigación sobre Medioambiente Natural (NERC), el Departamento de Asuntos Medioambientales, Alimentarios y Rurales (Defra) y el Departamento de Energía y Cambio Climático (DECC). HOP agradece el apoyo del programa alemán Bioacid. Las opiniones vertidas en el presente documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no constituyen una declaración sobre las políticas, decisiones o posiciones del Gobierno francés, de la Secretaría de la Comunidad del Pacífico, ni de la International Atomic Energy Agency.