

Una guía introductoria especial para asesores y gestores

Los numerosos manifiestos científicos que se han realizado sobre acidificación oceánica coinciden en señalar que están ocurriendo cambios rápidos y sin precedentes.

Esta guía introductoria ha sido escrita especialmente para asesores y gestores de políticas públicas de todo el mundo y es una llamada de atención sobre el doble impacto que el cambio climático y la acidificación oceánica, causados por el aumento de los niveles de dióxido de carbono, están provocando en nuestros mares. Se explican los hechos básicos de la alarmante y progresiva acidificación oceánica que amenaza nuestros ecosistemas marinos. El registro geológico de la Tierra indica que episodios previos de acidificación oceánica estuvieron asociados a extinciones masivas de algunas especies, por lo que es razonable suponer que el episodio actual podría tener las mismas consecuencias. Hay pocas dudas de que el océano está experimentando grandes cambios que ocasionarán impactos en muchas vidas humanas, a menos que actuemos de modo rápido y expeditivo.



UNA VISIÓN RÁPIDA DE LOS HECHOS ...

- Actualmente, el océano absorbe cada año aproximadamente el 25% del dióxido de carbono (CO₂) que emitimos.
- Se ha estimado que este “servicio” oceánico oculto representa un subsidio a la economía global de 60000-400000 millones de dólares (EEUU) por año.¹
- El aumento del volumen y de la tasa de aporte de nuestras emisiones de CO₂ afecta progresivamente el sistema oceánico y está causando un aumento de la acidez del agua- este fenómeno se llama “acidificación oceánica”.
- La acidez oceánica ha aumentado un 30% desde el comienzo de la Revolución Industrial y la tasa de acidificación se acelerará en las próximas décadas. De acuerdo con nuestros conocimientos actuales, esta tasa de cambio es mucho más rápida que cualquiera de las experimentadas previamente en los últimos 55 millones de años.
- Numerosos animales y plantas marinos tienen esqueletos o conchas de carbonato cálcico. Algunos son especialmente sensibles a pequeños cambios de acidez y parece que algunos ya están siendo afectados. Muchas de estas especies sensibles tienen, directa o indirectamente, gran importancia cultural, económica o biológica como productores primarios, constructores de arrecifes, etc.
- El impacto de la acidificación oceánica sobre las especies y redes tróficas marinas afectará muchos intereses económicos y podría poner en riesgo la seguridad alimentaria, particularmente en regiones que dependen especialmente de las proteínas de pescados y mariscos.
- La acidificación oceánica puede destruir ecosistemas valiosos- se puede predecir que si los niveles de CO₂ atmosféricos continúan creciendo al ritmo esperado, hacia 2050, las condiciones ecológicas serán sólo marginalmente tolerables para el desarrollo de los arrecifes de coral de aguas cálidas, lo que probablemente conllevaría la extinción de algunas especies. Hacia 2100, el 70% de los corales de aguas frías se verían expuestos a aguas corrosivas.
- El impacto de la acidificación oceánica sobre los arrecifes coralinos comprometerá la seguridad de zonas bajas que actualmente están protegidas de la erosión e inundaciones por estos ecosistemas.
- Para reducir el avance de la acidificación oceánica y del cambio climático global será necesario que se implementen reducciones significativas e inmediatas de las emisiones de CO₂, de modo que se estabilicen e idealmente disminuyan los niveles de CO₂ atmosféricos

¹ Este cálculo supone un coste teórico de reemplazamiento basado en el secuestro de 2 Gt C por año, a un precio futuro esperado de los créditos de carbono de 30-200 dólares (EEUU) por tonelada de CO₂.

Los hechos básicos – Qué se necesita saber realmente sobre la acidificación oceánica...

¿Qué es la acidificación oceánica? ¿Por qué es importante?

El océano absorbe alrededor del 25% del CO₂ atmosférico derivado de la quema de combustibles fósiles y de los cambios de utilización del suelo, y este CO₂ se disuelve en agua de mar para formar ácido carbónico. Debido a que hemos emitido cada vez más CO₂ a la atmósfera, el océano ha absorbido cantidades cada vez mayores y a velocidades más rápidas. Este proceso está alterando la capacidad del sistema de ajustarse a los cambios de CO₂ que ocurren naturalmente a lo largo de milenios, está alterando perceptiblemente la química de los mares, y causando una progresiva acidificación.

Desde el principio de la Revolución industrial, hace 250 años, la acidez del agua de mar ha aumentado en un 30%. La elevación de la acidez disminuye la situación natural básica o alcalina del océano y fuerza el equilibrio ácido-base del agua de mar hacia el lado ácido. Si, como se preve, este proceso se acelera durante las cuatro próximas décadas, el consiguiente aumento de la acidez del océano será mayor que cualquiera de los ocurridos en los últimos 21 millones de años. Las proyecciones de futuro indican que para 2060 la acidez de la agua de mar podría aumentar en un 120%. De acuerdo con nuestros conocimientos actuales, la tasa actual de cambio es mucho más rápida que cualquiera de las experimentadas previamente en los últimos 55 millones de años.

Muchos de los animales y de las plantas del océano tienen esqueletos o conchas de carbonato de calcio. Algunos de estos organismos, como el plancton microscópico que forma la base de la cadena alimentaria, los crustáceos y moluscos que utilizamos cotidianamente en nuestras dietas, e incluso las algas incrustantes que cementan los arrecifes de coral, secretan una forma de carbonato de calcio (aragonito) que se podría disolver fácilmente si los mares continúan volviéndose más ácidos. Un cambio hacia condiciones más ácidas reducirá la capacidad de tales especies para formar sus conchas. Por ahora, damos por supuesta la existencia de estas plantas y animales, pero la acidificación oceánica puede amenazarla.

El océano no sólo nos provee de comida, sino que nos sostiene indirectamente de muchas otras maneras; el aire que respiramos depende en gran parte de la producción de oxígeno por un océano sano, y la producción en las capas superficiales de los mares estimula la formación de nubes que ayudan a sombrear el planeta. El océano proporciona aproximadamente la mitad de la productividad de la tierra y la humanidad se beneficia de ello con sus pesquerías de peces y moluscos. La acidificación oceánica nos está llevando a un viaje desconocido y sólo tenemos solamente algunas intuiciones iniciales sobre cuántos de estos procesos esenciales se afectarán.

El alga calcificadora *Calcidiscus leptoporus* – estas diminutas células, de unos 0.01 mm de diámetro cada una, representan un componente clave de la base de la red trófica marina. Inset: *Calcidiscus leptoporus* después de exposición experimental a 700 ppm de CO₂, la concentración de este gas proyectada para el año 2100.

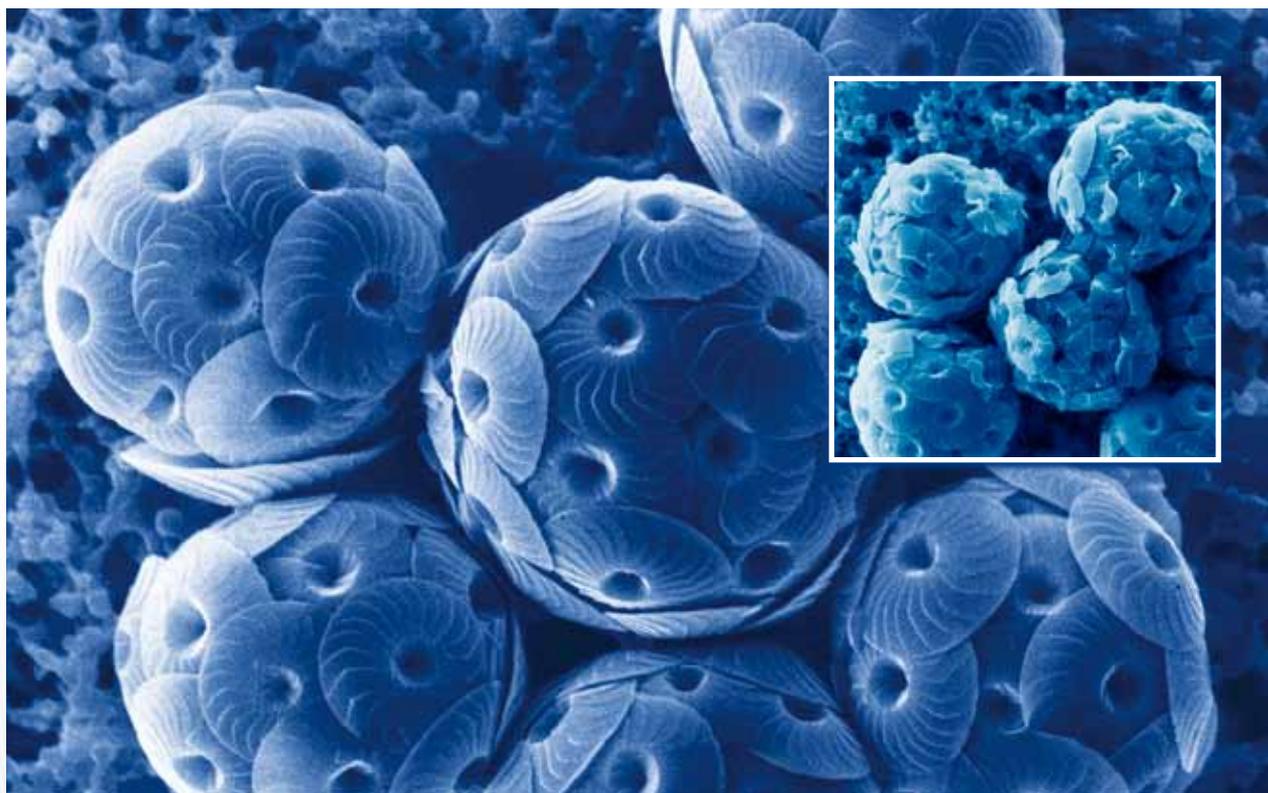


Photo © Ulf Riebesell / IMA-GEOMAR

¿Impactos económicos?

El agua profunda del océano es naturalmente más ácida que la más superficial. Uno de los impactos de los efectos combinados del afloramiento y la acidificación marina a lo largo de la costa occidental de América del Norte es que estos procesos pueden acelerar el movimiento de aguas "acidificadas" corrosivas hacia la plataforma continental, con impactos potenciales sobre hábitats más superficiales y especies marinas más cercanas a la costa.

En 2007, se constató que, en la costa oeste de los Estados Unidos, estas aguas naturalmente más ácidas se extendieron hacia la costa, lo que podría plantear riesgos a las explotaciones de bivalvos de esta zona.

Junto a este descubrimiento, y desde 2005, ha habido un progresivo descenso en la industria ostreícola de la región del Pacífico del noroeste de los EEUU, que mueve anualmente unos 111 millones de dólares (EEUU), porque año tras año ha fallado la supervivencia de las larvas. Ahora, cuando la industria de la ostra se enfrenta con el quinto verano de su mayor crisis en muchas décadas, los científicos están pensando en una teoría perturbadora. Sospechan que el agua de mar naturalmente ácida que asciende de las profundidades del Océano Pacífico está ahora siendo bombeada hacia los criaderos de la costa – y puede ser suficientemente corrosiva para matar a las larvas de ostra.

En 2007, las pesquerías de moluscos representaron por sí solas 748 millones de dólares (el 19%) de los ingresos nacionales de los EEUU a pie de barco. Las



Photo © Dan Laffoley

pérdidas de la industria pesquera por la acidificación oceánica producirían pérdidas de trabajo en industrias relacionadas, a través de acoplamientos económicos que son actualmente difíciles de cuantificar. Sin embargo, está claro que las pérdidas económicas secundarias que seguirían a la disminución de las capturas de la industria pesquera se concentrarían en regiones específicas, muchas de las cuales tienen menor capacidad de resistencia económica para soportar la pérdida de ingresos pesqueros.

Referencia: <http://oceanacidification.wordpress.com/2009/06/15/oysters-in-deep-trouble/>

<http://www.iop.org/EJ/abstract/1748-9326/4/2/024007/>

¿Qué está sucediendo ahora?

Durante los pasados 250 años ha habido una tendencia constante hacia un aumento de la acidez de las aguas superficiales del océano. La acidificación oceánica no es un problema de química marina teórica. La tendencia hacia condiciones más ácidas se está observando ya en mar abierto y ha sido registrada con exactitud creciente en estos últimos años. Las predicciones indican que, en las próximas dos o tres décadas, los mayores cambios hacia condiciones más ácidas ocurrirán en las aguas marinas de las latitudes altas. También la acidez del agua profunda que aflora en algunas áreas es exacerbada por la acidificación oceánica, de modo que el agua aflorada corrosiva afecta ahora a hábitats marinos más superficiales y a especies más cercanas a la costa.

¿Qué podría suceder en el futuro?

La acidificación oceánica no sólo está disminuyendo progresivamente la capacidad de muchos organismos de construir sus conchas, sino que también afectará progresivamente a la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. La acidificación oceánica podría disparar una reacción de impactos en cadena a través de la red trófica marina, comenzando con las larvas de peces y crustáceos, que son particularmente vulnerables. Esto afectará a una industria pesquera de muchos miles de millones de dólares y amenazará a la seguridad alimentaria de muchas de las personas más pobres del mundo. La mayoría de las regiones del océano se volverán inhóspitas para los arrecifes de coral, lo que afectará la seguridad

alimentaria, el turismo, la protección de la línea de costa y la biodiversidad.

Con el aumento de la acidez y de la temperatura del mar, la capacidad del océano de absorber el CO₂ atmosférico se reducirá, con lo que se incrementará la rapidez del cambio climático. El ritmo con el que se acidifica nuestro océano depende de la velocidad a la cual emitimos CO₂ a la atmósfera. Cuanto más tempranas y más intensas

El coral de agua fría *Lophelia pertusa* con un camarón que vive entre sus ramas



Photo © Amin Form, IFM-CFOMAR

sean las reducciones, más probable es que se pueda estabilizar y, en última instancia, invertir la situación. Pero algunos cambios son inevitables, y los impactos se notarán primeramente en los océanos Ártico y Antártico, donde los cambios, observados y previstos, de la química oceánica con respecto a las condiciones preindustriales serán los más importantes.

¿En qué se diferencia la acidificación oceánica del cambio climático?

El cambio climático es la consecuencia de una serie de gases de efecto invernadero que hacen que la tierra absorba más energía solar, mientras que la acidificación marina es causada solamente por los crecientes niveles de CO₂ atmosférico que se disuelven en el océano. Mientras que existe un cierto grado de incertidumbre sobre los impactos que ocurrirán como resultado de cambio de clima, los cambios químicos que están ocurriendo en el océano son seguros y predictibles. El proceso de disolución del CO₂ en agua de mar para formar ácido carbónico es en gran parte independiente del cambio climático, aunque la temperatura cada vez mayor de la agua de mar reduce la solubilidad del CO₂. La reducción de las concentraciones de otros gases de efecto invernadero no tendrá ningún efecto sobre la acidificación oceánica. La mitigación de la acidificación marina puede requerir objetivos distintos de los de la mitigación del cambio climático, ya que los efectos pueden ocurrir a umbrales distintos de los que actúan en la atmósfera.

Del mismo modo, las propuestas de geo-ingeniería de alterar el balance de radiación de la atmósfera y hacer que refleje más, poniendo partículas de sulfato en los niveles atmosféricos superiores, no tendrán ningún impacto en las concentraciones atmosféricas de CO₂ y no ayudarán a aliviar la acidificación oceánica.

¿Qué podemos hacer?

Ahora es el momento de actuar para reducir la acidificación oceánica y el tratamiento debe ser la reducción del rápido aumento del CO₂ atmosférico y la limitación de los niveles futuros. La acidificación oceánica ocurrirá paso a paso. Actualmente, los impactos son relativamente pequeños, pero el ritmo de cambio está acelerando. Además, hay un retraso entre la emisión de CO₂ y la consecución de un estado de equilibrio, con lo que suponiendo que consigamos reducir en lugar de parar (esto es inverosímil) las emisiones de CO₂ – la acidez marina aumentará durante algunos años. Esta propiedad del sistema hace que sea particularmente importante que se hagan disminuir pronto las emisiones y penaliza el retraso en la realización de reducciones significativas. Mientras que tanto la acidificación como el cambio climático afectarán todas nuestras vidas, la primera añade considerable peso al razonamiento de que debemos hacer recortes inmediatos y significativos de las emisiones de CO₂.

La acidificación marina debe ser reconocida como lo que es: un desafío global de una escala sin precedentes y de una importancia tal que se requiere acción inmediata para parar la tendencia al aumento de la acidificación.

¿Aumentando el volumen de sonido?

Un océano futuro afectado por la acidificación puede ser un lugar más ruidoso para mamíferos marinos tales como ballenas y delfines. Hace décadas que los químicos marinos saben que la absorción del sonido por el agua de mar cambia con la química del agua. Cuando el sonido se mueve a través del agua de mar, hace vibrar grupos de átomos, que absorben sonidos en frecuencias específicas. Este fenómeno implica diversas interacciones químicas que no se entienden totalmente. Sin embargo el efecto global es controlado fuertemente por la acidez del agua de mar: cuanto más ácida es el agua, menos frecuencias de sonido bajas y medianas se absorben.

Así, a medida que los océanos se hagan más ácidos, los sonidos viajarán más lejos por debajo del agua, particularmente, al parecer, aquellos sonidos de frecuencias por debajo de unos 3,000 ciclos por segundo (dos octavas y media por encima del do central de un piano). Esta gama de sonidos incluye la mayor parte de los sonidos de baja frecuencia usados por los mamíferos marinos para encontrar alimento y compañeros. También incluye muchos de los sonidos subacuáticos generados por actividad industrial y militar, así como por embarcaciones y buques. Este ruido subacuático antropogénico ha aumentado mucho durante los pasados 50 años, a medida que las actividades humanas en el océano se han incrementado.

Las investigaciones sugieren que, en el océano, el sonido puede estar viajando ya un 10% más lejos de



Photo © Reinhard Dieckhoff/IFRA

lo que ocurría hace algunos centenares de años. Sin embargo, en base a proyecciones conservadoras de la acidificación oceánica, se puede predecir que antes de 2050, los sonidos podrían viajar hasta un 70% más lejos en algunas áreas del océano (particularmente en el Océano Atlántico). Esto podría mejorar espectacularmente la capacidad de los mamíferos marinos de comunicarse a través de distancias largas. Podría también aumentar la cantidad de ruido de fondo con la cual tienen que vivir.

Referencia: Hester, K.C., E. T. Peltzer, W. J. Kirkwood, and P. G. Brewer (2008). Unanticipated consequences of ocean acidification: A noisier ocean at lower pH. *Geophysical Research Letters*, 35L19601. DOI:10.1029/2008GL034913

See also http://www.mbari.org/news/news_releases/2008/co2-sound/co2-sound-release.html

¿Impactos más amplios sobre el océano?

Los impactos de la acidificación oceánica pueden tener consecuencias mucho más profundas para la vida del océano que las de afectar la capacidad de los organismos de construir conchas del carbonato de calcio, o la supervivencia de las sensibles etapas larvales de ciertas especies.

Estamos solamente en los inicios de una reflexión sobre las consecuencias de estos impactos más complejos sobre (la?) química del mar. Un campo especialmente interesante es el de los nutrientes biogénicos, tales como nitrógeno, fosfatos, sílice y hierro, que limitan a menudo el crecimiento del plancton en grandes áreas del océano. Un aumento de la acidez del agua podría, por lo menos en teoría, reducir su disponibilidad. También los cambios en la estratificación marina, derivados del calentamiento debido al cambio climático, podrían alterar esta disponibilidad. Estos cambios pueden a su vez afectar a la producción primaria. Es posible que los productores primarios que hacen funcionar las cadenas tróficas marinas puedan tener diversas respuestas a estas condiciones cambiantes, posiblemente alterando o influenciando las cadenas tróficas que dependen de ellos.



Photo © Marcus Shiley/Plymouth Culture Collection

Se necesitará bastante investigación y nuevos resultados antes de que tengamos más claro cómo cambiará la química oceánica en el futuro, y lo que esto puede significar para las especies y ecosistemas marinos, y los beneficios que nosotros recibimos de este ambiente global.

Referencia: Turley, C.M. and H. A. Findlay (2009). Ocean acidification as an indicator for climate change. In: *Climate and Global Change: observed impacts on Planet Earth* (ed. T. M. Letcher), Elsevier, Oxford, U.K.

No hay soluciones prácticas para poner remedio a la acidificación oceánica una vez que ésta ha ocurrido y puede ser que tengamos que confiar en que la naturaleza siga su curso. Éste será inevitablemente un proceso de recuperación a largo plazo y se podrían necesitar más de 10000 años para que el sistema carbonato de los océanos retorne a su situación de equilibrio; posiblemente, la recuperación biológica tardaría aún más tiempo. La solución está solamente en la estabilización de las concentraciones atmosféricas del CO₂ mediante una reducción real, sostenida y sustancial de las emisiones, mediante recortes de lo que emitimos y mediante una tecnología que retire activamente CO₂ de la circulación.

Además de una actuación global sobre las emisiones, hay toda una gama de medidas regionales y locales que se deben emprender para sostener y para recuperar la salud del océano, de modo que estemos en la mejor posición posible para superar algunos de los cambios que traerá la acidificación oceánica. Es probable que la severidad de los impactos de la acidificación marina dependa en parte de la interacción de la acidificación con otras presiones ambientales, tales como el aumento de la temperatura del agua, la sobrepesca y la contaminación procedente de tierra. Necesitamos identificar las regiones del océano que parezcan más resistentes a la acidificación. Necesitamos asegurar, mediante adecuadas medidas de protección y gestión, que se mantenga o recupere la resistencia de tales áreas, con el fin de crear futuros refugios. De modo parecido, necesitamos encontrar cómo aumentar la resistencia de los ecosistemas de amplias áreas del océano, para que puedan soportar las presiones que les impondrá la acidificación y se recuperen rápidamente.

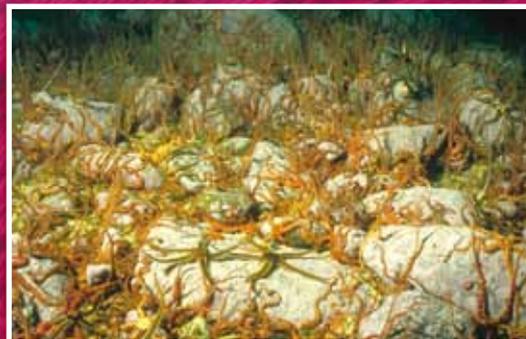


Photo © Keith Hiseck/SNH/NCC

¿Los eslabones más débiles?

El mejor pero menos conocido sistema de reciclaje del mundo es el océano. Sin ser vistas, marea después de marea, y año tras año, una multitud de especies que vive oculta en el fondo del mar asegura que los nutrientes necesarios para la vida sean liberados de nuevo al agua para sostener el plancton que está en la base de la productividad y la vida del océano. Estas especies ocultas que reciclan son bacterias ayudadas en su trabajo por moluscos, gusanos, camarones perforadores y diversos erizos y equinodermos.

La investigación sigue en curso, pero parece que la acidificación oceánica podría debilitar las interacciones en los sistemas marinos. Entre los organismos que ayudan al proceso de reciclaje están los ofiúridos, que viven en el fondo del mar, agitando sus brazos en las corrientes del agua para capturar el alimento que pasa. La acidificación puede afectar a estos organismos de varias maneras. Cuando las larvas de ciertas especies de ofiúrido se exponen a una agua de mar levemente más ácida de lo habitual, parece que pueden ocurrir mortalidades masivas. Cuando se hace el mismo experimento con los adultos, parece que los ofiúridos tienen que trabajar más para producir su espinoso esqueleto del carbonato de calcio, y como consecuencia tienen menos energía disponible para producir músculos en sus ocho brazos de hecho parece ocurrir una reducción de la masa muscular.

Referencia: <http://oceanacidification.wordpress.com/2008/12/24/near-future-level-of-co2-driven-ocean-acidification-radically-affects-larval-survival-and-development-in-the-brittlestar-ophiothrix-fragilis/>

<http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/275/1644/1767.abstract>

Un problema global – nuestro cambiante mundo oceánico...



Photo © Russ Hopcroft/UAF

Golpea alto, golpea duro

Los fríos océanos polares están entre los más productivos del planeta. Hacia la base de la cadena trófica se encuentran multitud de pequeños caracoles nadadores llamados pterópodos, que utilizan su pie modificado para nadar a través de las aguas oceánicas. En última instancia, toda la vida depende de plantas y animales microscópicos como éstos, ya que los animales más grandes que nos son más familiares se alimentan de especies más pequeñas, menos conocidas.

Como el agua fría puede absorber más CO₂ que el agua cálida, la acidificación oceánica golpea las regiones polares más pronto y más duramente. La creciente acidificación se puede medir ya en las aguas de estas regiones y las respuestas biológicas son ya perceptibles (Moy *et al.*, 2009). Los Pterópodos y otros calcificadores planctónicos pueden ser particularmente susceptibles a los aumentos de acidez. Algunos experimentos han demostrado que sus conchas, que los protegen contra pequeños depredadores y actúan como lastre para sus migraciones verticales diarias, crecen más lentamente en aguas más ácidas (Comeau *et al.*, 2009) y parecen ser fácilmente afectadas por picaduras, raspaduras y disolución parcial cuando son colocadas en agua de mar acidificada (Orr *et al.*, 2005). Se desconoce el nivel del impacto de la acidificación oceánica sobre estos importantes soportes de la vida en nuestras frías aguas oceánicas, pero puede ser considerable e incrementarse a medida que tales cambios se transmitan a través de las cadenas alimentarias de estos ecosistemas tan sensibles.

Referencia: Comeau, S., G. Gorsky, R. Jeffree, J. L. Teysse and J.-P. Gattuso (2009). Impact of ocean acidification on a key Arctic pelagic mollusc (*Limacina helicina*). *Biogeosciences*, 6, 1877-1882

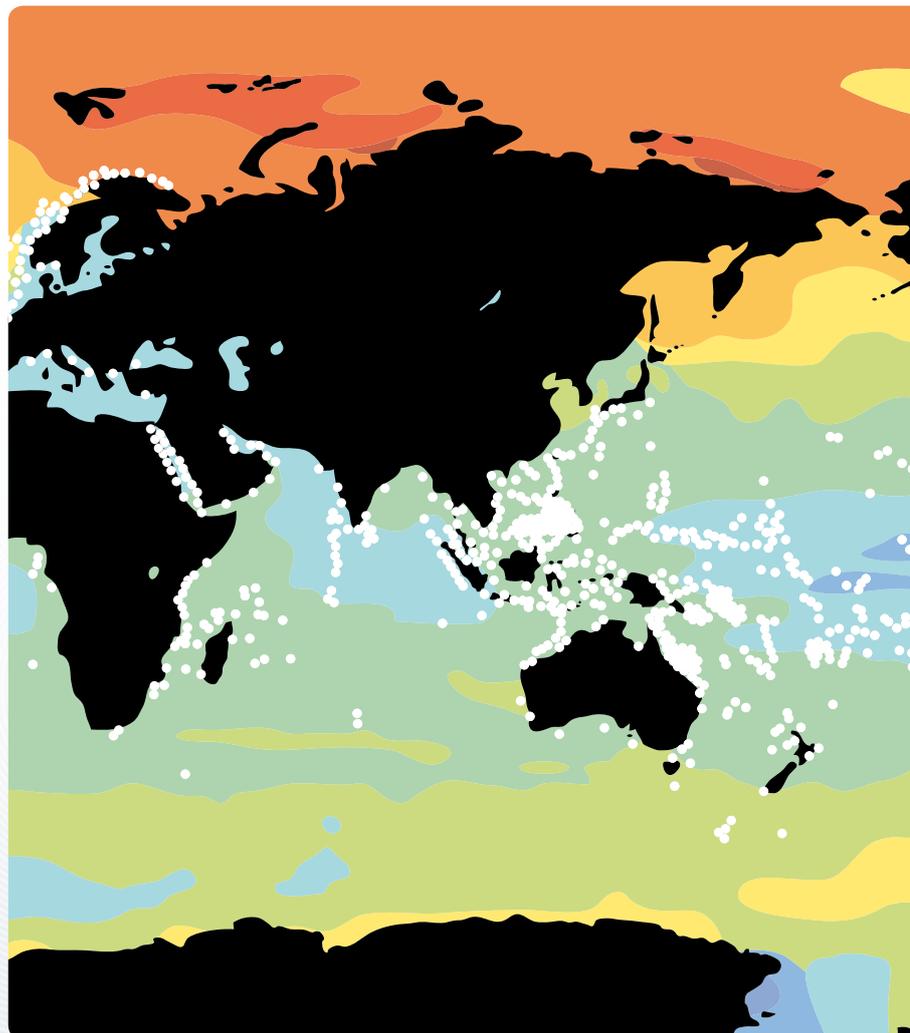
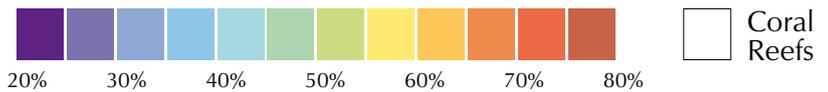
Moy, A.D., W.R. Howard, S.G. Bray and T.W. Trull (2009). The reduced calcification in modern Southern Ocean planktonic foraminifera. *Nature Geoscience*, 2, 276-280. DOI: 10.1038/ngeo460

Orr, J.C., V.J. Fabry, O. Aumont, L. Bopp, S.C. Doney, R.A. Feely, A. Gnanadesikan, N. Gruber, A. Ishida, F. Joos, *et al.* (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437 (7059), 681-686

Al tiempo que continúan nuestras emisiones, persiste nuestro impacto sobre el sistema que el océano utiliza para absorber las crecientes cantidades de CO₂ atmosférico. Debido a las complejidades del océano y de su química, las consecuencias no serán sencillas. Los impactos de la acidificación marina variarán en la intensidad y en el tiempo, y serán las regiones polares las que antes experimentarán los mayores cambios relativos. Los impactos de la acidificación oceánica también actuarán conjuntamente con otros efectos del cambio climático, y con la reducción de la resistencia al cambio causada por las consecuencias de nuestro uso y abuso de los mares. Los efectos resultantes afectarán todo el océano – el corazón azul que cubre el 70% de la superficie de la Tierra.

Este mapa muestra el porcentaje de disminución de la saturación de aragonito desde 1865 a 2095 en un escenario de emisiones de CO₂ sin variaciones con respecto a la situación actual. Los mayores cambios relativos se encuentran en las altas latitudes septentrionales y meridionales, donde las aguas son más frías y absorben más CO₂ de la atmósfera.

Percentage decrease in Ω_{ar} 1865 to 2095



¡Nemo - perdido en el mar?!

Raramente nos damos cuenta de que las propias características de nuestro océano son moduladas por la capacidad de juveniles de diversas especies, lanzados a las corrientes del océano, para encontrar el camino de regreso a los hábitats ocupados por su especie - hábitats convenientes a los que puedan llamar su casa!

Los juveniles de muchas especies encuentran hábitats adecuados detectando sustancias químicas en el agua de mar (señales olfativas) donde viven los adultos de la especie. Por ejemplo, el pez payaso, conocido por muchos espectadores como Nemo, encuentra el camino hacia su anémona preferida detectando estas señales olfativas. Estas percepciones pueden perturbarse cuando aumenta la acidez del agua marina, lo que da lugar a confusión e incluso provoca que los organismos sean atraídos a cosas que habían evitado previamente (Munday *et al.*, 2009). Experimentos con niveles más extremos de acidificación del agua de mar muestran que las señales olfativas se pierden totalmente.

Referencia: <http://www.pnas.org/content/106/6/1848>

Munday, P.L., D.L. Dixon, J.M. Donelson, G.P. Jones, M.S. Pratchett, G.V. Devitsina and K.B. Døving (2009). Ocean acidification impairs olfactory discrimination and homing ability of a marine fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(6), 1848-1852 doi:10.1073/pnas.0809996106



Photo © Dan Laffoley



Photo © Dan Laffoley/UCN

¿Paraíso perdido?

Los arrecifes de coral son los hábitats con más diversidad biológica de la Tierra y proporcionan alimento, recursos y protección costera a centenares de millones de personas. Se encuentran bajo la continua y significativa amenaza del cambio climático, que está llevando las temperaturas marinas a valores más altos que los que los corales pueden resistir (lo que causa el blanqueo de los corales), un fenómeno que se añade a la creciente acidificación oceánica. Los corales de la Gran Barrera de Coral han reducido ya sus tasas de calcificación, probablemente en respuesta a la combinación de los impactos de la acidificación y el calentamiento (De'Ath *et al.*, 2009).

Los corales han poblado los océanos tropicales del mundo durante más de 200 millones de años. Si los niveles atmosféricos del CO₂ continúan subiendo según lo predicho, hacia 2050 las condiciones de vida para los arrecifes de coral de aguas cálidas serán marginales (e.g. Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007). Podemos esperar extinciones de ciertas especies. Hacia 2100, el 70% de los corales de agua fría podría estar expuesto a aguas corrosivas (Guinotte *et al.*, 2006) que pueden alterar estos importantes ecosistemas.

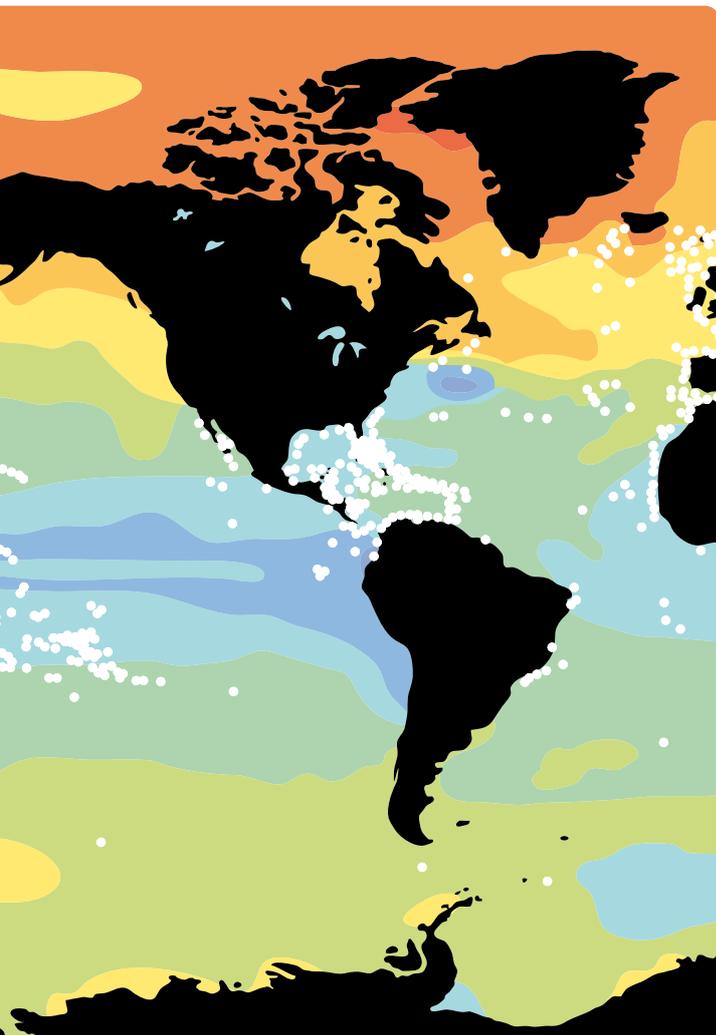
Referencia: <http://www.zsl.org/science/news/coral-reefs-exposed-to-imminent-destruction-from-climate-change,605,NS.html>

<http://www.wwnorton.com/cgi-bin/ceilidh.exe/pob/forum/?C350e5a913KHc-7127-411-90.htm>

De'Ath, G., J.M. Lough and K.E. Sabricus (2009). Declining coral calcification on the Great Barrier Reef. *Science*, 323,116-119 doi:10.1126/science.1165283

Guinotte, J.M., J. Orr, S. Cairns, A. Freiwald, L. Morgan and R. George (2006). Will human induced changes in seawater chemistry alter the distribution of deepsea scleractinian corals? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(3), 141-146

Hoegh-Guldberg, O., P.J. Mumby, A.J. Hooten, R.S. Steneck, *et al.* (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318(5857), 1737-1742 doi:10.1126/science.1152509



Muchas preguntas, pocas respuestas, poco tiempo para actuar...

Desde que la acidificación oceánica fue ampliamente reconocida en 2005, tras la publicación de un informe de la Royal Society, ha habido una expansión sin precedentes de la investigación sobre este problema, así como muchas demandas de acción urgente por parte de los principales científicos, organizaciones e instituciones mundiales.

Qué dicen los científicos

La amplitud y profundidad de la preocupación sobre la acidificación oceánica se reflejan en una sorprendente y creciente variedad de declaraciones de consenso científico, algunas de las cuales se mencionan más abajo.

- 2005: Royal Society: Acidificación oceánica debida al aumento del dióxido de carbono atmosférico.
- 2006: El Consejo Asesor Alemán sobre Cambio Global publicó: *Los océanos futuros - Clentándose, Aumentando de nivel, Agriándose*.
- 2007: Recomendaciones de la Iniciativa Internacional de Arrecifes de Coral sobre la acidificación y los arrecifes de coral.
- 2007: 4ª AR (Informe de Evaluación) del IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático) sobre Cambio de Climático: El IPCC reconoce la amenaza inmediata y futura de la acidificación oceánica sobre los ecosistemas marinos.
- Junio de 2008: *Análisis de posición: Emisiones de CO₂ y cambio climático: Impactos sobre el océano y problemas de adaptación*. El clima y los ecosistemas antárticos australianos – Cooperative Research Center (Centro de Investigación Cooperativo).
- Agosto de 2008: La declaración de Honolulu sobre Acidificación oceánica y Gestión de los Arrecifes. Preparado por el TNC (The Nature Conservancy) y publicado por la IUCN (International Union for the Conservation of Nature; en castellano: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza).
- Diciembre de 2008: *Declaración de posición de la Unión Europea de Ciencias de la Tierra (European Geosciences Union) respecto de la acidificación oceánica*.
- Enero de 2009: Declaración de Mónaco.
- Junio de 2009: Declaración del Panel Inter-Académico (Inter Academy Panel) sobre la acidificación oceánica.
- Junio de 2009: Fundación Europea de la Ciencia – *Informe de Política Científica sobre los Impactos de la Acidificación Oceánica*.
- Junio de 2009: Informe de síntesis de la Conferencia sobre Cambio Climático: *Riesgos, Desafíos y Decisiones globales*. Preparado después del Congreso sobre Cambio Climático de 10-12 de marzo de 2009.
- Julio de 2009: *Resumen para políticos y gestores del Segundo Simposio sobre El Océano en un Mundo con Alto CO₂ (The Ocean in a High-CO₂ World)*.
- Julio de 2009: Declaración de la Sociedad Zoológica de Londres, el Programa Internacional sobre el estado del Océano (IPSO) y la Royal Society *Sobre el futuro de los arrecifes de coral*.



Photo © US National Oceanic and Atmospheric Administration

La tendencia a condiciones más ácidas puede ya medirse en mar abierto.

¿Qué estudios están en curso?

En los últimos años ha habido un aumento significativo del número de estudios científicos para entender qué está sucediendo ahora y qué puede suceder en el futuro como resultado de la acidificación oceánica.

El tiempo no está de nuestro lado - el océano es ya más ácido. Se necesita ahora mismo una acción decisiva sobre las emisiones de CO₂ y el establecimiento de medidas preventivas para proteger lo mejor posible los ecosistemas vulnerables.

Los estudios actuales se centran en la comprensión de las consecuencias y de los mecanismos de este problema global, para identificar las mejores estrategias para combatirlo. Hay que asegurarse de que las preocupaciones de los países en vías de desarrollo sean atendidas adecuadamente, y también de que los nuevos resultados sean difundidos rápidamente a medida que surjan de la comunidad investigadora.

Los estudios más importantes ya en curso o en etapas avanzadas de planificación incluyen:

- **Unión Europea:** La Comisión Europea ha financiado el Proyecto Europeo sobre la Acidificación Oceánica (EPOCA), una iniciativa para investigar la acidificación oceánica y sus consecuencias, como un esfuerzo multinacional que incluye 29 laboratorios situados en nueve países europeos. La investigación de EPOCA, ya en curso, tiene como objetivos supervisar la

acidificación oceánica y sus efectos sobre mamíferos marinos y ecosistemas, para identificar los riesgos de una acidificación continuada, y para entender cómo estos cambios afectarán al sistema global de la Tierra.

- **Reino Unido:** En 2004 - 2007 se emprendió un estudio sobre La implicación del CO₂ para el ambiente marino (The Implication for the Marine Environment of CO₂, IMCO₂), financiado por los Departamentos Gubernamentales Defra y DTI. En la primavera de 2009, el Reino Unido anunció un programa de cinco años y 11.8 millones de libras esterlinas para investigar cambios en los ecosistemas del océano debidos a la acidificación (costes compartidos por el Consejo de Investigación del Medio Natural (Natural Environmental, Research Council), el Departamento para Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra) y el Departamento de de la Energía y Cambio Climático (Department of Energy and Climate Change, DECC)).
- **Alemania:** Impactos Biológicos de la Acidificación Oceánica (BIOACID). Este proyecto coordinado que implica a 18 instituciones de investigación es financiado por el Ministerio Federal de Educación e Investigación (BMBF) por un período inicial de tres años que comienza en septiembre de 2009. Su foco principal está en los efectos de la acidificación oceánica sobre la biota marina desde el nivel subcelular al del ecosistema y en los impactos potenciales de estos efectos sobre y los servicios del ecosistema.
- **Estados Unidos:** Ley Federal sobre la Investigación y la Supervisión de la Acidificación oceánica de 2009 (Federal Ocean Acidification Research and Monitoring Act, FOARAM). La Ley FOARAM firmada por el Presidente Obama en marzo de 2009. La Ley requiere que la Administración Oceánica y Atmosférica Nacional (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), la Fundación Nacional para la Ciencia (National Science Foundation) y otras agencias federales trabajen juntas para desarrollar un programa nacional sobre acidificación oceánica con comienzo en 2010.
- **Japón:** Cinco programas importantes de Japón financian investigación relevante para la acidificación oceánica. El Ministerio de Medio Ambiente de Japón sostiene programas de investigación para elucidar los futuros impactos de la acidificación oceánica sobre diversos mamíferos marinos, mediante sofisticadas instalaciones de mesocosmos (e.g. AICAL, Impacto de la acidificación sobre CALcificadores). El MEXT (Ministerio de Educación, Ciencia, Deporte y Cultura) y la JAMSTEC (Agencia de Japón para la Ciencia y la Tecnología Marinas) también apoyan investigaciones sobre acidificación oceánica tales como el desarrollo de modelos para predecir condiciones oceánicas futuras, por medio de un superordenador (el "Simulador de la Tierra").
- **China:** El Ministerio de Ciencia y Tecnología y la Fundación Nacional de China para la Ciencia han comenzado a apoyar investigaciones sobre acidificación oceánica. CHOICE-C es un nuevo



Photo © Amin Form, IFM-GEOMAR

El coral de agua fría *Lophelia pertusa* con sus pólipos extendidos para recolectar alimento.

proyecto de cinco años para estudiar problemas causados por la elevada concentración de CO₂ y la acidificación oceánica en los mares que rodean a China. Es realizado conjuntamente por 7 importantes instituciones y cuenta con una financiación de 34 millones de RMB. La Fundación Nacional de China para la Ciencia comenzó a financiar proyectos sobre acidificación oceánica en 2006, y actualmente existen varios proyectos nacionales que exploran los impactos de la acidificación oceánica sobre organismos calcificadores.

- **Corea:** La Fundación para la Ciencia y la Ingeniería de Corea financia un proyecto de cinco años, el Mesocosmo Corea, que implica cinco laboratorios coreanos, para examinar los efectos de la elevación del CO₂ y de la temperatura sobre las comunidades naturales de fitoplacton.
- **Australia:** La acidificación oceánica en Australia se centra en las regiones antárticas y de Australasia. La investigación del Centro Cooperativo de Investigación del Clima y los Ecosistemas Antárticos (un consorcio del CSIRO, el DAA, la Oficina de Meteorología y la Universidad de Tasmania) en el Océano Antártico incluye el seguimiento de los cambios de la química del agua de mar y de las respuestas de las especies clave. En zonas tropicales, ha comenzado un programa cooperativo de observación y modelado entre el CSIRO, la NOAA (los EEUU), el NIES (Japón) y la Universidad de Queensland, en las regiones de la Gran Barrera de Coral y de Pacífico Sur. La vulnerabilidad de la Gran Barrera de Coral a la acidificación oceánica también está siendo estudiada por el Instituto Australiano de Ciencia Marina y varias universidades (Universidad Nacional Australiana, Universidad de Queensland, Universidad de Sydney, Universidad James Cook), con el seguimiento a gran escala de las aguas del arrecife, reconstrucciones paleontológicas de los núcleos coralinos, y experimentos de campo y de laboratorio con organismos del arrecife.

Algunos informes clave sobre la acidificación oceánica

Además de los estudios y de las declaraciones de consenso científico que están en curso o planeadas, se han producido ya varios importantes informes sobre la acidificación oceánica.

La primera vez que muchos asesores de toma de decisiones tuvieron noticia de la acidificación oceánica fue a través de la Conferencia Internacional de 2005 sobre *Avoiding Dangerous Climate Change: A Scientific Symposium on Stabilisation of Greenhouse Gases*. Esta reunión tuvo lugar bajo la presidencia del G8 por parte del Reino Unido, con la participación de alrededor de 200 científicos reconocidos internacionalmente, procedentes de 30 países. Se examinó el vínculo entre la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero y el techo de 2°C (3,6 °F) de calentamiento global que se supone necesario para evitar sus efectos más graves. Previamente, se aceptaba generalmente que esta concentración era de 550 ppm.

La primera publicación importante sobre la acidificación oceánica siguió rápidamente. El documento de 2005 de la Royal Society titulado *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide* reconoció que la acidificación oceánica es una amenaza significativa para muchos organismos calcificadores, que podría alterar las cadenas tróficas y otros procesos del ecosistema y llevar a una reducción de la biodiversidad marina. El grupo de trabajo designado hizo recomendaciones específicas de políticas públicas que incluían limitar la acumulación de emisiones de CO₂ para evitar los daños inminentes causados por la acidificación oceánica.

En 2006 el Consejo Asesor Alemán sobre Cambio Climático publicó *The Future Oceans – Warming Up, Rising High, Turning Sour*. Este documento presenta los peligros de la acidificación dentro del contexto de otros procesos del cambio climático en el océano. Se pedía a los responsables de toma de decisiones que reconociesen el papel del CO₂ como un riesgo para el océano, de cara a las futuras negociaciones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

El documento *Impacts of Ocean Acidification on Coral Reefs and Other Marine Calcifiers: A Guide for Future Research* se originó de un esfuerzo conjunto por la NSF (Fundación Nacional de Ciencia), la NOAA y el USGS (Servicio Geológico de los EEUU). Se trata de un informe resumido publicado en 2006 sobre el estado de la ciencia con respecto a las consecuencias biológicas de la acidificación, particularmente en relación con los organismos calcificadores. El informe concluye recomendando una agenda de investigación y subrayando la necesidad de averiguar cómo poner en un contexto histórico los cambios biológicos a largo plazo inducidos por la acidificación.

En 2006, la Convención para la Protección del Medio Marino del Atlántico Noreste (la Convención OSPAR) publicó un informe. *Effects on the Marine Environment of Ocean Acidification Resulting from Elevated Levels of CO₂ in the Atmosphere* fue un producto de la Scoping Workshop on Ocean Acidification Research (Taller Scoping sobre Investigación de la Acidificación Oceánica).

A partir de 2007, la acidificación oceánica comenzó a aparecer regularmente en los informes del Reino Unido sobre impactos marinos del cambio climático. Estos informes tomaron la forma de *Annual Report Cards* y eran preparados por el Consorcio sobre Impactos Marinos del Cambio Climático (Marine Climate Change Impacts Partnership, MCCIP). En abril de 2009, la publicación del MCCIP *Exploring Ecosystem Linkages* proporcionó una cobertura más importante del tema. Este documento se basa en anteriores Tarjetas Informativas Anuales para mostrar cómo la naturaleza interconectada del ecosistema marino magnifica los numerosos impactos puntuales del cambio climático.

El programa estadounidense sobre Carbono y Biogeoquímica del océano (Ocean Carbon and Biogeochemistry Program, OCB) patrocinó un taller conjuntamente con la NOAA, la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y la NSF en la Scripps Institution of Oceanography para planear una estrategia de investigación para los EEUU. Con la cooperación de alrededor de 100 científicos, se desarrolló un plan para investigar los impactos de la acidificación oceánica sobre cuatro ecotipos marinos: arrecifes de coral, márgenes costeros, sistemas de mar abierto del océano subtropical y regiones de altas latitudes. La investigación recomendada se presentó en 2008, en *Present and Future Impacts of Ocean Acidification on Marine Ecosystems and Biogeochemical Cycles*.

También en 2008, el gobierno australiano publicó un importante documento: *Position Analysis: CO₂ Emissions and Climate Change: Ocean Impacts and Adaptation Issues*. Este documento fue elaborado para describir el proceso de acidificación, indicar los efectos biológicos y humanos y aconsejar al gobierno australiano sobre cuestiones relevante en relación con la toma de decisiones. Además, lo acompañaba una página informativa sobre *Ocean Acidification: Australian Impacts in the Global Context* que discutía científicamente la acidificación oceánica: qué se sabe, qué se necesita saber y qué se puede hacer.



En 2009 otro informe marcó un hito. *The Monaco Declaration* fue apoyada por Su Alteza Serenísima el Príncipe Alberto de Mónaco, que expresó su firme deseo de que se elaborase la declaración de Mónaco mientras participaba en las sesiones de trabajo del Segundo Simposio Internacional sobre el Océano en un Mundo de Alto CO₂. La declaración resultante fue aprobada por 155 científicos de 26 países, todos ellos líderes de la investigación sobre la acidificación oceánica y sus impactos. Hace una llamada a los responsables de toma de decisiones para que actúen rápidamente con el fin de evitar los graves y extensos daños derivados en última instancia del aumento de las concentraciones de dióxido de carbono atmosférico (CO₂). Una rápida actuación para incorporar estas preocupaciones en los planes para estabilizar el CO₂ atmosférico en un nivel seguro, evitaría no sólo un cambio climático peligroso sino también una acidificación oceánica peligrosa.

Otro resultado del Segundo Simposio Internacional sobre el Océano en un Mundo de Alto CO₂ fue la producción de *A Summary for Policymakers*, con los nuevos resultados científicos presentados en el simposio. Una información más detallada se sintetizó en el informe científico *Research Priorities for Ocean Acidification*, 2009, disponible en www.ocean-acidification.net.



¿Qué es el Grupo de Usuarios de Referencia sobre Acidificación Oceánica?

Es fundamental asegurarse de que la investigación innovadora sobre problemas tales como la acidificación oceánica se plantee las preguntas adecuadas y que las respuestas lleguen rápida y eficazmente a manos de los asesores y gestores responsables de la elaboración y ejecución de políticas públicas. El Grupo de Usuarios de Referencia sobre Acidificación Oceánica (Ocean Acidification Reference User Group, RUG) se basa en experiencia del Reino Unido y otros países de Europa y del mundo para fomentar un rápido intercambio de información entre científicos y usuarios.

El RUG fue establecido en 2008 para apoyar el trabajo del Proyecto Europeo sobre la Acidificación Oceánica (EPOCA), y ahora se está ampliando para apoyar estudios complementarios en Alemania (BIOACID) y el Reino Unido, con fuertes vínculos con procesos similares en los EEUU. El RUG agrupa una amplia gama de usuarios para apoyar el trabajo de los principales científicos dedicados a la acidificación oceánica, para facilitar la transferencia rápida de conocimiento, y para ayudar a una eficaz aporte de ciencia de calidad.

Esta guía se basa en la experiencia del RUG, junto con los conocimientos de los principales expertos en acidificación oceánica, para proporcionar a asesores y gestores una introducción sobre este problema tan urgente y crítico.

■ **El RUG está formado por representantes de las siguientes instituciones:** Instituto Alfred Wegener de Investigación Polar y Marina, BP, Euro-Mediterranean Center on Climate Change (CNRS), Canadian Tourist Industry Authority, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Climate Central (Princeton University), Conservation International, Directorado de Pesquerías (Norway), Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM), Greenpeace, International Atomic Energy Agency, Instituto Leibniz de Ciencias Marinas (IFM – GEOMAR), programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP), Unión Internacional para la Conservación



Photo © Marie-Dominique Trzay, CNRS

En el Ártico, investigadores de EPOCA recogen datos ambientales y organismos que viven en el fondo marino.

de la Naturaleza (IUCN), Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), Marine Institute (Ireland), Natural England, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC), Instituto Potsdam para la Investigación e Impactos del Clima (PIK), Plymouth Marine Laboratory, Rolls Royce, Royal Institution, Comité Científico de Investigación Oceánica (SCOR), Scottish Natural Heritage, Centro de Resiliencia de Estocolmo, The Nature Conservancy, UK Climate Impacts Programme, Centro Mundial de Seguimiento de la Conservación de la UNEP, WWF.

■ **Observadores:** La Comisión Europea, el Consorcio del Reino Unido sobre Impactos del Cambio Climático, la Fundación Oak, Oceana

Guía en línea

Descargue una copia de esta guía introductoria sobre la acidificación oceánica, junto con sus hipervínculos y descubra información adicional de las investigaciones más recientes sobre este problema. <http://www.epoca-project.eu/index.php/Outreach/RUG/>

Detalles y contactos adicionales

Detalles adicionales sobre el trabajo del Grupo de Usuarios de Referencia sobre Acidificación Oceánica y el Proyecto Europeo Proyecto Europeo sobre la Acidificación Oceánica se puede encontrar en la dirección de web:

<http://www.epoca-project.eu/index.php/Outreach/RUG/>

Si tienen más preguntas, por favor, pónganse en contacto con nosotros a través de: policyguide-epoca@obs-vlfr.fr

Lista de fuentes y de contribuidores

Esta guía introductoria se basa en trabajo ya disponible sobre la acidificación oceánica. Las publicaciones siguientes han ayudado a dar forma a esta guía: las “preguntas más frecuentes” de ocean-acidification.net, el Resumen para Políticos y Gestores del Segundo Simposio sobre El Océano en un Mundo con Alto CO₂, la Declaración IAP sobre Acidificación Oceánica, el Informe de Política Científica sobre los Impactos de la Acidificación Oceánica de la Fundación Europea de la Ciencia, la Declaración de Honolulu sobre Acidificación Oceánica, un informe no publicado de The Nature Conservancy (Carbon Dioxide Induced Ocean Acidification: An Intemperate Issue), y la circular 73 del Programa Internacional de Geosfera-Biosfera (International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP).

Además expresamos nuestro agradecimiento a los científicos siguientes, por su asesoramiento a lo largo del desarrollo de este informe:

Jelle Bijma, Alfred Wegener Institute of Polar and Marine Research, Germany

Sarah Cooley, Woods Hole Oceanographic Institution, MA, EEUU

Scott Doney, Woods Hole Oceanographic Institution, MA, EEUU

Richard A. Feely, NOAA Pacific Marine Environmental Laboratory, Seattle, WA, EEUU

Jean-Pierre Gattuso, CNRS, Villefranche-sur-mer, Francia

Will Howard, Antarctic Climate and Ecosystems Cooperative Research Centre, University of Tasmania, Australia

Ulf Riebesell, IFM-GEOMAR, Kiel, Alemania

Donna Roberts, Antarctic Climate and Ecosystems Cooperative Research Centre, University of Tasmania, Australia

Carol Turley, Plymouth Marine Laboratory, Reino Unido de Gran Bretaña

Ed Urban, SCOR, Newark, DE, EEUU

Los comités nacionales de SCOR (Comité científico sobre Investigación Oceánica) de China, de Francia, y de España ayudaron con la traducción de este documento al chino, francés, y español. La versión árabe fue traducida por Mohammed Kotb de la Organización Regional para la Protección del Medio Ambiente del Mar Rojo y el Golfo de Adén (PERSCA). Agradecemos a todos su ayuda para difundir esta información a personas de habla no inglesa

Garantía de calidad

Esta guía ha sido producida por el Grupo de Usuarios de Referencia sobre Acidificación Oceánica y ha sido revisada por líderes científicos invitados. Deseamos agradecer a estas personas el tiempo dedicado a mejorar esta guía.

Por favor, citen este documento como: Grupo de Usuarios de Referencia sobre Acidificación Oceánica (2009). Acidificación oceánica: Los hechos. Una guía introductoria especial para asesores y gestores. Laffoley, D. d A. y Baxter, J.M. (eds). Proyecto Europeo sobre la Acidificación Oceánica (EPOCA). 12pp.

Esta guía ha sido preparada con la ayuda financiera de Natural England y de EPOCA, y se basa en las buenas prácticas de comunicación promovidas por el Consorcio sobre Impactos Marinos del Cambio Climático (Marine Climate Change Impacts Partnership), del Reino Unido. the UK's Marine Climate Change Impacts Partnership.

