



# Cálido, ácido y asfixiado - el océano estresado

¿Cómo está el ecosistema más  
grande del planeta?



CONTIENE EL 96% DEL ESPACIO VITAL DE LA TIERRA ● POSEE EL 80% DE ORGANISMOS VIVOS DEL PLANETA  
● CUBRE EL 71% DE LA SUPERFICIE TERRESTRE ● CASI LA MITAD DEL OXÍGENO QUE RESPIRAMOS LO  
PRODUCEN PLANTAS OCEÁNICAS ● LA PESCA PROVEE A 4.2 MIL MILLONES DE PERSONAS CON ALREDEDOR  
DEL 15% DE SU PROTEÍNA ANIMAL ● EL 90% DEL COMERCIO MUNDIAL SE REALIZA A TRAVÉS DE LOS  
OCÉANOS ● SE ESTIMA QUE CONTIENE EL 80% DE LOS RECURSOS MINERALES DE LA TIERRA



# Regiones oceánicas y costeras bajo estrés



El océano cubre cerca de tres cuartos de la superficie terrestre, contiene el 96% del espacio vital, proporciona casi la mitad del oxígeno que respiramos y es importante fuente de proteínas para el rápido crecimiento de la población mundial. Sin embargo, la acción del hombre está produciendo un impacto en este preciado recurso a escalas locales, regionales y globales.

En las próximas décadas y siglos, la salud del océano se verá cada vez más estresada por al menos tres factores que interactúan entre sí. El aumento de la temperatura del agua del mar, la acidificación y desoxigenación del océano provocarán cambios sustanciales en la biología, la química y física marina. Estos cambios afectarán al océano en formas que estamos empezando a comprender.

Es imperativo que políticos internacionales comprendan el tremendo rol que cumplen los océanos para el sustento de la vida en la Tierra, como también las consecuencias de un mundo alto en CO<sub>2</sub> para el océano y la sociedad.



## Acidificación del océano

La acidificación del océano es una causa directa del aumento de los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera. Cuando el CO<sub>2</sub> entra en el mar, este pasa rápidamente por una serie de reacciones químicas que provocan el aumento de la acidez de la superficie del agua del mar (bajando su nivel de pH). Los océanos han removido casi el 30% del CO<sub>2</sub> antropogénico de los últimos 250 años, disminuyendo el pH a una tasa que no ha sido registrada en los últimos 60 millones de años.

Este efecto puede ser considerado como beneficioso ya que ha reducido la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y la tasa del calentamiento global; sin este secuestro por parte del océano, los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera podrían ser mayores de 450 ppm. Sin embargo, la continuación de ese rápido y fundamental cambio en la química del océano será probablemente una mala noticia para la vida marina. No sólo le causará problemas a diferentes organismos con exo-esqueletos y conchas de carbonato de calcio (tales como ostras, almejas, corales y algunas especies planctónicas), sino que también podría impactar en otros organismos, ecosistemas y procesos, con consecuencias potencialmente serias para la sociedad.

The average acidity of the upper ocean has already declined by around 0.1 pH unit (30% increase in acidity) since the industrial revolution and it is expected to further decline by about 0.3 pH units by the end of this century if CO<sub>2</sub> emissions continue at the current rate.

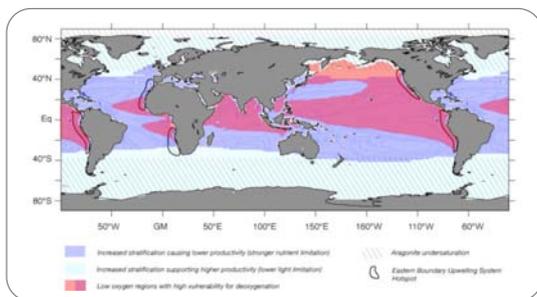
# Problema triple: forzantes o estresores múltiples

En el futuro, se espera que varias zonas del océano experimenten más de uno de estos factores de estrés medioambientales al mismo tiempo, puesto que estos son provocados por el mismo proceso subyacente: el aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y de otros gases de efecto invernadero. Estos “puntos calientes” no sólo serán más cálidos, sino que también es probable que sean más estratificados, que tengan un aumento en la acidez y contengan menos oxígeno, lo que provocará estrés en la vida marina de tal forma que será más que la suma de cada uno de ellos.

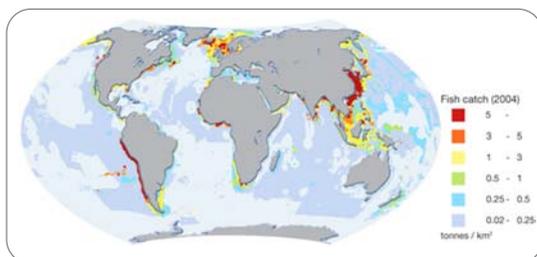
Por ejemplo, la acidificación del océano puede provocar que las especies sean más susceptibles a los impactos de aguas cálidas, y mayor CO<sub>2</sub> junto con bajos niveles de oxígeno pueden causar dificultades respiratorias. Si estos factores actúan juntos podrían amenazar rápidamente a ciclos biogeoquímicos, ecosistemas y los bienes y servicios que el océano provee a la sociedad, aumentando el riesgo para la seguridad alimenticia humana y para las industrias que dependen de la producción de los ecosistemas marinos. Así mismo, las variaciones en el intercambio de gases entre la

atmósfera y el océano tendrán un impacto en el cambio climático.

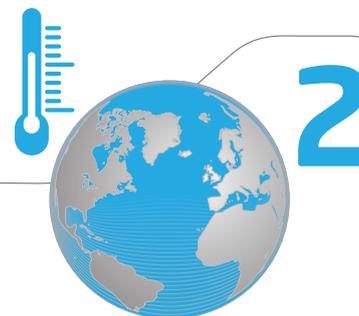
Importante y preocupante es que, probablemente, estas “puntos calientes” de estresores o forzantes múltiples coincidan con zonas del océano altamente productivas y que en la actualidad, abastecen importantes pesquerías industriales y de subsistencia en países en vías de desarrollo. (ver mapas)



Nicolas Gruber, Phil. Trans. R. Soc. A (2011) 369, 1980-1996



PNUMA 2010. PNUMA Temas emergentes: Consecuencias ambientales de la acidificación del océano: una amenaza para la seguridad alimentaria



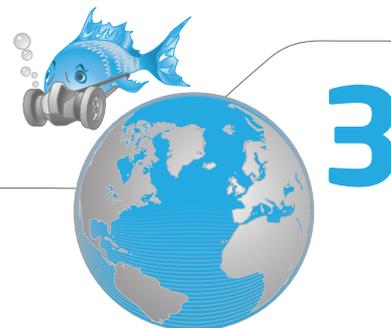
## Calentamiento del Océano

En las últimas décadas, el calentamiento de los océanos ha sido una consecuencia directa del aumento de la temperatura atmosférica debido a los “gases de efecto invernadero”. Este calentamiento afecta el intercambio de gases entre la superficie del océano y la atmósfera, como también su transporte y almacenamiento en aguas más profundas. En un océano más cálido, habrá también menor mezcla entre aguas profundas ricas en nutrientes y aguas superficiales pobres en nutrientes, en particular en zonas tropicales, y con consecuencias desfavorables para la productividad del océano, y por consiguiente una reducción importante de seguridad alimentaria desde las pesquerías.

Es probable que el calentamiento de los océanos tenga efectos directos en la fisiología de los organismos marinos y de ese modo alterará la distribución geográfica de especies, incluyendo aquellas de importancia comercial, que actualmente se han adaptado a las condiciones existentes. Por ejemplo, existe bastante certidumbre que el aumento de la temperatura está contribuyendo con la disminución del bacalao en el Atlántico del Norte.

El contenido calórico del océano es gigantesco y aproximadamente el 90% de la energía del calentamiento del sistema terrestre ha sido almacenado en los océanos en las últimas décadas. La temperatura media superficial del océano ha aumentado alrededor de 0,7°C en los últimos 100 años, y se espera que aumente cerca de 3°C en algunas zonas del océano hacia finales de este siglo.

# Pasos a seguir



**Mitigación:** Dado que la acidificación del océano es causada principalmente por el CO<sub>2</sub>, se necesitan medidas de mitigación poderosas para reducir sus emisiones. La acumulación atmosférica de otros gases de efecto invernadero también debería limitarse, puesto que contribuyen al calentamiento del mar y por lo tanto la desoxigenación.

**Adaptación:** Se necesitan desarrollar estrategias de adaptación ya que, incluso si el CO<sub>2</sub> atmosférico se pudiese estabilizar al nivel actual, el mundo ya está comprometido con una considerable cantidad extra de calentamiento, acidificación y desoxigenación. Una estrategia clave es garantizar el potencial máximo de la resiliencia en un ecosistema; por ejemplo, manteniendo o incluso aumentando la biodiversidad y conservando diversos tipos de hábitats. La disminución de otros factores de estrés medioambientales, tales como la eutroficación costera y la contaminación por sustancias orgánicas e inorgánicas, también podrían ser de ayuda. Sin embargo, dado la elevada la tasa de cambio, es incierto que las medidas de adaptación por sí solas, sin mitigación, sean suficientes para evitar gran parte de sus efectos nocivos.

**Investigación:** Se necesita investigación para mejorar nuestro conocimiento y entendimiento sobre la interacción de estos tres forzantes o estresores. Por ejemplo, mientras que la acidificación del océano se ha vuelto un tema de alta prioridad en las investigaciones, la desoxigenación aún no alcanza ese nivel de reconocimiento.

Lo que realmente falta es una perspectiva unificada, donde se investiguen los efectos combinados de dos o tres estresores, simultáneamente. Ya han comenzado a realizarse detallados estudios de laboratorios y experimentos de campo, monitoreo y modelación desde escalas regionales a globales. Todo esto a través de colaboración internacional y entre disciplinas. Más importantes aún, la capacidad de investigación necesita ser fortalecida a nivel mundial, en particular en países en vías de desarrollo vulnerables. La investigación necesitará seguir cada vez más un enfoque multidisciplinario a través de las ciencias físicas, de la vida, química, planetarias, sociales y económicas con el fin de comprender mejor los impactos en los ecosistemas y las consecuencias para cada uno de nosotros. Estos estudios requieren ser políticamente relevantes, con un rápido intercambio de conocimiento entre investigadores y legisladores.

## Desoxigenación del océano

La desoxigenación del océano es la disminución del oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) en el agua marina. El cambio climático puede influenciar los niveles de oxígeno del océano de varias formas. Es probable que esto suceda en un océano más cálido, ya que las altas temperaturas reducen la solubilidad del oxígeno. El calentamiento probablemente también produzca un océano más estratificado, disminuyendo el suministro de oxígeno desde la superficie hacia el fondo. La acidificación oceánica y los nutrientes provenientes de ríos y arroyos también pueden contribuir a la desoxigenación.

Los peces y muchos otros organismos marinos dependen de niveles de oxígeno suficientes para funcionar, y por lo tanto se estresan cuando la concentración de oxígeno disminuye. Amplias zonas con bajos niveles de oxígeno podrían resultar en la exclusión de dichos organismos. Sin embargo, otros organismos que son tolerantes a bajos niveles de oxígeno, en particular microbios podrían desarrollarse con más facilidad, alterando el balance de las comunidades. Los bajos niveles de oxígeno en el océano también podrían aumentar la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera alterando los mecanismos de retroalimentación que involucran metano y óxido nitroso.

Los actuales modelos oceánicos proyectan una disminución de 1% a 7% en el nivel de oxígeno mundial durante el próximo siglo. Sin embargo, hay una incertidumbre importante en cuanto a la magnitud y la localización de estos cambios en el nivel de oxígeno y sus los impactos ecológicos.

# Guía del Estrés Oceánico

Lo que le pasará al océano en este siglo si no reducimos de forma urgente y sustancial las emisiones de gases de efecto invernadero.

Estrés o forzante	Causas	Resultados	Efectos directos	Impactos	Retroalimentación hacia el clima
<b>Calentamiento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Un área de estudio relativamente madura en términos de cambios físicos y fisiológicos, pero escasamente estudiada a niveles bioquímicos y ecosistémicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aumento de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aumento de la temperatura, en particular en aguas superficiales</li> <li>● Disminución de la mezcla oceánica debido al aumento de la estratificación</li> <li>● El aumento de la escorrentía y derretimiento de los hielos también aportarán a la estratificación de las aguas del ártico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Disminución de la solubilidad del dióxido de carbono</li> <li>● Aumento de la velocidad de procesos químicos y biológicos</li> <li>● Reducción del re-abastecimiento natural de nutrientes en aguas más estratificadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Estrés a la fisiología de los organismos, incluyendo el blanqueamiento de corales</li> <li>● Grandes migraciones de especies</li> <li>● Mayor rapidez en el recambio de materia orgánica</li> <li>● Stress de nutrientes para el fitoplancton, en particular en aguas cálidas</li> <li>● <b>Cambios en la biodiversidad, tramas tróficas y productividad, con potenciales consecuencias para las pesquerías, la protección de las costas y el turismo</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reducción de la absorción del dióxido de carbono debido al efecto de solubilidad</li> <li>● Aumento del consumo de oxígeno, producción de dióxido de carbono y descenso en la transferencia de oxígeno hacia el océano profundo</li> <li>● Un potencial descenso en la exportación de carbono hacia el interior del océano</li> <li>● Disminución de la producción primaria, a excepción del Ártico, donde la pérdida de hielo marino podría aumentarla</li> </ul>
<b>Acidificación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Desarrollado como un tema de investigación la década anterior</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aumento de emisiones de dióxido de carbono atmosférico</li> <li>● Enriquecimiento de nutrientes en las costas, hidratos de metano y gases ácidos de emisiones industriales también podrían contribuir a nivel local</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Un cambio rápido y sin precedentes en la química del carbonato del océano</li> <li>● La mayor parte del océano será corrosivo para animales con conchas y corales, iniciando sus efectos en el Ártico para el año 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reducción de la tasa de calcificación, crecimiento y reproducción de numerosas especies</li> <li>● Cambios en la composición de carbono y nitrógeno del material orgánico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Impedimento para el desarrollo de conchas y exoesqueletos y estrés fisiológico en diversas especies, incluyendo etapas juveniles</li> <li>● Cambios en la biodiversidad y ecosistemas, y en los bienes y servicios que nos proveen</li> <li>● <b>Las aguas frías de surgencia que actualmente sostienen pesquerías y actividades acuícolas claves, podrían ser especialmente vulnerables</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reducción de la absorción del dióxido de carbono en el océano debido a efectos químicos</li> <li>● Cambios en la exportación del carbono hacia el interior del océano</li> <li>● Mayor consumo de oxígeno a lo largo de la columna de agua debido al cambio en la composición del material orgánico</li> </ul>
<b>Desoxigenación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Tema emergente, escasamente estudiado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Menor solubilidad del oxígeno debido al calentamiento</li> <li>● Descenso del suministro de oxígeno en aguas profundas debido a menor mezcla</li> <li>● El aporte de nutrientes por escorrentía estimula la remoción local de oxígeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Menos disponibilidad de oxígeno para respiración especialmente en áreas productivas, y en el interior del océano</li> <li>● Extensas áreas con niveles de oxígeno bajos o muy bajos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reducción del crecimiento y la actividad del zooplancton, peces y otros organismos que utilizan oxígeno</li> <li>● Alteraciones endocrinas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Estrés en organismos que dependen del oxígeno</li> <li>● Riesgo de pérdida de especies en zonas con bajo nivel de oxígeno</li> <li>● Impactos en el éxito reproductivo</li> <li>● <b>Cambio hacia organismos que toleran bajos niveles de oxígeno, especialmente microorganismos pérdida de los servicios de los ecosistemas en esas áreas</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Un aumento en la producción de dos gases de efecto invernadero: metano y óxido nítrico</li> </ul>
<b>Los tres juntos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Pocos estudios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● El aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, en especial dióxido de carbono, a la atmósfera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mayor frecuencia de ocurrencia de aguas no solo cálidas sino que también con mayor acidez y menos cantidad de oxígeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Daño a la fisiología de los organismos, balance energético y a la formación de conchas, por ejemplo: degradación de los arrecifes de coral</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● La acidificación del océano puede reducir la tolerancia térmica de los organismos, aumentando el impacto del calentamiento</li> <li>● <b>Efectos combinados aumentan aún más el riesgo de la seguridad alimentaria y de las industrias que dependen de ecosistemas marinos saludables y productivos</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Cambios importantes en la física y química del océano y los ecosistemas</li> <li>● Riesgo de múltiples retroalimentaciones positivas hacia la atmósfera, aumentando el ritmo del cambio climático en el futuro</li> </ul>

# Tomando conciencia, usted puede hacer la diferencia

Continuando con el aumento de toma de conciencia respecto a la acidificación del océano en los encuentros de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (2009, 2010, 2011, 2012 y 2013), la alianza internacional, como se muestra a continuación, está enfatizando su preocupación sobre los impactos de estresores múltiples e interactivos del

calentamiento oceánico, la acidificación y desoxigenación sobre los ecosistemas marinos, lo cual ocurrirá en las próximas décadas en un mundo con mayor CO<sub>2</sub>. Esta publicación recibió apoyo de organizaciones y programas internacionales.

Envíenos un correo para mayor detalle [forinfo@pml.ac.uk](mailto:forinfo@pml.ac.uk)  
[www.oceanunderstress.com](http://www.oceanunderstress.com).

## Organizaciones asociadas

### Laboratorio Marino de Plymouth

Prof Stephen de Mora, [forinfo@pml.ac.uk](mailto:forinfo@pml.ac.uk), [www.pml.ac.uk](http://www.pml.ac.uk)

### Centro de Coordinación Internacional en Acidificación del Océano

IAEA proyecto Iniciativa de Usos Pacíficos, Ms Lina Hansson, [L.Hansson@iaea.org](mailto:L.Hansson@iaea.org)

### Instituto de Oceanografía Scripps de la Universidad de San Diego, California

Sr. Robert Monroe, [rmonroe@ucsd.edu](mailto:rmonroe@ucsd.edu), [www.sio.ucsd.edu](http://www.sio.ucsd.edu)

### OCEANA

Ms Jacqueline Savitz, [jsavitz@oceana.org](mailto:jsavitz@oceana.org), [www.oceana.org](http://www.oceana.org)

### Programa de Investigación de Acidificación de los Océanos del Reino Unido

27 institutos asociados del Reino Unido, Dr Carol Turley OBE, [ct@pml.ac.uk](mailto:ct@pml.ac.uk), [www.oceanacidification.org.uk](http://www.oceanacidification.org.uk)

### Proyecto Europeo sobre Acidificación de los Océanos

32 institutos asociados de 10 países; Dr Jean-Pierre Gattuso, [gattuso@obs-vlfr.fr](mailto:gattuso@obs-vlfr.fr), <http://epoca-project.eu>

### Acidificación del Mar Mediterráneo en un clima cambiante

16 institutos asociados de 10 países; Dr Patrizia Ziveri, [patrizia.ziveri@uab.cat](mailto:patrizia.ziveri@uab.cat), <http://medsea-project.eu>

### Programa de Impactos Biológicos de la Acidificación Oceánica

19 institutos asociados de Alemania; Prof. Dr. Ulf Riebesell, [uribesell@ifm-geomar.de](mailto:uribesell@ifm-geomar.de), [www.bioacid.de](http://www.bioacid.de)

### Centro de Investigación e Innovación para el Cambio Climático ([www.ciicc.cl](http://www.ciicc.cl)) y Centro para el Estudio de Forzantes Múltiples sobre Sistemas Socio-Ecológicos Marinos (MUSELS, [www.evla.cl/musels](http://www.evla.cl/musels))

7 instituciones asociadas de Chile; Dr Nelson A. Lagos, [nlagos@ust.cl](mailto:nlagos@ust.cl), Chile.

**PML** Plymouth Marine Laboratory



Ocean Acidification International Coordination Centre  
**OA-ICC**



## Mensaje auspiciado por



European Environment Agency



**Citar este documento como:** Turley C, Keizer T, Williamson P, Gattuso J-P, Ziveri P, Monroe R, Boot K, Huelsenbeck M: Hot, Sour and Breathless – Ocean under stress. Plymouth Marine Laboratory, UK Ocean Acidification Research Programme, European Project on Ocean Acidification, Mediterranean Sea Acidification in a Changing Climate project, Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego, OCEANA. Traducción al español: Pamela Prado, Luis Prado, Nelson A. Lagos; 2014 6pp. **ISBN: 978-0-9519618-6-5**

