





Fotografía: © Luis Carlos Celis Calderón. De la serie "Por todo lo alto".



Ecosistemas costeros y marinos

JAIRO ESCOBAR RAMÍREZ

La venganza de Gaia

“El calentamiento global es, casi con seguridad, la mayor amenaza a la que la raza humana se ha enfrentado, porque pone un signo de interrogación a la habitabilidad de la Tierra. En las décadas venideras, las temperaturas disparadas harán que la agricultura sea inviable en vastas extensiones del mundo donde la gente es ahora pobre y tiene hambre; el suministro de agua de millones o incluso billones, podría fallar. El ascenso de los niveles del mar destruirá áreas considerables de costa baja en países como Bangladesh, justo en el momento en que su población se multiplica alarmantemente. Incontables refugiados medioambientales sobrepasarán la capacidad para que de ellos se haga cargo cualquier agencia, o de hecho, cualquier país, al tiempo que la infraestructura urbana moderna se enfrentará a la devastación producida por sucesos meteorológicos extremos y muy poderosos, como el huracán Katrina, que golpeó a Nueva Orleans el verano pasado”.

James Lovelock, *The Revenge of Gaia: Why the Earth is Fighting Back – and How We Can Still Save Humanity*.

El cambio climático constituye un tema por excelencia que ocupa una posición central en todas las esferas del debate ambiental internacional debido a sus profundas consecuencias de alcance planetario. También por esas con-

secuencias y por los vacíos que se tienen en su conocimiento y comprensión ha llegado a ser un tema altamente controvertido y polémico. El océano actúa como moderador del clima y de él depende el clima global. Paradójicamente, es en el rol del océano sobre el clima donde se concentran las mayores incertidumbres sobre el futuro del clima mundial. Este vacío fue subrayado por las Naciones Unidas en 1992, con el Programa 21 (capítulo 17), donde reconoció, *inter*

alia, “la necesidad de llevar a cabo estudios e investigaciones para solucionar las principales incertidumbres que plantean los cambios climáticos”; además resaltó que “el incremento del nivel medio del mar es una de las incertidumbres que se destacan” (Naciones Unidas, 1992).

Las respuestas de la biosfera a un océano más cálido y la contribución de ésta al clima marino constituyen parte integral de las incertidumbres. Por las evaluaciones se conoce que las respuestas van desde

microcosmos hasta ecosistemas y desde niveles enzimáticos hasta organismos, poblaciones y comunidades. Las primeras evaluaciones sobre los efectos de los ecosistemas y organismos marinos en el calentamiento del clima se iniciaron en la segunda mitad de la década de los 80 como una iniciativa

del Programa de Mares Regionales del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), y cubrieron doce mares regionales. Éstas tomaron como marco los escenarios predichos en la Conferencia de Villach (octubre 15 de 1985) de incrementos en la temperatura de 1,5 °C y del nivel del mar de 20 cm para finales del 2025 (Maul, 1993, 1994; CPPS/PNUMA, 1998; PNUMA OCA/PAC, 1992).

A partir de entonces, las evaluaciones

han venido progresando con un gran número de iniciativas diferentes, extendiéndose a otras regiones, ajustándose a otros escenarios climáticos, llenando vacíos, a fin de mejorar las predicciones sobre el clima futuro, de tal forma que hoy existe una copiosa literatura científica sobre el tema. En común, las evaluaciones son documentos de anticipación que, basándose en la mejor evidencia posible, pronostican sobre la situación del océano en un mundo más caliente. Este artículo revisa e informa sobre los efectos que tiene el

El océano actúa como moderador del clima y de él depende el clima global. Paradójicamente, es en el rol del océano sobre el clima donde se concentran las mayores incertidumbres sobre el futuro del clima mundial.

Trabaje en la casa

Las nuevas tecnologías han motivado, cada vez más, el trabajo de las personas en su propia casa. Hecho que redundará en reducción del CO₂ al evitar el transporte y que resulta benéfico para una mayor calidad de vida y en un ahorro de tiempo y de dinero.

Si su jefe necesita verlo, reúnanse por internet.

calentamiento climático en los ecosistemas marinos sensibles con énfasis en los tropicales, teniendo como base los resultados de esas evaluaciones.

Las evaluaciones climáticas sobre el medio marino

Las evaluaciones realizadas por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) recogen la mayor parte de la información documentada disponible sobre el calentamiento climático, por lo que han llegado a ser una referencia obligada sobre el tema. A la fecha, el Panel ha publicado cuatro informes de evaluación (1990, 1995, 2001, 2007). En esas evaluaciones los efectos pronosticados sobre la biota marina están centrados en los producidos por el incremento de la temperatura del mar, levantamiento del nivel del mar, aumento en la frecuencia de las tormentas y huracanes, cambios en la circulación termohalina, derretimiento del hielo marino y de la cubierta polar, alteraciones en las plataformas de cascadas de agua densa, captura y almacenamiento del CO₂ incluyendo la acidificación del océano, etc. (Escobar, 2007). En su primer informe de evaluación el IPCC (1990) predijo que "... el cambio global del clima puede elevar el nivel del mar hasta en un metro a lo largo del próximo siglo y en algunas áreas puede aumentar la frecuencia y la fuerza de las tormentas [...]. Los impactos podrán exacerbarse si las sequías y las tormentas se tornaran más severas". Posteriormente, en su IV informe, el Grupo reafirmó lo indicado en su primera evaluación, señalando que "el calentamiento del sistema climático es inequívoco, como lo evidencian las observaciones de incrementos en los promedios globales de temperatura del aire y del océano, el derretimiento extendido de hielos y nieves y el crecimiento medio global en los niveles del mar... Éstas incluyen cambios en la salinidad oceánica, patrones de vientos y otros aspectos relacionados con climas extremos incluyendo intensidad de ciclones tropicales... La gama de cam-

bio en el plancton, en la abundancia de peces, ya se ha observado en los océanos en las latitudes altas... El nivel del mar está aumentando de forma negativa, lo que contribuye a la erosión costera, a pérdidas de humedales costeros, incluidas marismas y manglares. Estos efectos se verán agravados por un aumento en las presiones sobre las zonas costeras inducido por el hombre" (IPCC, 2007).

Efectos del calentamiento climático sobre los organismos y ecosistemas marinos

Las respuestas del océano al calentamiento del clima están llenas de sinergias y retroalimentaciones en las que la biosfera marina juega un papel determinante, pero pobremente conocido (Green *et al.*, 2004). Las respuestas de la biosfera dependen de su tolerancia térmica y salina y pueden ser letales, subletales, agudas, crónicas, aditivas, etc. A la fecha, las respuestas de los ecosistemas de superficie están más documentadas que las respuestas de los ecosistemas de profundidad. En general, el calentamiento produce cambios concatenados en la estructura y en el funcionamiento de los ecosistemas marinos y costeros afectando a comunidades, organismos, poblaciones y especies individuales a lo largo de sus ciclos de vida. Hay registro de alteraciones en el crecimiento, en la velocidad de maduración para muchos componentes de la biodiversidad marina, recombinación genética, cambios en las estrategias de reproducción, modificaciones en el comportamiento, alteración en los patrones de migración y dinámica de poblaciones, cambios en la distribución biológica, alteraciones en la trama trófica, etc. (PNUMA, 2002). Se estima que el océano tarda más tiempo que la tierra en responder al calentamiento climático. Una visión del conjunto de los actuales factores ambientales que afectan a la vida marina (sobrepesca, contaminación, fragmentación del hábitat, etc.) hacen que el efecto neto del calentamiento sobre la biosfera marina se magnifique. Por su parte, los ecosistemas pueden atenuar parte de

los impactos del calentamiento. Los manglares, entre otros amortiguadores, pueden restar fuerza a las tormentas en las costas, reducir el efecto de las crecidas; el plancton y los corales pueden disminuir el contenido de CO₂ de la atmósfera a través de la biocalcificación o por medio del bombeo biológico; pero de continuar la tendencia observada en el calentamiento, estos amortiguadores naturales pueden fallar y las consecuencias son impredecibles.

El calentamiento hace que el océano “se hinche y se suba”. A medida que la temperatura del océano aumenta y los mares se hacen menos densos, ellos se expanden, ocupando una mayor superficie del planeta, debido a dos factores interactuantes principales: derretimiento de glaciales y capas polares y expansión térmica del océano. El aumento del nivel medio del mar, dentro del contexto del calentamiento del clima, constituye el efecto central del calentamiento sobre los océanos. Otros contribuyentes ajenos al calentamiento provienen del levantamiento y subsidencia del fondo marino. En su IV evaluación, el IPCC informó que “la tasa del crecimiento global medio del mar ha aumentado de 1,8 mm/año a 3,1 mm/año desde 1961

a 1993. En conjunto, el nivel del mar aumentó de 17 cm durante el siglo XX, y para finales del siglo XXI se prevé un aumento de 20 cm en el año 2030, y de 65 cm a finales del siglo XXI. Debido a la alta inercia que tiene el nivel del mar, los ecosistemas y tierras bajas que se cubran permanecerán así por muchos siglos” (IPCC, 2007).

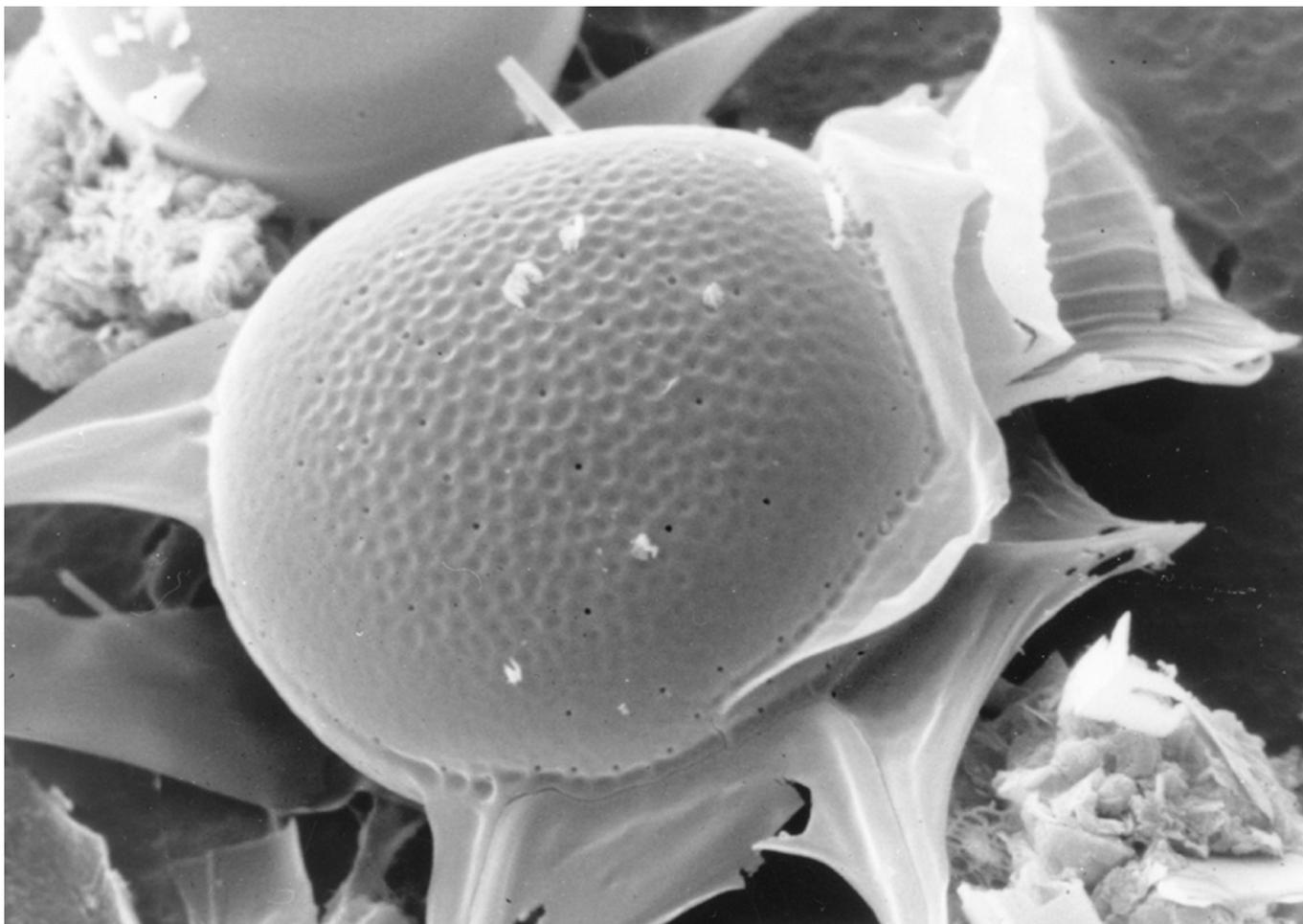
A medida que la temperatura del océano aumenta y los mares se hacen menos densos, ellos se expanden, ocupando una mayor superficie del planeta, debido a dos factores interactuantes principales: derretimiento de glaciales y capas polares y expansión térmica del océano.

El calentamiento es más intenso en las aguas superficiales, pero no se limita a éstas, sino que se está extendiendo a las profundidades marinas. Existe evidencia que algunos ecosistemas profundos en el Atlántico están siendo afectados. Las observaciones indican que “desde 1961 la temperatura promedio del océano global se ha incrementado hasta profundidades de 300 m”, y que “el océano ha absorbido al menos el 80% del calor extra adicionado al sistema climático” (IPCC, 1990, 2007). También hay claros indicios de que el ca-

lentamiento está afectando la distribución de la vida marina en varias regiones del océano. Se registra una migración hacia los polos de especies de aguas cálidas en una pauta que ha venido progresando con el incremento del clima. Resultados del Registrador Continuo de Plancton (CPR) muestran que el plancton

Invierta verde

Si está interesado en minimizar el impacto de lo que hace en detrimento del planeta y trabaja en una empresa que libera mucho CO₂ a la atmósfera, reduzca, por lo menos, su culpabilidad, invierta en acciones de valores de compañías que piensan “verde” como usted.



Plancton. Foto: <http://www.uib.no/med/mic/gallery/pages/plancton.html>

del Atlántico Norte ha emigrado hacia los polos, donde varias especies han mostrado cambios en la fenología (reproducción y reclutamiento) con influencia en la estructura trófica del ecosistema (Richardson & Schoeman, 2004; Edwards & Richardson, 2004).

Se está incrementado la presencia de especies de peces de aguas cálidas, subtropicales y frías al oeste de Europa, a lo largo del talud continental. Para el Mar del Norte se ha informado de la presencia, más al norte, de especies como el salmonete, la sardina y las anchoas, en áreas nunca antes registradas, lo que ha ocurrido cuando la temperatura se incrementó en tan sólo 0,5 °C. Estos cambios han sido vinculados con el aumento de la temperatura del mar y se relacionan estrechamente con el incremento de la temperatura del hemisferio norte, por lo que se ha sugerido que pueden ser interpretados como una respuesta a nivel global. Los cambios en la distribución biogeográfica han sido observados tanto en el hemis-

ferio norte como en el sur, en el Atlántico nororiental, Mar de Tasmania, Mar de China, Mar de Bering, etc. (Nellemann, Hain & Alder, 2008). El calentamiento afecta los frentes oceánicos y en consecuencia la distribución de mamíferos marinos, peces y otros organismos asociados con esos frentes (Learmonth *et al.*, 2006).

Las surgencias costeras que crean áreas del océano muy ricas en pesca, son afectadas por cambios oceanográficos, pero la forma como éstas responden al calentamiento del clima es aún incierta. Se ha observado durante los eventos cálidos de El Niño en el Pacífico suroriental, frente a Perú, que la termoclina y la nutriclina descienden y el afloramiento reduce su intensidad y se afecta totalmente la pesca, lo que puede ser interpretado como parte de la respuesta del afloramiento (Botsford *et al.*, 2006; Escobar, 1999).

Se ha sugerido que el calentamiento climático podría estar afectando la circulación termohalina.

Ésta forma una gran celda meridional, la Circulación Meridional Volteante (Meridional Overturning Circulation, MOE), transportando calor y salinidad a grandes distancias del océano moderando el clima mundial. Se ha observado que esta Circulación Meridional se está ralentizando, y aunque existe actualmente un debate sobre este efecto, se prevé que el calentamiento puede estar debilitándola. Se tienen evidencias recientes de este efecto en las temperaturas superficiales del Atlántico oriental, las que se relacionan muy bien con las temperaturas del hemisferio norte en los últimos 40 años (Bryden, 2005; Reid, 2004, en: Nellermann, Hain & Alder, 2008). Es muy probable que la Circulación Meridional Volteante se frene en un 25% en el 2100 y produzca una brusca y abrupta transición durante el siglo XXI (IPCC, 2007). El cambio climático podría estar ya provocando una disminución de más del 30 % de su flujo de energía (Uriarte, 2003). Los posibles impactos asociados en el debilitamiento del MOC incluyen cambios en la productividad del ecosistema marino, en la absorción de CO₂ por el océano, en el contenido y concentración del oxígeno oceánico y cambios en la pesca (Nellermann, Hain & Alder, 2008).

También se prevé que el calentamiento en las capas superficiales del océano llegue a las plataformas

de cascada de aguas densas en las profundidades de los bordes continentales. Estas plataformas son un tipo de corrientes estacionales impulsadas por diferenciales de densidades que se presentan en las profundidades de los bordes de la plataforma continental y forman un vínculo para el intercambio de aguas someras con las de profundidad. Cualquier cambio en el régimen de temperatura de los océanos, como el previsto para las capas superiores del océano, tendrá un impacto significativo en la ventilación de las zonas profundas del océano (Gregory *et al.*, 2006, en: Nellermann, Hain & Alder, 2008). Los efectos de este impacto sobre la biogeoquímica del océano mundial podrían ser considerables (Nellermann, Hain & Alder, 2008).

El calentamiento afecta la extensión del área de los ecosistemas intermareales, someros o de profundidad, expandiéndola o reduciéndola, profundizándola o haciéndola más aérea, lo que afecta a las comunidades de organismos que en ellos habitan o dependen de esos ecosistemas. El incremento del nivel del mar vinculado al calentamiento ocasiona el retroceso de las playas. En playas bajas lodosas, el ecosistema de manglar es seriamente afectado (Ellinson, 2004). Incrementos del nivel del mar entre 0,9 y 9,8 mm/año producen alteraciones en los patrones de

Varios autores indican que en el sistema radicular del manglar es donde se concentran las evidencias más claras del efecto del calentamiento sobre este tipo de ecosistemas.

Use sus músculos

La vida moderna nos ha vuelto sedentarios e “inútiles”, tenemos máquinas eléctricas que nos ayudan para todo. Hagamos un esfuerzo extra para cortar la carne, exprimir naranjas, amasar harina, poner un tornillo, cortar el césped, podar un árbol, restregar el piso, lavar el carro, barrer las hojas, etc.

erosión y sedimentación, hipersalinización en las áreas internas, estrés por inundación y efectos en los aportes de nutrientes terrígenos. En el Pacífico sur se ha demostrado que mientras el manglar de las islas bajas muestra ser más sensible al incremento del nivel del mar, el manglar de los bordes continentales sufre disrupción y retroceso (Gilman *et al.*, 2006). En las lagunas y humedales costeros es altamente probable que el incremento del nivel del mar origine una migración hacia el interior del área del manglar, que puede producir hasta un 25% de pérdida de humedales costeros, reduciendo la disponibilidad de hábitat para las especies que se reproducen, alimentan o viven en esos ambientes (IPCC, 1990, 2001). En EEUU se estima que una subida de 0,3 metros en el nivel del mar eliminaría del 17 al 43% de sus humedales costeros (EPA, 2002).

Se predice que el incremento del nivel del mar afectará la distribución oceanócara de los propágulos de manglar, haciendo que este ecosistema amplíe su área de distribución invadiendo ambientes subtropicales, pero su diversidad disminuiría marcadamente con cambios en el patrón fenológico (Ellinson, 2004). El calentamiento afectará la habilidad de los propágulos para establecerse y prosperar en zonas intermareales, lo que priva a las costas de un control natural contra la erosión, tormentas, inundaciones y crecidas. Rabinowitz (1978) y Jiménez (1988), citados por Snedaker (1993), señalan que las especies con propágulos grandes, como *Rhizophora sp.*, pueden establecerse en áreas de relativa profundidad, al contrario de aquellas que poseen propágulos pequeños, como *Avicennia sp.* Se ha predicho que en el Caribe los propágulos y semillas de *Avicennia germinans* pueden caer y no germinar bajo condiciones de inundación prolongada (Snedaker, *op. cit.*; Vicente, Singh & Botello, 1993).

También el incremento del nivel del mar afecta las comunidades de organismos marinos que viven en las raíces del manglar. Varios autores indican que en el sistema radicular del manglar es donde se con-

centran las evidencias más claras del efecto del calentamiento sobre este tipo de ecosistema. En especies con raíces aéreas, por ejemplo *Avicennia germinans*, el incremento del nivel del mar produce la muerte masiva del manglar y de toda la fauna asociada a éste; al contrario, el efecto sobre las comunidades que habitan en las raíces del manglar rojo podría ser leve o insignificante, debido que su sistema radicular podría estar más alto y la fauna y flora que pueda resultar afectada podría recolonizar el manglar en poco tiempo (Gilman *et al.* 2004, en Gilman *et al.*, 2006; Ellison, 2000, 2004; Krauss, Allen & Cahoon, 2003; Vicente, Singh & Botello, 1993).

El calentamiento climático también afecta las comunidades que habitan playas de arena y grava reduciendo el espacio viable al ocasionar retrocesos en las playas. En el Caribe, las comunidades que habitan playas de arena y de grava contienen especies (epifauna e infauna) adaptadas a sustratos inestables y son capaces de migrar tanto vertical (*Donax denticulatus* y *Emerita sp.*) como horizontalmente (*Mellita sp.*, *Astropecten sp.*, etc.), esta característica les ofrece una alta posibilidad de adaptación al incremento del nivel del mar (Vicente, Singh & Botello, 1993); al contrario, las que viven en playas duras con sustratos rocosos como fiordos, acantilados y zonas de salpicadura, pueden desaparecer por inmersión prolongada o por fallas en la trama trófica. Un incremento en los niveles medios del mar como los esperados por el calentamiento afectará también a los mamíferos marinos que dependen de las costas para su reproducción (lobos marinos, focas, osos polares, etc.).

Si el calentamiento traspasa el umbral de tolerancia de las fanerógamas que forman praderas marinas, entonces se producirá una gama de respuestas parcialmente entendidas. La literatura indica que el efecto más evidente y común del calentamiento sobre las fanerógamas marinas es la reducción del área de las praderas. La recuperación de praderas afectadas por episodios cálidos es lenta. Vicente & Rivera (1982) asumen que el incremento del nivel del mar

podría reducir la penetración lumínica y afectaría a las poblaciones de tortugas marinas y de otros organismos dependientes de las praderas, lo que podría exacerbarse por el incremento en la presencia de otros herbívoros, como el erizo de mar (*Diadema antillarum*).

Otro ecosistema “clave” que resulta afectado por el calentamiento climático son los corales. Los corales de aguas someras constituyen un blanco fácil, debido a su especial sensibilidad y fragilidad. El calentamiento puede elevar la temperatura del mar por encima del intervalo térmico de su supervivencia. Cuando esto ocurre, el coral responde expulsando la *zooxantella*, perdiendo color y exponiendo su esqueleto calcáreo a través del tejido transparente (Nellermann, Hain & Alder, 2008; Donner *et al.*, 2005; Glynn *et al.*, 2001; Glynn & D’Croz, 1990; Almada-Villela *et al.*, 2002). Un incremento prolongado de la temperatura, inclusive durante el verano, por encima 1 °C de la media mensual habitual, puede dar inicio a un proceso de blanqueamiento (Glynn, 1996, en: Nellermann, Hain & Alder, *op. cit*). A largo plazo, la acidificación del océano, por incremento del CO₂ en el calentamiento, puede reducir la cubierta de coral disolviéndolo, o puede limitar su capacidad de recuperación. (Imagen 1)

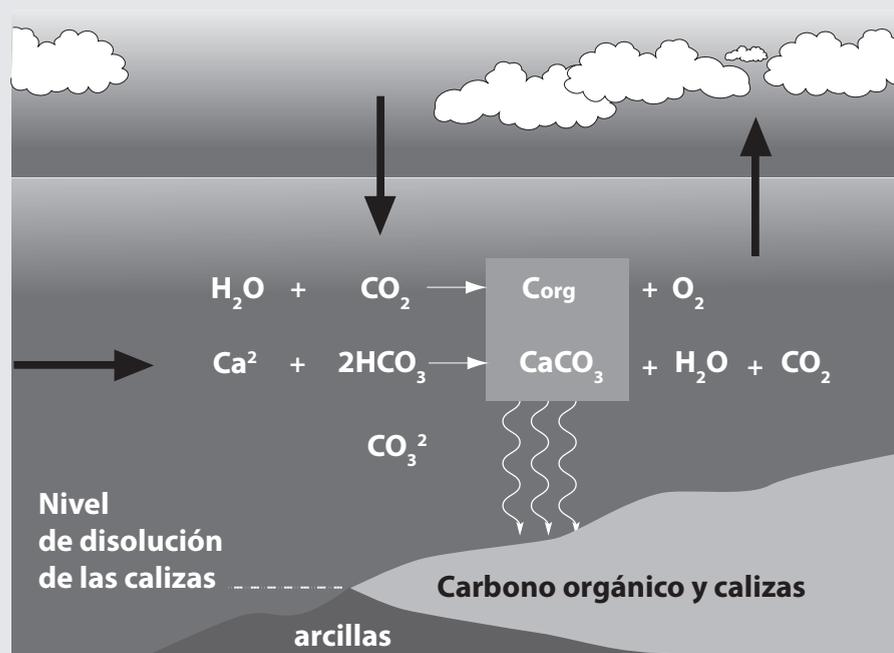
De acuerdo con las predicciones del IPCC, más del 80% de los arrecifes de coral del mundo pueden morir en décadas, la mayor parte por el blanqueamiento. En las aguas tropicales, una elevación de la

CUADRO 1 EL BOMBEO BIOLÓGICO

El mar contiene en disolución cerca de 50 veces más carbono que el CO₂ que hay en la atmósfera. Se estima que existen en los fondos marinos cerca de 78'000.000 Gt (gigatoneladas) de carbono, comparados con 750 Gt que hay en la atmósfera. La evidencia muestra que el océano “secuestra” o almacena CO₂ atmosférico a través del llamado *bombeo biológico*. En este bombeo hay, en ambos sentidos, un continuo trasvase de este gas. La concentración de CO₂ en la atmósfera disminuye al aumentar la producción biológica del océano, por lo que los ecosistemas con valores altos de producción biológica, como son los corales, etc., juegan un papel importante en el calentamiento del clima. Se conoce que sobre períodos de décadas, los corales pueden contribuir con 0,02 a 0,08 Gt/año (gigatoneladas/año) de CO₂ a la atmósfera (Warew *et al.*, 1992). En el bombeo, el océano actúa como “sumidero térmico” haciendo que una parte del CO₂ que ingresa no salga a corto plazo, retardando el efecto pleno del calentamiento. La tendencia del calentamiento reducirá la capacidad del océano para “capturar” CO₂, lo que traerá un incremento de este gas en la atmósfera, pues el CO₂ atmosférico puede tardar entre 50 y 200 años antes de reaccionar en sus fuentes, debido al lento in-

Evite tanto envase de agua potable

Es más dañino y se gasta más plástico que agua con su consumo, habitual, en las botellas individuales que se compran en todos los supermercados. Usted puede comprarla por galones y re-usar las botellas individuales muchas veces, o puede hervirla y llevarla en un recipiente más cómodo.



Aspectos del bombeo marino de carbono

El carbono se encuentra disuelto en el agua de mar en forma de dióxido de carbono, bicarbonatos y carbonatos, en una proporción entre ellos que se mantiene en un determinado equilibrio. El carbono precipita al fondo en forma de carbono orgánico (fotosintético) o bien en forma de caliza (por encima del nivel de disolución de ésta).

Fuente: *Historia del clima de la Tierra*. Uriarte (2003)

tercambio de carbono entre las aguas superficiales y las profundas del océano. El CO₂ que se emite hoy influirá en su concentración atmosférica durante siglos (IPCC, 1990, 2007, Uriarte, 2003).

El incremento de CO₂ atmosférico puede reducir marginalmente la alcalinidad de las aguas de mar a través de un aceleramiento en la velocidad de disolución química del carbonato del coral (Done, 2004), lo que hace que los océanos se tornen más ácidos, perjudicando la biocalcificación, pues la reduce, afectando la formación de las conchas o esqueletos de corales, caracoles marinos y otras especies que pro-

ducen exoesqueletos calcáreos y toda la trama trófica. Para el año 2100, la retroalimentación del ciclo del carbono elevará la temperatura media global en más de 1 °C, lo que supone un aumento en el CO₂ disuelto en el agua de mar, elevando la acidificación de los océanos. Las proyecciones muestran una probable reducción en promedio global del pH de las aguas oceánicas superficiales entre 0,14 y 0,35 unidades en el siglo XXI. Normalmente, el agua de mar tiene un pH cercano a 8, pero la acidificación puede mover este valor hasta un pH de 7,4 (IPCC, 2007, Uriarte 2003; Caldeira *et al.*, 2003).

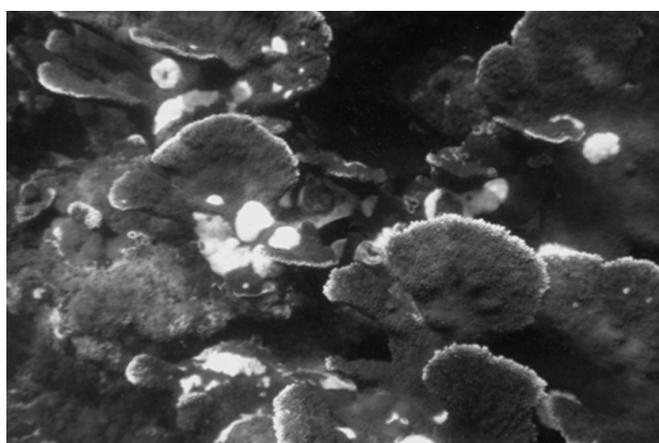


Imagen 1. Blanqueamiento de coral en forma de banda.

Fuente: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, San Juan de Puerto Rico. <http://www.drna.gobierno.pr/oficinas>.

temperatura de tan sólo 3 °C predicha por el IPCC para el año 2100, puede resultar en eventos anuales o bianuales de decoloración. Los pronósticos más optimistas señalan un blanqueamiento anual del 80-100%, lo que produciría graves daños al coral y posiblemente la muerte de los corales del Caribe, Pacífico occidental, Océano Índico y Golfo Pérsico, entre otros (Nellemann, Hain & Alder, *op. cit.*).

En la acidificación del agua de mar, el plancton y los corales juegan un papel importante, contribuyen-

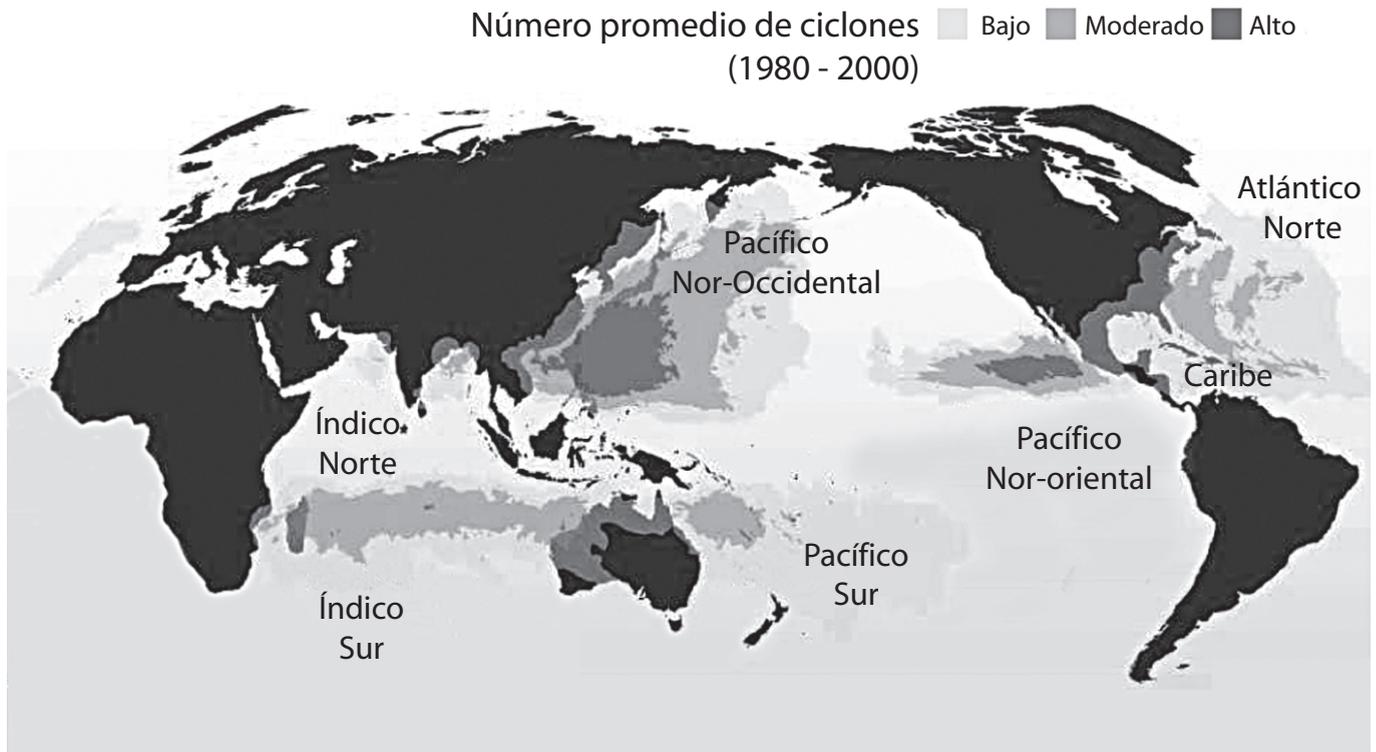


Imagen 2. Frecuencia en ciclones y otras tormentas tropicales
Fuente: *unep-grid Europa*. Nellermann, Hain & Alder (2008).

do marcadamente a reducir de CO₂ de la atmósfera, pero a su vez pueden resultar afectados por pérdida en la biocalcificación (cuadro 1). Los efectos de la acidificación del océano sobre la biosfera marina están en su mayoría indocumentados, pero se esperan graves cambios ecológicos por el calentamiento. Incluso, se predice que estos cambios pueden ser generalizados, devastadores y podrían cambiar la vida marina tal como las conocemos hoy (Orr *et al.*, 2005, en: Nellermann, Hain & Alder, 2008). Muchas regiones del océano estarán sub-saturadas con car-

bonato de calcio, mientras las regiones tropicales continuarán saturadas. La condición de sub-saturación afectará a todos los organismos marinos que utilizan el carbonato de calcio para construir sus esqueletos calcáreos. Se espera que para el año 2100, cerca del 75% de todos los corales de aguas frías estarán viviendo en aguas sub-saturadas. Esta situación podría extenderse a todo el océano Antártico y al océano Pacífico subantártico (Orr *et al.*, 2005, en: Nellermann, Hain & Alder *op. cit.*)

Reúnase por internet

En el mundo de hoy, estar frente a la pantalla de su computador es estar presente y disponible para lo que su trabajo requiera. Ahorre viajes innecesarios a otras ciudades y traslados donde los clientes o proveedores. Haga teleconferencias, reúnese sin salir de su oficina, además ahorra en el tinto.

Efectos de los ecosistemas por tormentas y huracanes

Uno de los efectos subrayados como de alta probabilidad en las evaluaciones del calentamiento climático sobre el planeta es que éste puede modificar el número y la intensidad de las tormentas tropicales, lo que al parecer está asociado con la presencia de eventos cálidos de El Niño (Klotzbach, 2006). Esta predicción es aún un tema controvertido y no bien entendido. Se ha sugerido que lo observado durante la presencia de El Niño, y de las tormentas tropicales, bien puede servir para inferir lo que ocurriría sobre los ecosistemas marinos en un mundo más caliente (Escobar, 1999) (cuadro 2). El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Calentamiento Climático (IPCC), predice que “es altamente probable que las futuras tormentas tropicales (tifones y huracanes) sean más frecuentes y más intensas. Las trayectorias de las tormentas tropicales extras se moverán más hacia los polos como consecuencia de cambios, tanto en los vientos, como en la precipitación y en los patrones de temperatura” (IPCC, 2007). Recientemente se ha observado la formación de huracanes en áreas conocidas como no ciclogénicas, tal como ocurrió frente a la costa de Brasil en el Atlántico suroriental (Escobar, 2007). (Imagen 2).

Cada año, como promedio, se forman en el Caribe, Atlántico y Golfo de México alrededor de diez tormentas tropicales, de las cuales seis se transforman en huracanes y de ellos al menos uno tiene una categoría mayor de tres en la escala Saffir-Simpson (Escobar, 1999). Los de esta categoría (o aun menores) constituyen la causa mayor de destrucción de playas, manglares y corales, afectando todas las comunidades de organismos del litoral superior, incluyendo aves marinas. Algunos huracanes dejan las playas completamente desnudas destruyendo la vegetación protectora, haciéndolas más vulnerables a la erosión. El retroceso de la línea de playa es un efec-

to común y en varios casos este ha llegado a ser permanente. Con ocasión del huracán Luís, en 1995, en Montserrat, se observó, por ejemplo, que a 40 Km. del centro del huracán la playa retrocedió hasta 30 metros y a una distancia de 180 Km. el retroceso varió entre 2 a 5 metros. Algunas playas se recobran lentamente, entre tres o más años, pero la experiencia ha mostrado que las playas impactadas no se recobran a las condiciones pre-impacto por lo que muchos componentes de la biodiversidad se pierden (Escobar, 1999, Church *et al.* 2004). (Imagen 3).

Los corales de aguas someras son impactados severamente por los huracanes. Durante las temporadas de 2000, 2001 y 2002, los corales de Mesoamérica y el Caribe oriental resultaron afectados repetitivamente por los huracanes presentados en esos años. En esas ocasiones se observaron destrozos masivos; por ejemplo, en Belice, más del 75% de la cubierta de coral se perdió (UNEP, 2004). Una situación similar ha sido observada en los corales de otras regiones. Un estudio en la región del sudeste de Asia señaló que cerca 88% de los arrecifes de la región están en riesgo, la mayor parte por acción de las tormentas (Church *et al.*, 2004; Burke, Selig & Spalding, 2002; Done, 2004). Los huracanes inducen a eventos masivos de blanqueamiento de corales. Los efectos combinados de una mayor frecuencia en los huracanes, como la predicha por el calentamiento del clima, con los otros factores ligados al calentamiento, arrojan un futuro crítico de supervivencia para estos ecosistemas tropicales.



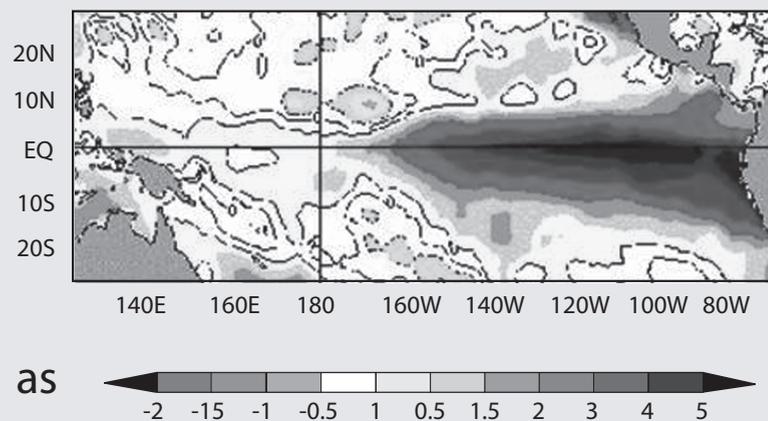
Imagen 3. Manglares afectados por huracanes en México.

CUADRO 2

EFFECTOS EN LA BIOTA MARINA DE EVENTOS DE INTERACCIÓN OCÉANO ATMÓSFERA: EL NIÑO

El Niño ofrece una pauta válida para estimar los efectos del calentamiento del clima sobre las comunidades de organismos marinos y sobre sus poblaciones e inferir de éste lo que sucedería en un ambiente marino cada vez más cálido, como el que se predice ocurrirá por el calentamiento climático. El campo de acción del fenómeno es el océano Pacífico, pero sus impactos comprometen también el océano Índico y el Atlántico. Las condiciones anómalas que se observan en el mar durante la fase cálida del fenómeno incluyen: incremento en el nivel medio, profundización de la termoclina con cambios en la nutriclina, atenuación del afloramiento afectando la producción primaria, cambios en la distribución del plancton, necton y de otros organismos marinos como reptiles, aves, mamíferos, peces e invertebrados. Ocurre mortalidad de especies y disminución y migración de especies; “unos vienen y otros se van”. Si las condiciones anormales permanecen por períodos prolongados, se pueden producir cambios en la red trófica con efectos significativos en todas las comunidades de organismos del ecosistema marino. En conjunto, el fenómeno produce toda una alteración total del sistema biofísico del Pacífico Oriental Suramericano (Mantua, 1997; UNEP, 1994; Escobar, 2000).

Anomalía de temperatura superficial del mar (°C)



Anomalías de temperatura superficial del mar durante El Niño 1997 en °C
Fuente: NOAA.

Pase vacaciones cerca

Es cuestión de relajarse. Muchos viajes demasiado largos y costosos no son descanso, además a sus hijos les basta una piscina y papas fritas para pasarla bien. Demórese menos tiempo viajando y más descansando. Explore alrededor suyo y sorpréndase con la gente y los lugares cercanos a su casa.

Conclusiones

El calentamiento climático es un tema aun incierto. Algunos opinan que el sol se está enfriando y la actividad solar ha disminuido, por lo que el clima se hará cada vez mas frío; otros van en dirección contraria, y señalan que la tierra se está derritiendo por el calentamiento, pero lo cierto es que algo está sucediendo con el clima y que compromete la habitabilidad del planeta en un horizonte de tiempo incierto.

El calentamiento global de los océanos produce un escenario crítico de múltiples derivaciones que se traducen en una alta variedad de respuestas biológicas y ecosistémicas, todas concatenadas, que van desde niveles enzimáticos hasta poblaciones de organismos marinos, comunidades y ecosistemas. En las predicciones sobre el futuro del océano, la incertidumbre predomina. La estimación de cómo la biota marina reacciona al cambio climático está rotulada de “difícil”, debido a la cantidad de información necesaria para hacerlo. Hay que hacer un esfuerzo muy grande para desagregar los efectos acumulados actuales en la biosfera marina e individualizar los que son exclusivos al calentamiento climático, para no caer en especulaciones ni hacer subestimaciones. Hay vacíos en el conocimiento, por ejemplo, de cómo el cambio climático puede afectar la productividad de los afloramientos o en los efectos de la acidificación de los océanos. También existen opiniones encontradas sobre muchos aspectos del calentamiento que afectan la biosfera marina; dentro de ellos, el efecto del calentamiento sobre los centros ciclogénicos de tormentas y crecidas.

Interpretando a Lovelock, ¿puede El Niño ser una respuesta a gran escala de cómo el océano vomita calor cuando esta ahíto de éste? También: ¿puede el calentamiento hacer que El Niño sea más frecuente? Si esto es así, ¿cuál sería la situación de los ecosistemas bajo condiciones cuasi-permanentes de El Niño? ¿Cómo se relaciona el calentamiento climático con el sincronismo de las poblaciones de organismos marinos? ¿Cuál sería la situación de la biota a largo plazo

en un ambiente marino sometido a una condición de sobresaturación de carbonato de calcio?

A pesar de que los detractores del calentamiento del clima, aun forzados a utilizar bermudas en invierno se resisten a aceptarlo, el calentamiento climático es una verdad a “a viva voz”. No cabe duda de que la contribución antropogénica al calentamiento está forzando el efecto radioactivo, acelerando el cambio climático, calentando el océano, con lo que se está perfilando un paisaje marino muy distinto al conocido. Estamos cambiando miles de años de trabajo de evolución, en tan sólo pocas décadas, con lo que el calentamiento podría llevar a la humanidad a una situación de angustia colectiva. Esto refuerza la necesidad de que los estudios para mejorar la comprensión sobre las respuesta de la biosfera marina al calentamiento lleven un mensaje de urgencia. Quizás es en la misma biosfera donde se encuentre la respuesta salvadora.

Bibliografía citada y consultada

- ALMADA-VILLELA, P., M. McFIELD, P. KRAMER, P. RICHARDS KRAMER & E. ARIAS GONZÁLES. 2002. «Status of coral reef of Mesoamerica-México, Belize, Guatemala, Honduras, Nicaragua». En: WILKINSON, C. (ed.). *Status of Coral Reef of the World*. Townsville (Australia), Australian Institute of Marine Science. 400 pp.
- BOTSFORD, L.W., C.A. LAWRENCE, E.P. DEVER, A. HASTINGS & J. LARGIER. 2006. «Effects of variable winds on biological productivity on continental shelves in coastal upwelling systems». *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography* 53 (25-26): 3116-3140.
- BURKE, L., L. SELIG & M. SPALDING. 2002. *Reef at Risk in Southeast Asia*. Washington DC, World Resources Institute (WRI).
- BRYDEN, H. *et al.* 2005. «Slowing of the Atlantic Meridional Overturning at 25N». *Nature* 438, 655-657.
- CHURCH, J., J. HUNTER, K. McINNIS & N. WHITE. 2004.

- «Sea level rise and the frequency of extreme events around the Australian coastline». En: *Coast to Coast 04. Conference Proceedings*. Hobart, Australia's National Coastal Conference, April 19-23. 8 pp.
- CALDEIRA, K., A.K. JAIN & M.I. HOFFERT. 2003. «Climate sensitivity uncertainty and the need for energy without CO₂ emission». *Science* 299 (5615): 2052-2054.
- CPPS / PNUMA. 1988. *Report of the Task Team for the South East Pacific on Implications of Climatic Change*. Santiago de Chile, UNEP (OCA/PAC) WG 2/5, 56 pp.
- DONE, T. (Australian Institute of Marine Sciences, AIMS). 2004. «Implications of changed temperatures, sea level, and atmospheric carbon dioxide and cyclone regimes». En: Green *et al.* (eds.). *Global Climate Change and Biodiversity* (*op. cit.*).
- DONNER, S.D., W.J. SKIRVING, C.M. LITTLE, M. OPPENHEIMER, & O. HOEGH-GULDBERG. 2005. «Global assessment of coral bleaching and required rates of adaptation under climate change». *Global Change Biology* 11 (12): 2251-2265.
- ESCOBAR R., J.J. (En prensa). «El cambio climático: una caja de Pandora ambiental». En: revista *Cuarzo*. Bogotá, Fundación Universitaria Juan N. Corpas.
- . 2000. *Estado del medio ambiente marino costero del Pacífico Sudeste. Plan de Acción para la protección del medio marino y áreas costeras del Pacífico Sudeste (Colombia, Chile, Ecuador, Panamá y Perú)*. Quito, Secretaría General de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). 165 pp.
- . 1999. «Fenómenos climáticos y vulnerabilidad. La ecuación determinante de los desastres: el caso de los pequeños estados insulares». Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), doc. LC/R 1935, 14 de septiembre. 42 pp.
- EDWARDS, M.J. & A.J. RICHARDSON. 2004. «Impact of climate change on marine pelagic phonology and trophic mismatch». *Nature* 430 (7002): 881-884.
- ELLISON, J.C. (University of Tasmania, Australia). 2004. «Climatic Change and sea level rise impacts on mangrove ecosystems». En: Green *et al.* (eds.). *Global Climate Change and Biodiversity* (*op. cit.*).
- . 2000. «How South Pacific mangroves may respond to predicted climate change and sea level rise». En: GILLESPIE, A. & W. BURNS (eds.). *Climate Change in the South Pacific: Impacts and Responses in Australia, New Zealand, and Small Islands States* (15): 289-301. Dordrecht, Kluwer.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 2000. *Global Warming Impacts*. <http://www.epa.gov/globalwarming/impacts>(consultado: 23-07-2008).

Coma menos carne

La producción de carne de res, cerdo y pollo consume cantidades inmensas de agua y energía. Las vacas, además, producen gas metano, gran contribuyente del calentamiento global. Reemplace la carne, cada que pueda, por frijoles, garbanzos, lentejas y muchas otras proteínas de origen vegetal.

- GILMAN, E., H. van LAVIEREN, J. ELLSON, V. JUNGBLUT, L. WILSON, F. AREKI, G. BRIGHOUSE, J. BUNGTAK, E. DUS, M. HENRY, I. SAUNI jr., M. KILMAN, E. MATHEWS, N. TEARKI-RUATU, S. TUKIA & K. YUKNAVAGE. 2006. *Pacific Island Mangroves in a Change Climate and Rising Sea*. Nairobi (Kenya), UNEP Regional Seas Report and Studies N° 179. 70 pp.
- GLYNN, P.W., J.L. MATE, A.C. BAKER & M.O. CALDERON. 2001. «Coral bleaching and mortality in Panama and Ecuador during the 1997-1998 El Niño-Southern Oscillation event: spatial/temporal patterns and comparisons with the 1982-1983 event». *Bulletin of Marine Science* 69: 79-109.
- y L. D'CROZ. 1990. «Experimental evidence for high temperature stress as a cause of El Niño-coincident coral mortality». *Coral Reff* 8: 181-191.
- GREEN, Rhys E. et al. (eds.). 2004. *Global Climate Change and Biodiversity*. Norwich (UK), University of East Anglia.
- GRUPO DE TRABAJO REGIONAL DE EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS DEL PACÍFICO SUDESTE PNUMA/CPPS. 1994. «Implicaciones de los Cambios Climáticos sobre los Ecosistemas Marinos del Pacífico Sudeste». En: *Mar 94*, 207-262. Bogotá, Asociación Colombiana para Avance de la Ciencia (ACAC) / Comisión Colombiana de Oceanografía (CCO).
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATIC CHANGE (IPCC). 2007. *Climatic Change 2007: «The Physical Science Basis» – «Summary for Policymakers»*. Contribution o Working Group I to the Fourth Assessment Report of IPCC. París.
- (J. T Houghton, Y. Ding, DJ. Griggs, M. Noguer, P. J van der Linden & D. Xiaosu, eds.). 2001. *Cambio climático 2001: «La base científica»*. Tercer informe de evaluación.
- . 1995. *Cambio Climático 1995*. Segundo informe de evaluación. 71 pp.
- . 1990. Primer informe de evaluación. 260 pp.
- KLOTZBACH, P. 2006. «Trends in global tropical cyclone activity over the past twenty years (1986-2005)». *Geophysical Research Letters* 33, L10805.
- KRAUSS, K.W., J.A. ALLEN & D.R. CAHOON. 2003. «Differential rates of vertical accretion and elevation changes among aerial root types in Micronesian mangrove forests». En: *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* (54): 251-259.
- LEARMONTH, J.A., C.D. MACLEOD, M.B. SANTOS, G.J. PIERCE, H.Q.P. CRICK & R.A. ROBINSON. 2006. «Potential effects of climate change on marine mammals». *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 44, 431-464.
- LIZARRAGA, C. 2004. *Impacto del fenómeno El Niño en los ecosistemas marinos*. Panamá, Universidad Autónoma de Chiriquí.
- MANTUA, N. 1997. «ENOS y los impactos de ODP sobre la ecología marina del noreste del Pacífico». Seattle, University of Washington / The Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Oceans. 15 p.
- MAUL, A.G. 1994. «Implicaciones de los Cambios Climáticos en la Región del Gran Caribe». En: *Mar 94*: 264-290. Bogotá, Asociación Colombiana para Avance de la Ciencia (ACAC) / Comisión Colombiana de Oceanografía (CCO).
- (ed.). 1993. *Climatic Change in the Intra-Americas Sea: Implications of future climatic on the ecosystems and socio-economic structure in the marine and coastal regions of the Caribbean Sea, Gulf of Mexico, Bahamas, and northeast coast of South America*. United Nations Environment Programme (UNEP) / Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC). 389 pp.
- NELLERMANN, C., S. HAIN & J. ALDER (eds.). 2008. *In Dead Water. Merging of Climatic Change with pollution, over-harvest and infestations in the world's fishing grounds*. Norway, United Nations Environment Programme (UNEP) / GRID-Arendal.

- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. 1992. *Adopción de Acuerdos sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Programa 21*. Documento de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Río de Janeiro, junio 3-14 de 1992. Doc. A/CONF 151/4 (part II), tema 9 del Programa Provisional. 295 pp.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA). 2002. *Perspectivas del medio ambiente mundial, GEO-3*, Madrid, Mundi-Prensa.
- , OCA/PAC. 1992. «Actualización del cambio climático». En: revista *Sirena. Noticias del Programa del PNUMA para los Océanos y Zonas Costeras* N° 45, marzo 7-21.
- RICHARDSON, A.J. & S.D. SCHOEMAN. 2004. «Climatic Impact on Plankton Ecosystem in Northeast Atlantic». *Science* 305 (5690): 1690-94.
- SHARP, G.D. & R.D. McLAIN. 1993. «Fisheries, El Niño Southern Oscillation and Upper- Ocean Temperature Records: An Easter Pacific Example». *Oceanography* 1 (6): 13.
- SNEDAKER, S.C. 1993. «Impact on Mangroves». En: MAUL, G.A. (ed.). *Climatic Change in the Intra-Americas Sea (op. cit.)* (12): 282-305.
- URIARTE, C.A. 2003. *Historia del Clima en la Tierra*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- UNEP. 2004. *Peoples and Reef: Successes and Challenges in the Management of Coral Reef Marine Protected Areas*. Nairobi (Kenya), UNEP Regional Seas Report and Studies N° 176. 100 pp.
- . 1994. «The impacts of Climate on Fisheries». Environmental Library N° 13. 36 pp.
- VICENTE, V., P.N.C. SINHG & A.V. BOTELLO (1993. «Ecological Implications of Potential Climatic Change and Sea Level Rise». En: MAUL, G.A. (ed.). *Climatic Change in the Intra-Americas Sea (op. cit.)* (11): 262- 281.
- y J.A. RIVERA. 1982. «The depth limits of the seagrass *Thalassia testudinum* (Konig) in Jobos and Guayanilla Bays, Puerto Rico». *Caribbean J. Sci.* 17(1-4), 79-89.
- WAREW, J.R., S. SMITH & L.M. REAKA-KUDLA. 1992. «Coral Reefs: ¿Sources of Sinks of Atmospheric CO₂?» *Coral Reef* 11, 127-130.

JAIRO ESCOBAR RAMÍREZ

Biólogo marino, asesor consultor para el Plan de Acción para la Protección del Medio Marino y de las Áreas Costeras del Pacífico Nordeste CNP/PNUMA, Programa de Mares Regionales.

Compre alimentos frescos

La industria de los congelados es de las más costosas para su bolsillo y para el planeta. Mantener alimentos refrigerados consume mucha electricidad y produce gases de efecto invernadero. Comprar frutas, verduras y pescado congelado, entre otros, es un lujo que todos pagamos caro.