

Los arrecifes coralinos son ecosistemas tropicales reconocidos a nivel mundial por su alta diversidad y la gran riqueza de especies que albergan. Gracias a esa condición ofrecen una variedad de servicios ambientales, que representan millones de dólares para las comunidades humanas que viven en sus alrededores. No obstante su relevancia, la situación actual de los arrecifes dista de ser la más deseable. Las actividades humanas y sus impactos directos (pesca, turismo, sedimentación) e indirectos (el escurrimiento de nutrientes provenientes de tierras altas, la dispersión de especies exóticas, el aumento en la susceptibilidad a enfermedades) los están afectando de manera irreversible.

Adicionalmente, los efectos que ha tenido en éstos el calentamiento global han llamado la atención del público y los investigadores, no sólo por ser nocivos para la fauna y flora marina a causa del incremento en la temperatura, sino también por el riesgo que implica un aumento en la acidificación del océano por la alta concentración de dióxido de carbono en la atmósfera y su difusión hacia las aguas marinas. Este fenómeno podría reducir significativamente la habilidad de los corales para construir arrecifes y también puede tener múltiples impactos colaterales en muchas otras especies y, eventualmente, en la eficiencia de las redes tróficas.

Por ser uno de los pocos países que cuentan con zonas costeras contiguas a los dos océanos más grandes del planeta y que presenta áreas coralinas en ambas, México es afectado por este problema. Así, en el Golfo de México podemos encontrar tales formaciones frente a los puertos de Tuxpan y Veracruz, que han ofrecido sus servicios ambientales al país desde hace más de cinco siglos. Hacia el este del golfo, en el Banco de Campeche y el norte de Yucatán, existe una serie de bajos y arrecifes emergidos (Cayo Arcas, Cayo Arenas, Triángulos, Alacranes y varios otros sitios cerca del puerto de Sisal), famosos tanto por su alta diversidad de especies como por el hecho de que algunos han sido impactados por las actividades de extracción petrolera. Asimismo, en el Caribe mexicano los arrecifes de coral están muy bien desarrollados y aparecen prácticamente a todo lo largo de la costa de Quintana Roo; su presencia aporta múltiples beneficios que sostienen la enorme actividad hotelera de ese estado, incluyendo la protección costera, el reciclamiento de nutri-





El **carbón** en los arrecifes  
coralinos de México



mentos, la protección a juveniles de múltiples especies, y representan la entrada de cientos de millones de pesos anualmente por concepto de visitas turísticas.

Y aunque los sistemas mencionados son los mayormente reconocidos por el público, en la costa occidental también existen arrecifes coralinos —biológicamente más simples y de menor extensión espacial. Los mejores ejemplos aparecen en los alrededores de Huatulco, Oaxaca, y en Zihuatanejo, Guerrero, aunque también hay sistemas importantes al sur de Manzanillo, Colima, en las Islas Mariás y la playa de Tenacatita, Jalisco, y en el Parque Nacional Cabo Pulmo, actualmente foco de interés internacional debido a la amenaza que sufre un sitio en específico por la posible construcción de un mega desarrollo turístico que se tiene contemplado en esa zona de Baja California Sur. Estos arrecifes aún no han sido muy valorados desde la perspectiva turística, pero representan eslabones clave para sostener el alto nivel de pesca artesanal que distingue a la región.

### Una fuente de carbono

La característica distintiva de un arrecife de coral es su estructura física o “edificio”. En un sistema típico, los corales vivos representan sólo la parte superficial expuesta, la cual crece relativamente a gran velocidad, entre 1 y 5 centímetros al año sobre una matriz de roca caliza, el edificio arrecifal, que ha sido depositada por procesos de biomineralización en forma muy gradual —menos de 1.5 cm al año a lo largo de cientos o incluso miles de años.

Aun en los sitios donde la cobertura de coral sobre el fondo marino llega a ser alta, el edificio no está compuesto úni-

camente de esqueletos de corales y sus fragmentos, ya que éstos representan sólo la parte primaria de la producción de carbonatos y funcionan como los “castillos” del edificio. Los “ladrillos” y el “mortero” lo constituyen los múltiples restos de otros organismos, con esqueletos de carbonato de calcio en forma de aragonita o de carbonato de magnesio, algas coralinas, algas frondosas como *Halimeda* spp., bivalvos, caracoles, briozoarios, esponjas, etcétera, los cuales se cementan por una serie de reacciones biogeoquímicas y gracias a procesos de empaquetamiento de los granos al interior de las cavidades que deja la caliza. La cantidad de carbonato de calcio que es depositado por los corales depende de las condiciones ambientales, ya que en aguas cálidas, poco productivas y muy iluminadas, los esqueletos crecen más rápido y allí pueden tener una mayor tasa de crecimiento o acreción.

También son relevantes los aspectos evolutivos, ya que especies de morfología ramificada (como los géneros *Acropora* y *Pocillopora*) crecen entre 4 y 10 cm al año, mientras que los corales masivos (*Porites*, *Montastraea*) lo hacen lentamente, menos de 1 cm por año. Las evaluaciones realizadas sobre la cantidad de carbonato que se deposita en los arrecifes, obtenidas a partir de las tasas de crecimiento coralino, indican que aunque hay sitios donde se generan hasta 10 kg de  $\text{CaCO}_3$  por  $\text{m}^2$  al año, la mediana del valor es de aproximadamente 4 a 5 kg. Otros trabajos indican que si se toma en cuenta el arrecife en su totalidad, incluyendo las zonas arenosas, lo normal es una cifra de 2 kg, la cual se traduciría a un total bruto de 20 toneladas de aragonita fija en la estructura arrecifal por hectárea al año y 3 toneladas de carbono retirado anualmente de la atmósfera por hectárea, gracias al crecimiento coralino.

Ahora, si bien el carbono depositado en los esqueletos de coral puede alcanzar grandes volúmenes, existe otra fuente de entrada neta al sistema de notable relevancia: la generación de compuestos orgánicos, producto de la fotosíntesis, proceso que llevan a cabo diversos grupos vegetales del arrecife. Los típicos productores primarios en el océano son las diatomeas, los dinoflagelados, coccolitofóridos y otros protistas, los cuales sostienen la producción primaria en la columna de agua y, por ende, las pesquerías de todo el mundo. Sin embargo, en el caso de los arrecifes de coral también es manifiesta la preponderancia de las algas filamentosas (cianofitas) y las coralinas (calcáreas), por lo que muchas veces la medición de la productividad orgánica en los arrecifes de coral se ha hecho sólo tomando en cuenta la parte béntica, es decir los organismos residentes en el fondo; el argumento es que la columna de agua es típicamente tan clara y trans-

parente que contiene muy pocos organismos fotosintetizadores suspendidos.

Algunos experimentos de campo muestran que el promedio de producción de carbono por algas en un arrecife equivale a casi 3 kg de  $\text{CaCO}_3$  por  $\text{m}^2$  al año, y es seis veces superior a la cantidad depositada por la calcificación de corales. Por otra parte, dado que además de las algas hay otros productores primarios que habitan el fondo arrecifal, las cifras reales de productividad resultante de su trabajo de fotosíntesis son muy superiores a las citadas, como en el caso de los dinoflagelados simbios (las zooxantelas) presentes en el tejido del coral, que aportan cantidades tan grandes de carbono de la fotosíntesis a sus hospederos, que llegan a cubrir entre 80% y 130% de las necesidades diarias del coral. El exceso de alimento es expulsado al medio en forma de mucus, rico en carbohidratos y grasas, que es consumido por los invertebrados y peces residentes en las cabezas de coral, los cuales eventualmente se transforman en el sostén para los siguientes eslabones de la red trófica.

Paralelamente a los datos obtenidos por los trabajos citados antes, los modelos de redes "tróficas" han ofrecido una visión más "holística", aunque indirecta, de las cantidades de carbono que son integradas en los ecosistemas coralinos. Existen numerosos estudios sobre el tema desde que se publicó el primer modelo para los arrecifes de Hawaii, pero uno de los más completos, ya que incluye todos los tipos de productores primarios, es el llevado a cabo en Puerto Rico y



señala que la biomasa de algas (de 250 toneladas por  $\text{km}^2$ ) es cuatro veces superior a la coralina (de 67 toneladas por  $\text{km}^2$ ) y casi diez veces mayor que la del fitoplancton (35 toneladas por  $\text{km}^2$ ).

No obstante lo anterior, la producción anual de biomasa en la columna de agua (70 toneladas por  $\text{km}^2$ ) es seis veces superior a la que realizan las algas y setenta veces más que la de los corales. Esto se debe a la notable diferencia en tasas de recambio de individuos y biomasa entre grupos, la cual se fundamenta en sus disímiles ciclos de vida, ya que una diatomea se duplica en biomasa luego de dividirse y por ello su población puede aumentar decenas de veces en cosa de días, mientras las algas frondosas y coralinas y los corales toman años o incluso décadas para aumentar sus poblaciones y rara vez presentan explosiones poblacionales como las del plancton.

#### La emisión de carbono

El apartado anterior sólo describe los procesos que favorecen el depósito o acumulación física neta de carbonatos en un arrecife, sin embargo, la estructura del mismo es resultado del balance entre las fuerzas constructivas, representadas por los organismos calcificadores como los corales y las algas calcáreas, y la acumulación de sedimentos; y, a la vez, también es resultado de fuerzas destructivas, erosión física





y biológica, que inciden en el cambio de masa del edificio arrecifal a lo largo del tiempo. Debido a que un arrecife sano sobresale del fondo marino y sigue creciendo, los procesos constructivos dominan sobre los destructivos; sin embargo, el carbono que ha sido incorporado al arrecife, ya sea por fotosíntesis o calcificación, puede salir del sistema de diversas maneras.

En el caso de las redes tróficas, los arrecifes son exportadores netos de energía hacia ecosistemas adyacentes y tienen íntima relación con ambientes circundantes, como los bosques de manglar, las playas arenosas y los pastos marinos. Además, el sistema presenta un acoplamiento bento-pe-lágico, lo cual significa que muchos organismos que habitan el fondo o cerca del mismo, invertebrados y peces demersales, pueden ser consumidos por depredadores móviles como los tiburones, dorados y otros, y ese carbono ser llevado a regiones alejadas de donde fue originado.

En cuanto al carbonato depositado en esqueletos y en la matriz arrecifal misma, éste se puede erosionar por desprendimiento de fragmentos de corales, vivos o muertos, debido al raspado de las mordidas de peces loro (*Scaridae*), cochitos (*Balistidae*) y otros mientras se alimentan de algas o moluscos. El efecto destructivo adicional causado por erizos, esponjas, gusanos y poliquetos sipuncúlidos, quitones y varios grupos más es también elevado. Dichos organismos perforan en forma química o mecánica los esqueletos de coral y en el proceso generan finas partículas de carbonato. Los sedimentos generados por las actividades normales de bioerosión son depositados en parte dentro del sistema arrecifal, pero grandes cantidades son exportadas a sitios distantes del arrecife o desaparecen del mismo al ser transportados hasta la pendiente del arrecife, donde resbalan hacia zonas demasiado profundas.

Finalmente, se ha demostrado que el crecimiento coralino genera 0.6 moles de carbono extras por cada mol de

$\text{CaCO}_3$  depositado, es decir, bajo la perspectiva biogeoquímica estos ecosistemas son fuentes, no sumideros de carbono. Sin embargo, hay que recordar que las cifras de fijación de este elemento por fotosíntesis señaladas en secciones previas de este texto indican inequívocamente que, haciendo el balance general, los arrecifes en realidad son depósitos finales de enormes cantidades de carbono que originalmente entraron al mar desde la atmósfera.

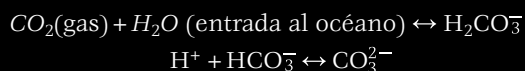
En resumen, los arrecifes son sumideros de carbono y ecosistemas relevantes para atenuar los efectos del cambio global. Como se mencionó, la pérdida de carbono de un arrecife normalmente es inferior a la ganancia, sin embargo el balance es delicado y el desarrollo de estos ecosistemas puede verse afectado en la medida en que estos procesos cambien e incluso pueden llegar a invertirse.

A manera de ejemplo, después del calentamiento del océano ocasionado por el fenómeno de El Niño de 1982 a 1983 murió casi 95% de los corales que vivían en las Islas Galápagos, Ecuador. Los esqueletos coralinos fueron rápidamente cubiertos por algas filamentosas, que son el alimento de los erizos, y como consecuencia tales organismos sufrieron una explosión poblacional debido a las condiciones de "bonanza" generados por la muerte de corales. Luego, dado a que los erizos son herbívoros y al alimentarse desprenden las algas junto con pequeños fragmentos del sustrato, fueron raspando el sustrato calizo y erosionándolo de manera sistemática y exhaustiva. Como resultado, para finales de los noventas, estos equinodermos habían destruido el edificio arrecifal hasta la base, de tal forma que los milenarios arrecifes de estas islas, atestiguados por Charles Darwin,



prácticamente dejaron de existir. Lo que ahora queda son sólo escombros y colonias aisladas, y este drástico cambio ecológico ocurrió en menos de una década y como consecuencia de un evento puntual.

Es obvio pues que la tolerancia de los arrecifes a las perturbaciones es limitada y que éstos pueden ser afectados de manera irreversible si las condiciones ambientales cambian, sea por causas naturales o humanas. La mayor preocupación actual relativa a la pérdida de carbonatos en arrecifes es la acidificación de los océanos, fenómeno que comenzó a llamar la atención en la década pasada una vez que fue identificado por los modelos de cambio climático. El problema surge de dos fuentes: por un lado, el dióxido de carbono atmosférico se encuentra en equilibrio con el del océano; y por el otro está la serie de reacciones que configuran el llamado "sistema de los carbonatos" en el océano, que se resume en la siguiente ecuación:



Esta cadena de reacciones indica que el  $\text{CO}_2$  que va de la atmósfera al océano reacciona con el agua de los océanos formando ácido carbónico y luego una serie de productos de disociación (iones bicarbonato y carbonato). Al final, el ion carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) se asocia con otros elementos, como el magnesio y el azufre en forma inorgánica, o es tomado por especies de esponjas, corales, moluscos y muchos otros grupos para construir sus esqueletos. Sin embargo, mientras estos cambios químicos tienen lugar, por cada molécula de  $\text{CO}_2$  integrada al ciclo hay liberación de dos protones ( $\text{H}^+$ ), por ende, la acidez del mar depende en gran medida del ingreso de  $\text{CO}_2$ .

En el siglo xx, debido a la industrialización y la emisión de gases que produce la quema de combustibles fósiles, el océano ha estado capturando más y más  $\text{CO}_2$ , y es por ello que su acidez ha aumentado ligeramente. Sin embargo, el mecanismo de amortiguación del pH marino tiene límites y hay preocupación de que éstos sean rebasados debido a que la acidez afecta a los organismos en múltiples formas.

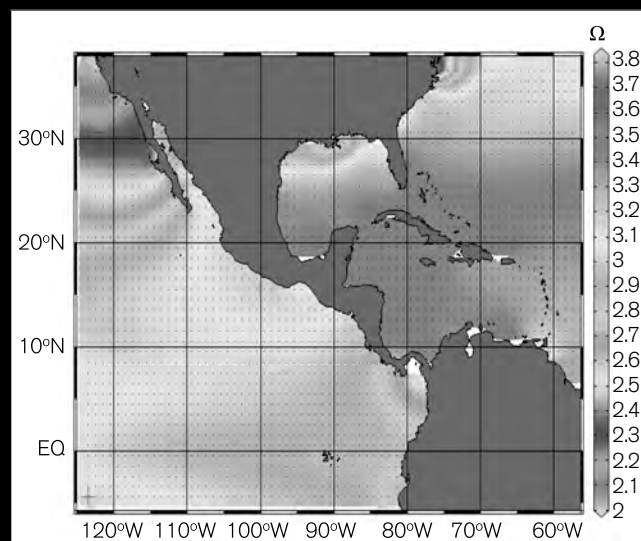
En el caso de los corales, se ha observado en laboratorio que un pH bajo impide el reclutamiento de las larvas, afecta el éxito reproductivo, detiene el crecimiento y eventualmente puede llegar a debilitar la matriz arrecifal, haciéndola más susceptible a ser destruida por agentes antropogénicos y naturales como los ciclones. Además, la acidez excesiva daña a muchas especies pues dificulta la toma del carbona-

to de calcio para sus esqueletos y los pone en estrés metabólico permanente.

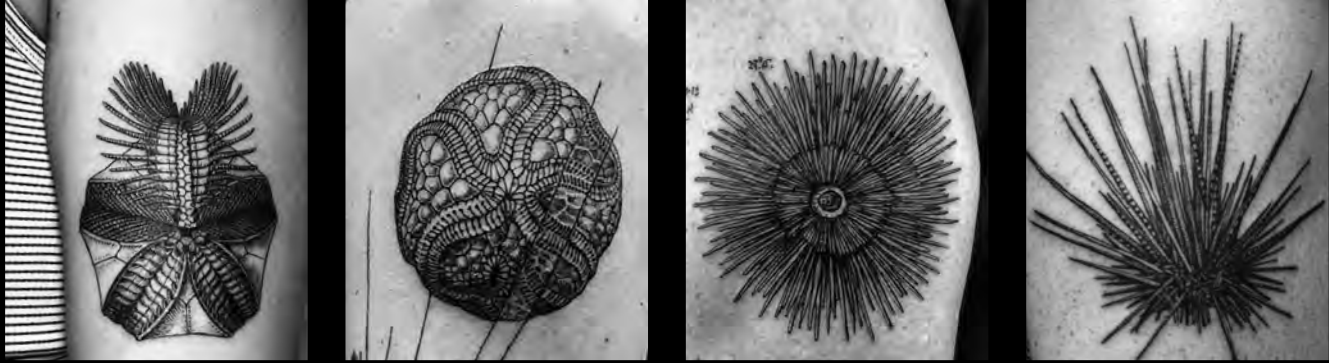
Si en un momento dado la tasa de erosión química y biológica supera la de calcificación, la complejidad estructural de los arrecifes disminuirá, reduciendo la calidad del hábitat y la diversidad biológica local, perdiéndose la capacidad de absorber la energía del oleaje. Esta baja en la eficiencia de la protección del litoral seguramente se verá reflejada en daños como los que se presentaron en Cancún en 2005, cuando un huracán de nivel 5 impactó la zona desprotegida por la desaparición de los arrecifes, eliminando toda la arena de la playa y causando un desastre económico valuado en cientos de millones de pesos.

### El flujo de carbono en los arrecifes mexicanos

Durante las últimas dos décadas, el conocimiento sobre los flujos de carbono en arrecifes de nuestro país se ha incrementado, en buena parte con el fin de evaluar la situación actual de tales ecosistemas y estimar posibles alteraciones debidas al cambio global. De entrada, se sabe que, de manera natural y debido a la alta productividad oceánica en la costa del Pacífico americano, la región entre México y Ecuador es de las más ácidas del planeta (figura 1). Un indicador de dicha condición es el valor del nivel de saturación ( $\Omega$ ) de aragonita, un parámetro que marca la dificultad de los organismos para depositar ese mineral. Normalmente el



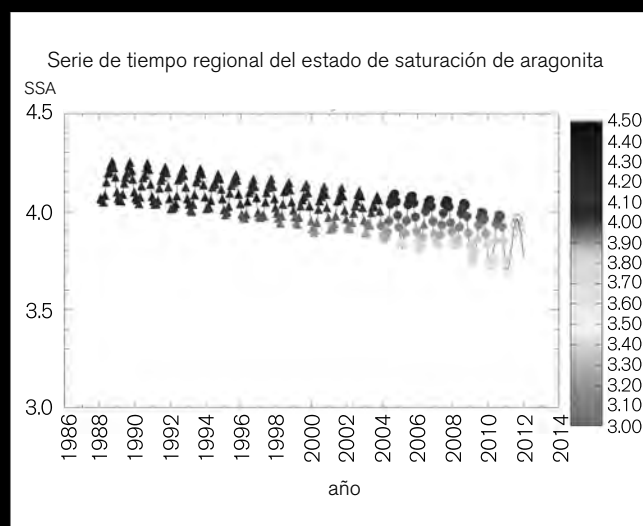
**Figura 1.** Concentración promedio anual de omega aragonita ( $\Omega$ ) en la costa del Pacífico, el Golfo de México y el Mar Caribe. Los tonos indican zonas donde omega < 3.1, es decir, donde por cuestiones químicas no puede haber desarrollo adecuado de arrecifes de coral.



índice no debe bajar de 3.1 para que un arrecife pueda desarrollarse en forma exitosa; sin embargo, desde la punta de la Península de Baja California hacia el norte el promedio anual es inferior a 3.0, lo cual explica por qué no se desarrollan estructuras coralinas de gran calado en esa zona.

No obstante, a pesar de lo anterior, la existencia de arrecifes sanos y en pleno desarrollo en zonas relativamente ácidas del oeste de México, Costa Rica y Panamá demuestra que la adaptación a tales condiciones es factible y abre esperanzas de que los corales de esta región, y de todo el mundo, puedan ajustarse a las condiciones que se esperan en el futuro ante la falta de regulación de emisiones de carbono a la atmósfera.

Por otra parte, un estudio más fino realizado sobre la omega de aragonita en arrecifes del suroeste del Golfo de California (figura 2) mostró que Los Cabos (22° N) presentan condiciones aceptables para el crecimiento coralino en verano y otoño en profundidades de hasta 20 metros, y en Cabo Pulmo, La Paz y Loreto el valor promedio del índice es superior a 3.2 y a 3.6 en septiembre, por lo que las condiciones aptas para el desarrollo de coral llegan a 30 metros



**Figura 2.** Valores de saturación de aragonita en cuatro zonas arrecifales del suroeste del Golfo de California. El límite inferior aceptado para el buen desarrollo coralino es de 3.1 unidades.

de profundidad. Finalmente, las estimaciones en cuanto al crecimiento de corales en las mismas zonas apuntan a que es en verano cuando se alcanzan mayores tasas. En resumen, se puede concluir que aunque el sur de Baja California es una zona marginal para el desarrollo coralino, durante el verano éste es más activo.

Otros autores analizaron la producción de carbonatos en varias zonas del Pacífico mexicano y midieron la densidad de los esqueletos coralinos, su tasa de crecimiento y su abundancia y, con base en ello, calcularon la cantidad anual de carbonato de calcio depositada en los arrecifes. Observaron que en Cabo Pulmo la cantidad bajó de 15 kg por m<sup>2</sup> al año en 1987 a 5 en 2006, mientras que en Huatulco la reducción fue de 12 a 8 kg por m<sup>2</sup> al año, lo cual se debió a la pérdida de cobertura coralina resultante de los eventos de blanqueamiento coralino causados por El Niño. Al mismo tiempo, los arrecifes de Tenacatita, Jalisco, permanecieron casi estables en su tasa de captura de carbono (de 14 a 16 kg por m<sup>2</sup> al año) debido a que tuvo un menor incremento en la temperatura.

En cuanto al Caribe, incluyendo México, el nivel de omega de aragonita a fines de los ochentas fluctuaba entre 4.0 y 4.3 en promedio y en 2011 pasó de 3.7 a 3.9. Las cifras están todavía muy lejos del 3.1 que se considera como mínimo aceptable, sin embargo, si la tasa de disminución se mantiene, en el futuro estos arrecifes se encontrarán en condiciones pobres para su mantenimiento.

## Conclusiones


Como se ha visto, en general se tiene un conocimiento adecuado de las principales rutas de entrada y salida del carbono en los arrecifes coralinos, pero aún falta mucho por saber. Es particularmente necesario llevar a cabo estudios que conjunten información sobre la captura de carbono bajo su forma inorgánica y por medio de las redes tróficas, incluso evaluar económicamente tal proceso para poder evidenciar más claramente la relevancia de estos ecosistemas.

En el caso de México, los datos sobre la entrada y salida de carbono en los arrecifes aún son escasos, lo que llama a

la necesidad de redoblar esfuerzos de investigación interdisciplinaria en donde ecólogos, geoquímicos y oceanógrafos colaboren y mejoren nuestro saber.

Finalmente, dado que los arrecifes son el primer ecosistema marino donde el efecto del calentamiento del planeta se está manifestando inequívocamente, es importante tratar de pronosticar cambios potenciales en la acidez oceánica y en la respuesta fisiológica de los organismos a las nuevas condiciones. No hay que olvidar que los datos parecen apuntar a que la saturación de aragonita está disminuyendo rá-

pidamente, lo que pudiera conducir a una reducción en la densidad de los corales y por lo tanto a una mayor fragilidad física arrecifal.

Las consecuencias de tales efectos no pueden obviarse ya que los servicios ambientales que ofrecen los arrecifes han generado una enorme riqueza para nuestro país, especialmente el turismo en el Caribe; su pérdida por falta de previsión daría lugar no sólo a una catástrofe ecológica, sino a una disminución notable en el nivel de vida de los residentes locales, de la economía del país. 



**Luis Eduardo Calderón Aguilera**

Departamento de Ecología Marina,  
Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada.

**C. Orión Norzagaray López**

Instituto de Investigaciones Oceanológicas,

**Héctor Reyes Bonilla**

Departamento Académico de Biología Marina,

**José D. Carriquiry Beltrán**

Instituto de Investigaciones Oceanológicas,

**Cecilia Mozqueda Torres**

Departamento Académico de Biología Marina,  
Universidad Autónoma de Baja California Sur.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Calderón Aguilera, L. E., H. Reyes Bonilla y J. D. Carriquiry. 2007. "El papel de los arrecifes coralinos en el flujo de carbono en el océano: estudios en el Pacífico mexicano", en *Carbono en ecosistemas acuáticos de México*, B. Hernández de la Torre y G. Gaxiola Castro (eds.). Instituto Nacional de Ecología, México. Pp. 215-226.

"Acidificación de los océanos", *Revista Oceanography* (<http://www.tos.org/oceanography/archive/22-4.html>).

Kleypas, J.A. and Yates, K. K. 2009. "Coral reefs and ocean acidification", en *Oceanography*, vol. 22, núm. 4, pp. 108-117.

Doney S.C., et al. 2009. "Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem", en *Annual Review of Marine Science*, núm. 1, pp. 169-192.

Manzello, D. P. et al. 2008. "Poorly cemented coral reefs of the eastern tropical Pacific: possible insights into reef

development in a high CO<sub>2</sub> world", en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, núm. 105, pp. 10450-10455.

Los datos de omega aragonita del Mar Caribe y zonas adyacentes a partir de 1988 pueden encontrarse en la página de la Agencia Nacional Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos

EN LA RED

(<http://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/oa/index.html>).

IMÁGENES

114-115: Valentina Romero Maleza. P. 116: Annie Bone. P. 117: Brúcius von Xylander; Vond Tatoo. P. 118: Baba Vešterka; mood\_bkk Mood Tattoo; P. 120: Brúcius von Xylander.

CARBON IN MEXICAN CORAL REEFS

**Palabras clave.** Carbonatos, Redes tróficas, Acidificación, Erosión química y biológica, Servicios ambientales.

**Key words.** Carbonates, Trophic webs, Acidification, Chemical and biological erosion, Environmental services.

**Resumen.** El carbono es un elemento ubicuo en los arrecifes coralinos y aparece en diversas formas en esos ecosistemas, incluyendo el carbonato de calcio que integra los esqueletos de muchas especies y la estructura física del arrecife, y también en los tejidos de los organismos que residen ahí y que lo adquieren por la fotosíntesis y la alimentación. Este trabajo describe dichos procesos y ofrece información sobre lo que sabemos sobre el ciclo del carbono en los arrecifes coralinos de las costas mexicanas del Atlántico y el Pacífico.

**Abstract.** Carbon is a ubiquitous element in coral reefs and it appears in many forms in these ecosystems, including the calcium carbonate that builds the skeleton of many species and the reef framework, and also in the tissues of resident organisms, which acquire it by photosynthesis and feeding. This paper describes these processes and offers information about our knowledge of the carbon cycle in reefs of the Atlantic and Pacific coasts of Mexico.

Héctor Reyes Bonilla. Doctor en Biología Marina y Pesquerías por la Universidad de Miami, E.U.A. Es profesor-investigador del Posgrado en Ciencias Marinas y Costeras y de la carrera de Biología Marina de la UABCS, y se ha especializado en ecología comunitaria y macroecología de arrecifes coralinos. Recientemente estudia efectos de la acidificación del océano en ecosistemas marinos. Es nivel 3 del Sistema Nacional de Investigadores.

José D. Carriquiry Beltrán. Doctor en Geoquímica Marina por la Universidad McMaster, Canadá. Es investigador y profesor del Posgrado en Oceanografía Costera de la UABC. Su área de interés es la reconstrucción ambiental usando trazadores geoquímicos e isotópicos en arrecifes de coral y en el fondo marino, para la reconstruir los cambios climáticos del pasado e ayudar a interpretar el futuro climático del planeta. Es nivel 3 del Sistema Nacional de Investigadores.

Luis E. Calderón Aguilera. Doctor en Ciencias del Mar por la Universidad Politécnica de Cataluña, España, e investigador titular del Departamento de Ecología Marina del CICESE. Su área de interés es la ecología de ecosistemas, en particular arrecifales y costeros. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (nivel 1).

M. Cecilia Mozqueda Torres. Licenciada en Biología Marina por la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Estudia los efectos de la acidificación en arrecifes coralinos, como parte de su posgrado.

Recibido el 1 marzo 2012; aceptado el 15 agosto 2018.