

Larga vida a los arrecifes de coral

Son imprescindibles para la biodiversidad marina, existen desde hace más de 220 millones de años y han sobrevivido a varias extinciones masivas. ¿Superarán también los estragos del calentamiento global?

POR EDWIN A. HERNÁNDEZ DELGADO

Profesor del Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Puerto Rico y miembro del Centro para la Ecología Tropical Aplicada y Conservación (CATEC)

El calentamiento global y la acidificación del agua son las causas del blanqueamiento de los arrecifes de coral de las islas de la Sociedad (Polinesia Francesa).



Los arrecifes de coral como este de las islas Fiji (Pacífico Sur) son un hervidero de vida y un paraíso para miles de especies de peces.

Los arrecifes de coral ocupan menos del 2 % del fondo marino, pero sostienen a unas 8500 especies de peces

síntesis de proteínas y el crecimiento, ácidos grasos para la producción de cera y lípidos para la de mucosa. Esta última propicia su protección inmunológica y física (como la remoción de sedimentos) y su alimentación (por ejemplo, facilita la captura de zooplancton por el coral).

LAS ALGAS SIMBIÓTICAS TAMBIÉN PROVEEN AL CORAL DE CARBONO REDUCIDO para facilitar su proceso de calcificación, sin el cual no se formaría el esqueleto. Finalmente, le aportan oxígeno derivado de la fotosíntesis, lo que permite su respiración. El coral, por su parte, proporciona al alga los metabolitos de sus procesos de digestión, incluyendo nutrientes inorgánicos como fertilizantes para el crecimiento de las microalgas simbióticas, y acetato para la producción de ácidos grasos y cloroplastos, donde se lleva a cabo la fotosíntesis. Además, el coral transfiere a las algas el dióxido de carbono de su respiración y les brinda soporte y protección, al albergarlas dentro de su tejido. Esta relación de mutuo beneficio, un paso extraordinario en la evolución de los corales, ha posibilitado la construcción natural de esas estructuras llamadas arrecifes de coral. Además, constituye un ejemplo asombroso de reciclaje natural de los nutrientes, que ha permitido que un ecosistema tan productivo como el arrecife coralino se desarrolle bajo condiciones de aguas cálidas, transparentes y pobres en nutrientes.

Los arrecifes sostienen una biodiversidad comparable a la de los bosques tropicales. Ambos ecosistemas ejercen un papel clave como amortiguadores del dióxido de carbono atmosférico (CO₂), que contribuye al calentamiento del planeta y al cambio climático. Estos ecosistemas marinos tropicales, tal y como los conocemos, evolucionaron desde el periodo Triásico, hace 220 millones de años, y han subsistido a todos los cambios naturales del clima, incluyendo dos extinciones masivas al final del Triásico (hace 200 millones de años) y del Cretácico (hace 65 millones de años). Sin embargo,

Los arrecifes de coral no solo se hallan entre los ecosistemas más diversos y productivos: también constituyen uno de los motores económicos de muchas islas y naciones pequeñas y países en vías de desarrollo. Proveen seguridad alimentaria para más de mil millones de personas en el mundo. Existen desde hace más de 220 millones de años. Sin embargo, se encuentran amenazados por la magnitud y la extensión de las acciones humanas, particularmente por el calentamiento del mar asociado al cambio climático. Es importante conocer qué factores

afectan a los arrecifes de coral y qué gestiones de conservación y de rehabilitación ecológica se llevan a cabo en diversas partes del mundo.

Esa estructura maravillosa que conocemos como arrecife coralino está fundamentalmente constituida por individuos coloniales de organismos casi microscópicos llamados pólipos. Cada pólipo está interconectado con otros que, según se van dividiendo, aumentan en número, y, por ende, expanden el tamaño de la colonia. El coral es una estructura de carbonato de calcio secretada por los pólipos, los cuales, con el paso de miles de años, construyen los arrecifes

de coral. Lo increíble de este proceso es que las tasas de crecimiento neto de los corales rara vez pasan de un centímetro anual: se requieren unos cuantos siglos para el desarrollo de algunas colonias grandes, y milenios para el de los arrecifes modernos.

Esto ocurre gracias a la relación simbiótica o de mutuo beneficio entre un grupo de algas endosimbióticas (*Symbiodinium*) y el pólipo. Al llevar a cabo su actividad de fotosíntesis, dichas algas transfieren los excedentes al coral y le proporcionan alimento: carbohidratos como fuente de energía, aminoácidos para la

desde el desarrollo de los primeros asentamientos humanos y la agricultura, la evolución de las civilizaciones y el crecimiento industrial han provocado cambios muy marcados en el ambiente, con consecuencias adversas a largo plazo. En este artículo conoceremos la importancia de los arrecifes coralinos y los factores que afectan a su conservación, y nos familiarizaremos con algunas de las acciones destinadas a su preservación y restauración.

LOS ARRECIFES DE CORAL SON LOS ECOSISTEMAS MARINOS MÁS DIVERSOS. Rebotan de vida, y cerca de una cuarta parte de las especies marinas dependen de ellos para alimentarse y refugiarse. Es un dato muy notable si se considera que los arrecifes cubren menos del 1% de la superficie terrestre y menos del 2% del fondo del océano. Se conocen unas 850 especies de corales pétreos (constructores de arrecifes) y alrededor de 8500 especies de peces asociados a esos arrecifes. De estos, la diversidad mayor se encuentra en la llamada Zona del Triángulo de Corales, localizada en el Indo-Pacífico, entre la Gran Barrera de Australia, Nueva Caledonia, Indonesia, Tailandia, Filipinas y el mar de China. Otras provincias biogeográficas, como el océano Índico, el Pacífico del Sur, el mar Rojo y el mar Caribe, también sostienen arrecifes muy diversos y productivos. La distribución global de tal biodiversidad está ligada a la historia geológica de cada provincia biogeográfica, a los procesos tectónicos, a las variaciones en la conectividad interoceánica entre las diversas provincias y la historia evolutiva de cada grupo de organismos en sus respectivos filos.

Por ejemplo, al comparar la biodiversidad de los arrecifes de coral del Caribe con la que poseen los de la Gran Barrera de Arrecifes Coralinos de Australia observamos que esta es bastante mayor. Se debe en gran medida a los procesos de cambios geológicos ocurridos en la Tierra durante los últimos 23 millones de años, que han afectado la conectividad interoceánica entre el Índico, el Mediterráneo y el Atlántico. Esto se debió al desplazamiento de África hacia la península ibérica durante el Mioceno (hace entre 23 y 20 millones de años), el cual cerró el contacto entre el Índico y el Atlántico y contribuyó a la extinción de múltiples especies en

La mayor amenaza para la supervivencia de estos ecosistemas es el calentamiento de las aguas del océano

este último. Luego, una serie de cambios climáticos significativos entre el Oligoceno tardío y el Mioceno temprano (hace entre 25 y 15 millones de años) propiciaron también la pérdida de especies en el Atlántico.

Finalmente, el cierre natural del istmo de Panamá entre el Plioceno y el Pleistoceno (hace entre 2,6 y 0,01 millones de años) ha contribuido a esa pérdida de biodiversidad. Las acciones humanas han acelerado en los últimos siglos esas tendencias debido al deterioro ambiental en las costas y la actividad pesquera.

LOS BENEFICIOS QUE ACARREA UNA ALTA BIODIVERSIDAD en los arrecifes de coral son múltiples: un arrecife saludable alberga numerosas zonas y microhábitats importantes para el sostenimiento de una enorme riqueza de especies de peces y otros organismos invertebrados asociados, muchos de ellos de gran valor comercial para el turismo y la pesca. Además, existen en ellos grupos que ejercen funciones ecológicas clave: es el caso de los herbívoros, que controlan el crecimiento desmedido de las

algas y mantienen espacios abiertos en el fondo para el crecimiento de nuevas colonias de corales. También moran en esas aguas grupos importantes de depredadores: los invertívoros generalistas, que se alimentan de invertebrados asociados al fondo; los carnívoros planctívoros, que se nutren del plancton; y los piscívoros, que comen peces. Y omnívoros y detritívoros, especies que se alimentan de materia orgánica en descomposición.

La variedad también es la norma en las formas de crecimiento de los corales y el tipo de zonas ecológicas dentro del arrecife, que van de las áreas llanas y protegidas del oleaje hasta otras expuestas a fuertes olas, moderadamente profundas y muy profundas. La composición de especies varía según su capacidad de adaptación. En los peces, la biodiversidad se manifiesta en una multiplicidad de formas y tamaños, en variantes en la morfología y función de la boca, los dientes, las aletas, el color, las estrategias reproductivas y alimentarias y el comportamiento social. Esto hace que muchos arrecifes de coral se caractericen por poseer múltiples especies con pocos individuos, ecológicamente muy especializadas. La sobreexplotación pesquera afecta más a las especies de maduración sexual tardía. Estos rasgos aumentan la vulnerabilidad de la biodiversidad frente a las acciones humanas.

Los arrecifes de coral también se caracterizan por su alta tridimensionalidad estructural o heterogeneidad espacial, como la llaman los ecólogos. Cuanto más heterogénea sea la estructura del fondo del arrecife, mayor será su diversidad de microhábitats. Por ende, esto aumenta la biodiversidad que puede sostener y la capacidad del arrecife de aguas someras de amortiguar la energía del oleaje, lo que protege a otras comunidades asociadas al arrecife –como las praderas de hierbas marinas y las playas arenosas– del oleaje y la erosión litoral. Un arrecife sano amortigua el impacto, en ocasiones catastrófico, del oleaje durante los huracanes y las marejadas invernales.

UNO DE LOS ASPECTOS MÁS IMPORTANTES DE LOS ARRECIFES DE CORAL es su rol en el sostenimiento de la seguridad alimentaria, particularmente en las islas pequeñas, donde constituyen a menudo la principal o la única fuente de proteínas. Productos derivados de especies asociadas a los arrecifes sirven para elaborar alimentos y bebidas (por ejemplo, los derivados de algas como el agar), o vitaminas, como el carbonato de calcio de los corales y las conchas. De los arrecifes se obtienen productos naturales usados en la elaboración de maquillajes y de fármacos para enfermedades infecciosas y algunos tumores.



Izquierda: en las *guarderías de corales* se instalan fragmentos vivos de coral desprendidos de arrecifes para que desarrollen nuevos individuos, que luego se trasplantan a otros arrecifes (derecha). Las fotos son de la especie cuerno de ciervo (*Acropora cervicornis*) y se hicieron en aguas de la isla de Culebra (Puerto Rico).

FOTOS: EDWIN A. HERNÁNDEZ DELGADO

Vista aérea de un fragmento de la Gran Barrera de Coral, situada frente a la costa de Queensland, al nordeste de Australia. El arrecife se extiende unos 2600 kilómetros y puede observarse desde el espacio.

La desaparición de arrecifes de coral es un fenómeno global, y se ha incrementado desde la década de 1970

El arrecife de coral también es una de las principales fuentes de divisas de muchas islas-nación, gracias al turismo de naturaleza y el crecientemente popular buceo recreativo. Se ha estimado que estos ecosistemas generan anualmente 375 000 millones de dólares en ganancias en casi un centenar de países. Los mayores beneficios provienen del turismo, las pesquerías, la protección de las costas y el sostenimiento de su biodiversidad. Sin embargo, pese a su importancia para el ser humano, la pérdida de arrecifes de coral ha crecido sin cesar, sobre todo desde 1970, debido a diversos factores antropogénicos locales y al calentamiento global asociado al cambio climático.

LOS CORALES DE LOS ARRECIFES TROPICALES SUELEN NECESITAR condiciones ambientales muy particulares, y cuando estas cambias lo toleran muy mal. Requieren aguas cálidas (a temperaturas de entre 23 °C y 30 °C), transparentes, de buena circulación y oxigenación, con un sustrato sólido libre del crecimiento excesivo de algas y sedimentos. Cualquier factor que afecte significativamente estas características puede perjudicar su crecimiento y su resiliencia (su capacidad para recuperarse de cualquier perturbación), y causar una degradación crónica de estos ecosistemas.

El deterioro de los arrecifes de coral es mundial y responde a factores naturales y de origen humano. Estos últimos pueden actuar a escala local, regional o global. Los principales de carácter local son la sedimentación y la turbidez asociadas a usos inapropiados del suelo. La deforestación, ligada inicialmente a la agricultura y la ganadería, y luego al desarrollo urbano e industrial, ha resultado en una erosión crónica del suelo. Las escorrentías sedimentadas discurren por las cuencas hidrográficas hacia las costas y causan una turbidez crónica que obstruye el paso de la luz solar, y eso dificulta que las algas simbióticas del coral hagan su fotosíntesis. Puede quedar afectada la capacidad de calcificación y de crecimiento de los corales, y por tanto su supervivencia a largo plazo y el crecimiento geológico del arrecife. Si hay tasas muy altas de sedimentación, los pólipos de los corales pueden asfixiarse hasta morir.

Otra de las causas del deterioro crónico de los arrecifes de coral –sobre todo en zonas adyacentes a los centros urbanos e industriales, y a las desembocaduras de ríos– es la contaminación de las aguas costeras. Se debe entre otras cosas al incremento en las concentraciones de nitratos y fosfatos, que han resultado en un proceso conocido como eutrofización. Tal exceso de nutrientes altera el balance natural del ecosistema y fomenta el crecimiento de fitoplancton, que a su vez aumenta la turbidez del agua y disminuye así la penetración de luz solar.

Además, la eutrofización acelera el crecimiento de las algas, que compiten agresivamente por el espacio con los corales y los pueden matar. Por otro lado, el exceso de nutrientes favorece una propagación desmedida en el agua y los sedimentos de microorganismos a menudo nocivos para los corales, a los que causan enfermedades letales. Este parece ser el caso de la llamada enfermedad de la pérdida de tejido en los corales (SCTLD, por sus siglas en inglés), que ha causado estragos en arrecifes del Caribe, incluyendo los de la isla de Puerto Rico. Todos estos males se agravan con el calentamiento marino de las últimas décadas.

LA SOBREPESCA ES OTRA DE LAS CAUSAS QUE EXPLICAN EL PROFUNDO DETERIORO

de los arrecifes de coral. Ha barrido de estos a los grandes depredadores (tiburones, barracudas, meros, pargos...), pero también a los depredadores menores, e incluso a herbívoros como el pez loro. La consecuencia es un pronunciado desequilibrio, que en muchas ocasiones ha acelerado el crecimiento desmedido de las algas. Este efecto se ha magnificado allí donde la sobrepesca se combina con la eutrofización. En tales casos, emerge un factor adicional que es la bioerosión o la desintegración o disolución de la estructura caliza de los corales, debida a la acción perforadora o destructiva de algunos grupos de esponjas excavadoras y de varios grupos de invertebrados perforadores, más grave donde se combinan eutrofización, turbidez, sedimentación y sobrepesca.

Entre los factores locales que perjudican a los arrecifes figuran las maniobras militares. Así ha sido en las islas municipio de Vieques y Cule-



1. Un *Eviota queenslandica* –un pez de no más de 2,5 centímetros de largo– nada sobre un coral estrella en aguas de Indonesia. 2. Las colonias del género *Cirripathes* suelen tomar la forma de una espiral, y eso les vale el nombre de *coral alambre*. Este ejemplar vive junto a la isla de Nueva Bretaña, en Papúa Nueva Guinea. 3. Una gorgonia –un género de octocorales– en la reserva marina egipcia de Ras Muhammad, en el mar Rojo.

1

FOTOS: GETTY

2



3

El efecto más visible de la cada día más grave degradación de los corales es su blanqueamiento

bra (Puerto Rico), donde Estados Unidos y algunos de sus aliados han hecho bombardeos de prácticas durante décadas. También se observan numerosos arrecifes llanos dañados por el encallamiento de embarcaciones, que causa graves males a la estructura del arrecife de coral debido a la fragmentación y el desprendimiento de colonias, y a la pulverización del armazón calizo. Estos problemas se acrecientan con los impactos mecánicos del oleaje durante los huracanes y las marejadas invernales, que pueden destruir grandes extensiones de ese tipo de arrecifes. Con todo, la mayor amenaza de largo para estos frágiles ecosistemas es el calentamiento de las aguas.

De la época anterior a la Revolución Industrial (que arrancó a mediados del siglo XVIII) a nuestros días, la temperatura media de la Tierra ha subido entre 1 y 1, 2 °C, a consecuencia

del aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, principalmente dióxido de carbono. En ese periodo, la concentración atmosférica de este gas ha pasado de 280 partes por millón (ppm) a 415 ppm a comienzos de 2021. Esto ha llevado a un incremento

similar en la temperatura de la superficie del mar, y a la disminución del pH natural del agua en un proceso conocido como acidificación oceánica, con consecuencias nefastas para todos los organismos calcificadores, incluyendo los corales. El resultado más visible es el blanqueamiento masivo de corales y la desaparición de estos en numerosos arrecifes.

ESTA PÉRDIDA DE LOS VIVOS TONOS de los corales se debe a que estos expulsan a las microalgas endosimbióticas durante los episodios de temperaturas extremas, en los que se genera

una concentración excesiva de radicales libres de oxígeno durante la fotosíntesis del alga, que resulta tóxica para el coral: este se protege expulsando a las algas, y su tejido pierde el color hasta que solo queda el blanco de su esqueleto calizo. Consecuencia: el coral pierde todos los beneficios fisiológicos que le brindan las microalgas endosimbióticas, incluyendo los suplementos de alimentación y oxígeno, y la aceleración de su tasa de calcificación. Si el periodo de blanqueamiento es muy prolongado, el coral pasa hambre y se torna más vulnerable al calor, la posible disminución en la concentración del oxígeno disuelto en el agua y la presencia de microorganismos oportunistas o causantes de enfermedades. Incluso puede morir.

Este fenómeno se ha hecho más común en las tres últimas décadas, y por todo el planeta, con algunos episodios notables, como el blanqueamien-

to global de 1998, el de 2005 (sobre todo en el norte del Caribe), el de 2010, y los del Indo y el Pacífico entre 2014 y 2017. El resultado ha sido la pérdida en distintas regiones tropicales de entre el 30 y el 80 % de los corales de muchos arrecifes. Apenas empezamos a comprender las consecuencias ecológicas, sociales y económicas de estos desastres, pero sabemos que serán muy duraderas: la recuperación natural de los arrecifes de coral puede llevar de cientos a miles de años, según el lugar, la magnitud del daño y la futura evolución del cambio climático. Esta tendencia destructiva cada vez más acelerada ha llevado a los científicos a idear e implantar múltiples medidas de conservación y de rehabilitación de los ecosistemas.

Una de las estrategias más comunes en el Caribe y otras regiones del mundo es establecer redes de áreas marinas protegidas (AMP), con gestiones diversas en función de sus singularidades, pero siempre con la misma meta: salvaguardar los arrecifes de coral y sus ecosistemas asociados, como las praderas de hierbas marinas, los manglares y estuarios, y en algunos casos los ecosistemas de mares profundos adyacentes. A menudo, esta protección incluye la limitación de las capturas de algunas especies o la prohibición de la pesca. La idea es reducir las presiones antropogénicas sobre los ecosistemas protegidos, de forma que se garantice el mantenimiento de un refugio natural lo más inalterado posible para las especies en peligro.

En cualquier caso, el impacto del calentamiento del mar asociado al cambio climático está siendo devastador para cualquier tipo de arrecife, incluyendo los pertenecientes a las AMP. Esto ha llevado al desarrollo de estrategias enfocadas en la restauración de las poblaciones de corales más afectados y a la rehabilitación ecológica de los arrecifes. Durante las pasadas dos décadas se ha multiplicado la implantación de proyectos centrados en la propagación de corales, con énfasis en aquellas especies altamente vulnerables y cuyas poblaciones han mermado. El objetivo es restaurar sus poblaciones y fomentar la rehabilitación de las funciones ecológicas de los arrecifes de coral.

EN PUERTO RICO TENEMOS UN EXCELENTE EJEMPLO DE ESTAS INICIATIVAS: el Programa Comunitario de Rehabilitación de Arrecifes de Coral desarrollado por la oenegé Sociedad Ambiente Marino (SAM) en la isla municipio de Culebra desde el año 2003. Es el proyecto continuo más longevo de todo el noreste del Caribe, y su meta inicial ha sido recuperar las poblaciones de los corales cuerno de ciervo (*Acropora cervicornis*) y cuerno de alce (*Acropora palmata*) en arrecifes que sufrieron los embates de las prácticas de bombardeo de Estados Unidos y sus aliados durante más de 75 años. Dichos arrecifes también muestran daños por los sucesivos huracanes, el blanqueamiento y las enfermedades de corales, y en



Samantha Jaworski, del Instituto Australiano de Ciencias Marinas, examina unos tanques de agua donde se crían corales. Su principal objetivo es salvar la Gran Barrera de Coral.

ciertos casos por la sedimentación asociada al mal uso del suelo.

La labor de SAM fue muy fructífera, ya que propagó y reintrodujo unos 70 000 corales. Sin embargo, en 2017, los huracanes Irma y María, con sus tremendos vientos de hasta 300 km/h y sus olas de entre 10 y 15 metros de altura, destruyeron la mayoría de los arrecifes rehabilitados. En la actualidad, este proyecto se encuentra en la fase de reconstruir las guarderías de cultivo de corales y recuperar muchos de los arrecifes dañados, sobre todo aquellos que protegen infraestructuras críticas en la costa.

Existen numerosos proyectos parecidos tanto en el Caribe como en otras regiones del Pacífico Sur, Australia, el Índico y el mar Rojo. La mayoría de estas estrategias procuran recuperar las poblaciones de corales afectadas y rehabilitar las funciones ecológicas básicas del arrecife mediante la restauración del crecimiento neto de este, y la recuperación de su papel como hábitat esencial de peces y como amortiguador natural de la energía del oleaje. Las zonas ecológicamente rehabilitadas contribuyen a la recuperación de la biodiversidad y del valor estético y socio-económico del arrecife de coral.

En el caso particular de la isla municipio de Culebra (Puerto Rico), esto ha contribuido a un notable incremento del turismo de naturaleza, atraído por la fabulosa belleza de los arrecifes restaurados, que resulta decisivo para mantener la economía local a flote. Sin em-

La preservación de los corales depende en parte de su cultivo en laboratorios y de la ingeniería genética

bargo, es necesario aumentar la escala espacial de estas intervenciones para que el impacto de la rehabilitación ecológica sea todavía más significativo. Lo cierto es que los arrecifes de coral conforman ecosistemas con un valor ecológico y estético extraordinario, y que co-

mo dijimos al principio son muy importantes para la alimentación de más de mil millones de personas. Sin embargo, nuestras acciones han contribuido a su deterioro acelerado, agravado con el calentamiento global. Nuestros estilos de vida influyen directa o indirectamente en los arrecifes de coral.

YA SON MUCHOS LOS ESFUERZOS DE CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN ECOLÓGICA puestos en marcha con éxito por todo el mundo, y en ellos juegan un papel fundamental la tecnología y la ciencia más avanzadas: cultivo de corales en laboratorios, técnicas genéticas para identificar aquellos corales mejor aclimatados a las condiciones cambiantes, propagación de larvas de corales... Sin embargo, en muchos países en vías de desarrollo ese tipo de avances no existen, y por eso es necesario continuar fomentando los métodos simples y de baja tecnología para continuar rehabilitando los arrecifes y ganar tiempo mientras logramos reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Rehabilitar los arrecifes es posible. Pero requiere que todos colaboremos en el esfuerzo. Después de todo, tenemos esa responsabilidad con las generaciones futuras. ■



Exhibición de arrecifes de coral del Indo-Pacífico en el acuario de Nueva Inglaterra, en Boston.