

ARRECIFES CORALINOS

Dorina Basurto-Lozano

Introducción

Los arrecifes coralinos son ecosistemas marinos impresionantes y complejos. Son las estructuras más grandes, construidas por seres vivos pues llegan a tener magnitudes que pueden ser vistas desde el espacio. Sin embargo, su riqueza, diversidad y procesos ecológicos son parte de una dinámica compleja y frágil. Su existencia es muchas veces ignorada, incluso por la gente que habita en zonas costeras. Esta falta de conocimiento acerca del sistema coralino impide el desarrollo de la conciencia sobre su importancia y valor. En el último siglo, y sobre todo en las últimas décadas, los efectos negativos directos que están afectando a este ecosistema son producto de actividades humanas, contra las cuales los arrecifes no tienen capacidad de responder. La pérdida de diversidad y recursos como consecuencia de dichas actividades sigue aumentando de manera acelerada, y de continuar al ritmo actual las consecuencias serán muy pronto irreversibles.

Algunos de los principales problemas que enfrentan los arrecifes de coral incluyen el turismo masivo mal manejado, la sobrepesca selectiva, el incremento de sedimentos que cubren los corales, y el aumento de la materia orgánica en el agua. Si bien el turismo atraído por los arrecifes puede ser una importante derrama de recursos económicos para las comunidades costeras, el mismo turismo sin un control adecuado puede acabar con el atractivo de los arrecifes en poco tiempo, y así con los recursos económicos que éstos generan. De manera similar, los arrecifes pueden ser una fuente constante de recursos pesqueros si las artes de pesca son reguladas con base en un conocimiento biológico profundo de las especies. La actividad pesquera que no tenga en cuenta lo anterior acabará muy pronto con los recursos, quizás de manera irreversible en el corto plazo. En particular, la sobrepesca de ciertas especies clave en la dinámica arrecifal, tales como algunos depredadores o herbívoros, puede alterar la dinámica de las cadenas alimenticias, y muchos otros procesos ecológicos en todo el arrecife. El exceso de partículas sólidas que se depositan sobre los arrecifes cubre y asfixia las colonias de coral. Estas partículas tienen varios orígenes, pueden ser arrojadas por los ríos que acarrean el material erosionado río arriba por efecto de la deforestación o también pueden provenir de actividades de dragado. El

drenaje de las poblaciones costeras vertido al mar incrementa la cantidad de materia orgánica en el agua, que a su vez incrementa el número de bacterias presentes, las cuales consumen grandes cantidades de oxígeno, limitando el crecimiento normal de corales en el arrecife, y muchos otros procesos ecológicos. Para controlar y reducir de manera eficaz los problemas anteriores, los esfuerzos de instituciones y comunidades se deben realizar de manera coordinada, con objetivos concretos y prioridades claras.

Los sistemas arrecifales constituyen ecosistemas costeros de gran importancia. Son fuente de recursos y proporcionan importantes servicios ambientales al ser humano. Actúan como barreras naturales que disminuyen la fuerza del oleaje y, por tanto, reducen la energía de las olas que golpean la costa durante la época de tormentas.

Un ecosistema que se construye a sí mismo

242

Los arrecifes coralinos son las mayores construcciones biológicas de la Tierra. Su tamaño llega a ser tan grande que la Gran Barrera Australiana puede verse desde el espacio exterior (mide más de 2,000 kilómetros de largo). Quienes hemos tenido la fortuna de sumergirnos en el mundo marino arrecifal nos hemos maravillado con uno de los ecosistemas más espectaculares en la Tierra, cuya complejidad involucra interacciones entre factores físicos, químicos, biológicos y geológicos sobre una amplia gama de escalas espaciales y temporales. Es posible encontrar estos ecosistemas cerca de la costa o a kilómetros de distancia mar adentro. Los arrecifes coralinos aparecieron hace aproximadamente 225 millones de años y las formaciones arrecifales que se disfrutan hoy en día pueden tener varios miles de años.

Durante su evolución han constituido centros donde se acumula una altísima biodiversidad de organismos, lo cual los hace que formen parte de los ecosistemas de mayor riqueza en la Tierra.

Su proceso de construcción consiste en el crecimiento de colonias de pequeños animales conocidos como pólipos. Como parte de su fisiología, los corales duros (también conocidos como escleractinios), forman esqueletos externos de carbonato de calcio. Los esqueletos de cada individuo o "pólipo" se unen entre sí para formar

colonias de material duro, las cuales crecen unas sobre otras a lo largo de miles de años en un proceso dinámico constante. Las colonias más viejas van muriendo y nuevas colonias crecen sobre ellas. El espacio que queda entre las colonias muertas se rellena con la depositación de arena y algas calcáreas, consolidando así un material rocoso que se sigue compactando por acción del peso del arrecife que sigue creciendo hacia arriba, albergando a gran cantidad de especies no sólo de corales sino de peces, esponjas, moluscos, algas, pastos marinos, crustáceos y muchos otros grupos. Este proceso a lo largo de muchos siglos levanta arrecifes desde el fondo marino hasta emerger de la superficie del mar y puede formar islas como Sacrificios en Veracruz, Contoy o Holbox en la península de Yucatán.

Los arrecifes coralinos se desarrollan en aguas claras y cálidas, es decir, aguas con poca materia orgánica en suspensión. Las aguas claras permiten la penetración de radiación solar que es utilizada por las zooxantelas, pequeños organismos que viven dentro de los corales en una relación que beneficia a ambos. Las zooxantelas ayudan a los corales a procesar el carbonato de calcio que formará su esqueleto y la mucosidad que producen para limpiar los sedimentos que se depositan en su superficie. Estas zooxantelas son sumamente sensibles a los cambios de temperatura y de transparencia del agua.

Al igual que las selvas tropicales o los bosques de niebla, los arrecifes coralinos son ecosistemas megadiversos ya que proveen hábitat a miles de especies en un área muy reducida. Si bien el área que abarcan los arrecifes de coral en todos los océanos es mucho menor a 1% del total, proporcionalmente albergan una enorme cantidad de especies. Se calcula, por ejemplo, que en los arrecifes existen de 1,500 a 4,000 especies de peces solamente.

Los arrecifes, gracias a su potencial de construcción, son capaces de cambiar el paisaje marino drásticamente y crear un laberinto de formas y estructuras que dan albergue y protección a miles de organismos. Una de las asociaciones más importantes es con los pastos marinos, importantes productores primarios de las zonas costeras.

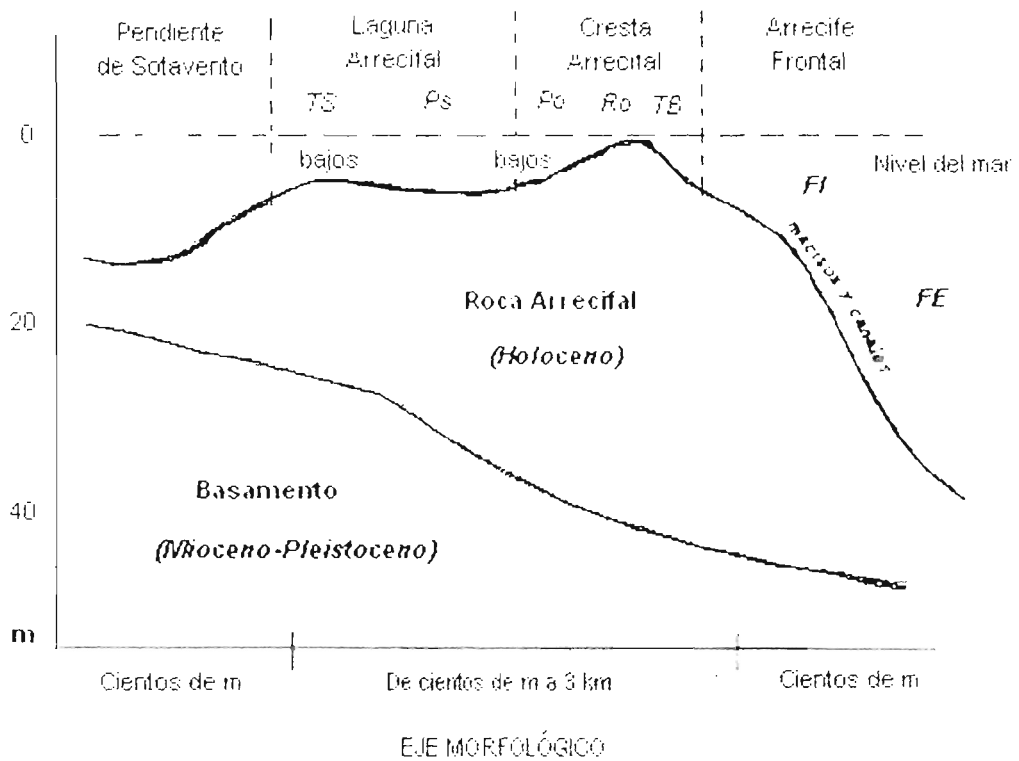


Figura 1 | Zonas arrecifales en un arrecife de barrera (modificado de Gutierrez *et al*, 1993).

Debido a su proceso de formación, un arrecife desarrollado incluye zonas con diferentes profundidades y diferentes grados de exposición a corrientes (Figura 1). Esta diversidad de zonas es uno de tantos factores que les permiten albergar una gran riqueza de especies. Por ejemplo, la cobertura de algas en las zonas someras con más penetración de luz es siempre mayor que en las zonas profundas, razón por la cual dominan las especies de peces herbívoros. En las zonas más profundas del arrecife hay menos algas y más corales, por lo cual son más abundantes las especies que se alimentan de coral o de detritos. En cuanto a las especies sésiles (erizos, anémonas, esponjas), aquellas bien adaptadas a establecerse y resistir fuertes intensidades del oleaje se encuentran en zonas más someras, mientras que otras más vulnerables al embate de las olas se encuentran a mayor profundidad o en zonas protegidas del arrecife, como la laguna arrecifal.

El grupo de los corales incluye los corales duros o escleractinios (los que forman la matriz arrecifal, Figura 2A), los corales de fuego o hidrocorales (Figura 2B), y los

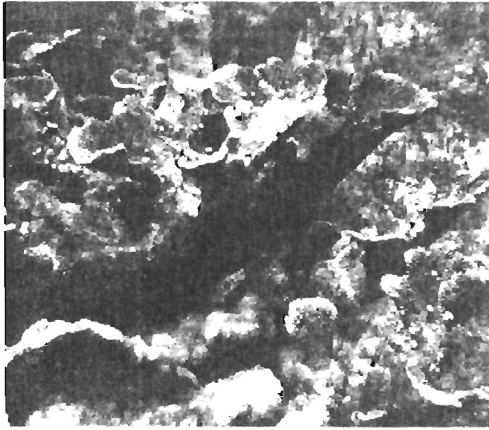
corales blandos o gorgonáceos (Figura 2C). Hasta hace un par de siglos los corales eran confundidos con plantas por sus hábitos de crecer sobre el fondo y su morfología semejante a la flora conocida; de hecho los corales fueron clasificados como plantas hasta 1753. Sin embargo, los corales son miembros del reino animal ya que son organismos compuestos por muchas células, e incapaces de realizar fotosíntesis para obtener nutrientes. Éstos los obtienen más bien de las zooxantelas y en algunos casos de procesos de filtración y captura de pequeños organismos con sus tentáculos. Los corales se encuentran clasificados en el grupo de los Cnidaria y son los más conocidos del mismo, pero este grupo también incluye otros animales muy frecuentes como las anémonas y medusas. Estas últimas constituyen los miembros del grupo que no son coloniales, que no se fijan al sustrato y que son libres nadadores. Los corales, al igual que todos los cnidarios, tienen una anatomía simple que consiste en un cuerpo con forma de copa, con una única apertura central rodeada por tentáculos (Figura 3). Esta apertura tiene ambas funciones, de boca y ano. La mayor parte de los miembros de este grupo fijan sus cuerpos al sustrato; en esta forma son conocidos como pólipos. Los pólipos pueden reproducirse asexualmente dividiéndose para formar colonias, lo cual es típico de los corales formadores de arrecifes.

La diversidad de los sistemas arrecifales en el mundo es muy alta. Se les ha comparado con las selvas tropicales. Los arrecifes de la región Indo-Pacífico son los de mayor diversidad, tanto de corales como de fauna acompañante, con más de 700 especies de corales duros. Conforme uno se aleja de esa región, el número baja. Así, en el Mar Rojo se han registrado unas 200 especies, al igual que en Madagascar, en Tailandia unas 60; en el Golfo Pérsico 57; y en el Atlántico hay alrededor de 35. La riqueza total de organismos de un arrecife es difícil de valorar ya que muchos de ellos son microorganismos o son sumamente crípticos.

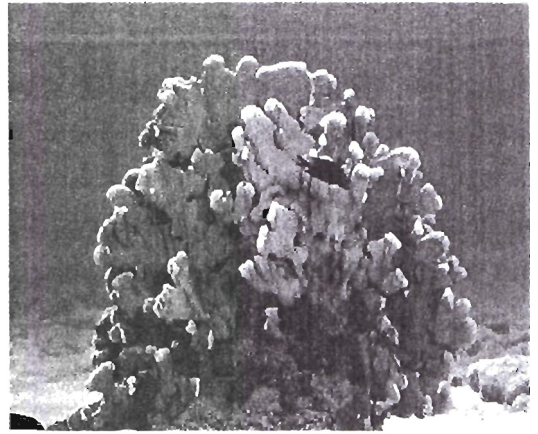
A manera de ejemplo, en la Gran Barrera Australiana hay más de 400 especies de corales duros y blandos, 4.000 especies de moluscos, 1.200 de peces y miles de esponjas, equinodermos, gusanos y crustáceos.

No se ha hecho ningún intento por cuantificar la riqueza de microbios y bacterias (Hulm y Pernetta, 1993; Wilkinson y Buddemeier, 1994).

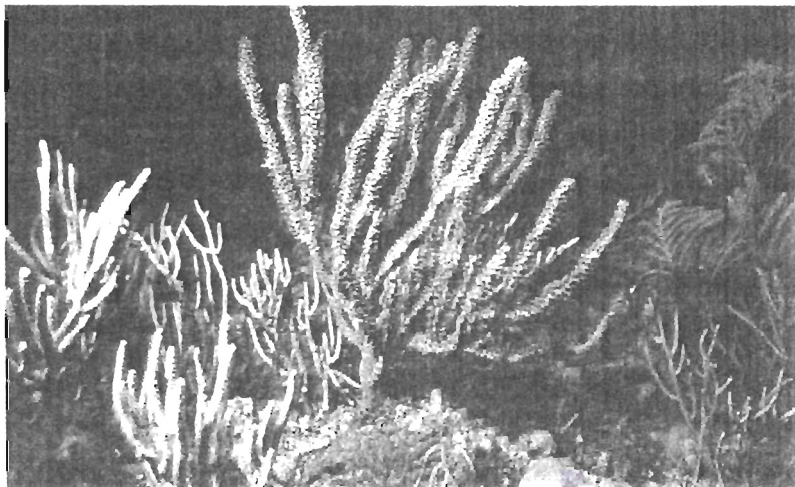
En México se han registrado 152 especies de corales duros o escleractineos. Hay 97 especies en el Atlántico y 55 en el Pacífico (Gutiérrez *et al.*, 1993).



A



B



C

Figura 2 A, B, C | Grupos de corales. a) Escleractinios o corales duros (foto de la autora), b) Hidrocorales o corales de fuego (de Humann, 1993), c) Gorgonáceos o corales blandos (de Humann, 1993).

Los corales pueden reproducirse por medio de dos mecanismos. El mecanismo asexual es aquel en el cual los pólipos dan lugar a una especie de brotes de donde surgen nuevos pólipos. Éste es el proceso por el cual crecen las colonias de coral hasta adquirir la forma característica de la especie, por ejemplo de cerebro o de astas de venado. Las velocidades de crecimiento de estas colonias son muy

Los corales se reproducen asexualmente por brotes que crecen muy rápido y forman nuevas colonias. Los corales se reproducen también sexualmente por medio de gametos que se fusionan para formar cigotas que se desarrollan en nuevos pólipos.

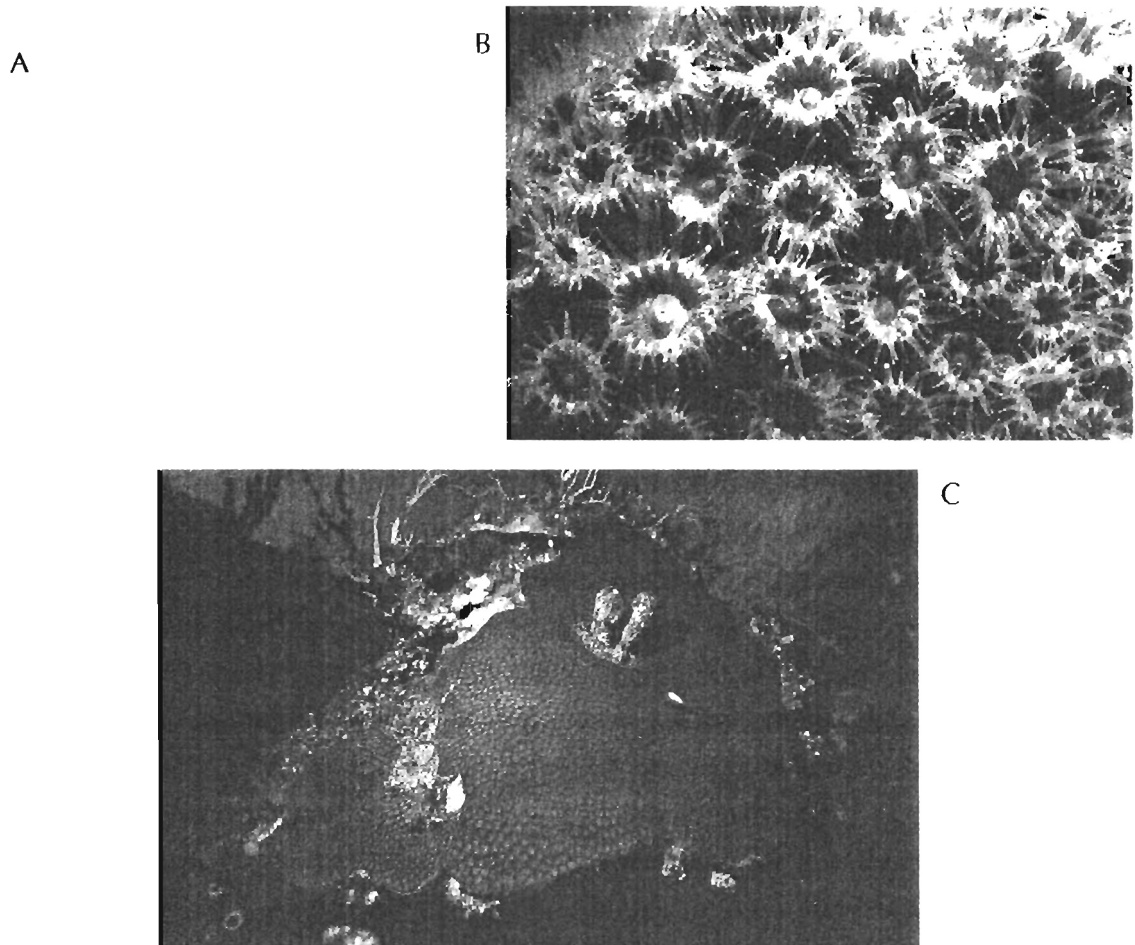


Figura 3 A, B, C | Anatomía de los pólipos y de colonias. a) pólipo (modificado de Humann, 1993), b) foto de pólipos, acercamiento y c) una colonia en la que se ven unidos los pólipos *Montastrea cavernosa* (de Humann, 1993).

bajas, en muchas ocasiones de un centímetro o menos por año, dependiendo de la especie de coral. Cuando observamos una colonia de coral de 50 cm de alto, estamos contemplando el resultado de muchas décadas de crecimiento.

El segundo mecanismo de reproducción es el sexual, el cual consiste en que los pólipos liberan células especializadas (huevos y espermatozoides) que se unen ya sea en la columna de agua o dentro de un pólipo hembra. El individuo resultante pasa por diferentes etapas de desarrollo y siendo larva libre nadadora se encuentra a merced de las corrientes y mareas. Esta etapa es crítica, pues si no encuentra un sitio

ideal para su fijación las larvas mueren. Cuando se fija al sustrato arrecifal se les conoce como "reclutas" y éstos dan origen a una nueva colonia. Sin embargo, las condiciones necesarias para que un recluta se implante son muy especiales, y la inmensa mayoría de los reclutas no logran fijarse y sobrevivir.

Si bien la estructura física de los arrecifes de coral es relativamente simple, pues sólo consiste en los esqueletos de carbonato de calcio de los corales escleractinios, cimentados por arena, algas diatomeas y otros sedimentos, la estructura biológica es sumamente compleja. Una lista que solamente incluyera el nombre de cada una de las especies descritas como habitantes de arrecifes de coral ocuparía varios cientos de páginas. Entre los grupos más importantes, aparte de los corales por supuesto, se puede mencionar a las algas, las esponjas, los peces, los moluscos (caracoles, almejas, pulpos, liebres de mar), los crustáceos (camarones, langostas, jaibas, cangrejos) y muchos otros. Todos estos organismos entretejen una complejísima red de interacciones biológicas entre ellos, es decir, se relacionan entre sí a veces cooperando, a veces compitiendo, a veces depredando unos a otros y a veces robándose recursos. La relación entre las zooxantelas y los corales es un caso típico de cooperación o simbiosis, en que ambos obtienen beneficios mutuos. Muchos organismos obtienen sustrato para su fijación de las colonias vivas o muertas de corales o esponjas. Aun los organismos móviles como cangrejos o caracoles sirven de sustrato de fijación de algas, por ejemplo. Es muy conocido que existen especies de peces especializadas en alimentarse de algas, otras de corales, otras se especializan en comer otros peces, y otras son generalistas, es decir, pueden comer de todo. A toda esta red de interacciones entre especies que se alimentan unas de otras se le conoce como cadena o red "trófica". Este flujo de nutrientes a través de los diferentes niveles de la red constituye uno de los procesos más dinámicos de los ecosistemas, y en particular de ecosistemas como los arrecifes coralinos o las selvas tropicales. La mayor parte de los nutrientes en un momento dado están en los organismos mismos, y no en el suelo o sustrato no vivo. Ésta es la razón por la cual los fenómenos que afectan directamente la dinámica de las especies más abundantes tiene como consecuencia efectos complejos, y en muchos casos

La diversidad de formas de crecimiento de los corales les permite construir escenarios sumamente complejos, en los cuales en cada nicho, en cada recoveco, algún otro organismos encuentra espacio y alimento.

impredicibles, sobre el resto del sistema. Los sistemas arrecifales mantienen un eficiente pero frágil flujo de nutrientes a través de las redes tróficas.

Quizás una de las interacciones más evidentes en un sistema arrecifal es la competencia entre individuos de diferentes o de la misma especie por espacio para habitar, refugiarse o reproducirse. Muchos peces e invertebrados dependen de huecos en el arrecife para anidar o protegerse de depredadores. Numerosos estudios han demostrado que la complejidad tridimensional de un arrecife, es decir, la cantidad de huecos y elementos verticales en su estructura, son los factores que más efecto tienen en el número y la abundancia de especies móviles tales como peces o crustáceos. También para los organismos que se fijan al sustrato, conocidos como organismos sésiles, el espacio es un recurso precioso y por lo tanto objeto de agresivas estrategias enfocadas a obtenerlo. Si bien a una escala de tiempo muy lenta para nosotros, las colonias de coral están constantemente compitiendo con las algas, las esponjas y con otras colonias coralinas por sustrato para crecer.

Distribución y perturbaciones que afectan los arrecifes

Las comunidades arrecifales se localizan en casi todas las costas del país, pero están concentradas en cuatro áreas principales: 1) el Golfo de California y la Costa del Pacífico; 2) los arrecifes cercanos a las costas de Tampico y Veracruz en el oeste de la Bahía de Campeche; 3) los arrecifes más alejados de la costa se localizan en el Banco de Campeche; y 4) el arrecife de barrera y atolones en el Mar Caribe mexicano, los cuales pertenecen al Sistema Arrecifal Mesoamericano (Figura 4) (Spalding *et al.*, 2001; Gutiérrez *et al.*, 1993). Éstas son las zonas en donde las condiciones de corrientes, claridad y temperatura del agua propician el establecimiento de corales constructores, y así el desarrollo de arrecifes coralinos. Otra característica común a estas zonas es la formación recurrente de huracanes. Los huracanes son una perturbación natural que afectan a todos los arrecifes del mundo. Los efectos inmediatos del paso de un huracán son bien conocidos. Sobre todo en las zonas menos profundas, las colonias de coral son arrancadas, transportadas y fragmentadas, ocasionando la muerte de gran cantidad de ellas. Esto no tiene consecuencias solamente sobre los corales, sino sobre todas las especies del arrecife. Desaparecen y aparecen nuevos sitios de fijación y refugio. En los primeros meses o años posteriores al paso de un

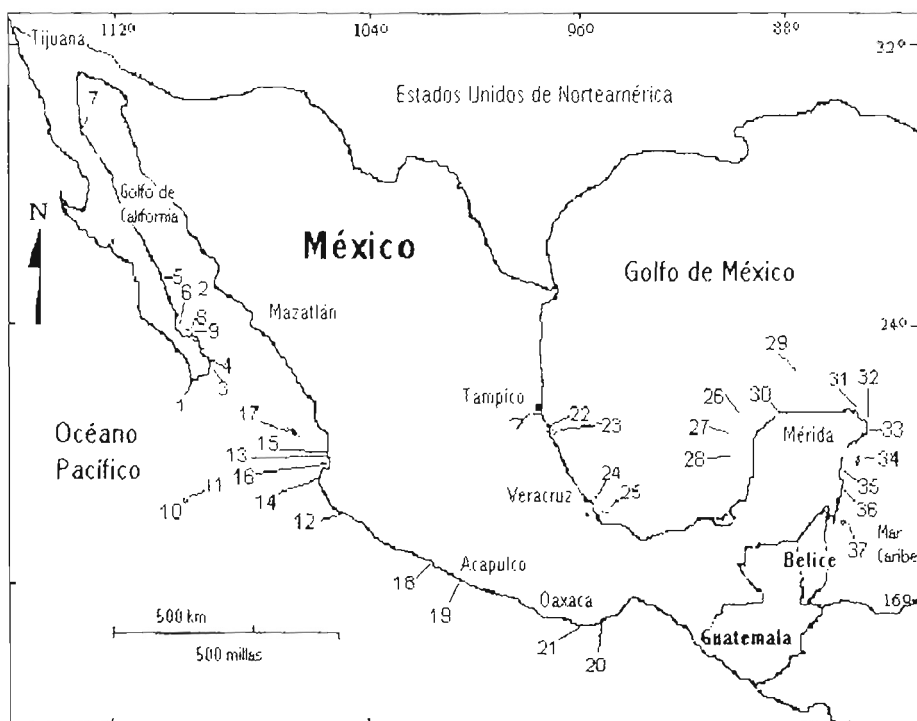


Figura 4 | Distribución de arrecifes de coral en México (modificado de Bezaury *et al.* 1997).

huracán las algas dominan la escena. Poco a poco, con la “ayuda” de los peces herbívoros que también proliferan, los corales y las esponjas vuelven a ganar terreno.

Se ha propuesto que la gran diversidad de especies en los arrecifes coralinos y lo complejo de su dinámica se debe en parte a esta recurrente perturbación por huracanes. En una barrera arrecifal como la que inicia en el Caribe mexicano y termina al norte de Sudamérica, todas las zonas han sido afectadas una o varias veces por el paso de un huracán en los últimos cien o doscientos años. Por lo tanto, todas se encuentran en mayor o menor grado de recuperación. La resistencia de un arrecife al paso de un huracán es relativamente baja, pero su “resiliencia” o capacidad de recuperarse es muy alta. Los organismos que los habitan han sido moldeados por millones de años de evolución y responden a estos fenómenos de tal forma que en pocos años la diversidad y los procesos de un sitio que recibió el impacto de un huracán se han reestablecido. Los huracanes tienen gran capacidad transformadora, pero su efecto es muy localizado y suelen pasar varias décadas o siglos antes de que otro pase por el mismo sitio.

Después de millones de años de dejarse moldear por los huracanes, los arrecifes de coral “recientemente” se han enfrentado con un tipo de perturbación a la cual no pueden responder de igual forma. Esta perturbación no tiene la intensidad y la fuerza de un huracán que en pocas horas puede cambiarlo todo. Esta nueva perturbación es de mucho menor intensidad, imperceptible de un día a otro. Sin embargo, una vez que empieza no para, e incluso aumenta con el tiempo, abarcando extensas zonas al unísono. Esta perturbación es la actividad del hombre.

Los problemas que enfrentan los ecosistemas arrecifales

El crecimiento exponencial de la población humana en el último siglo ha sido determinante y ha marcado una etapa de incesante degradación ambiental. Algunas de las ciudades más importantes en el mundo se han desarrollado a la orilla del mar en donde se ha establecido más de la mitad de la población mundial, utilizando los recursos marinos y costeros como principal fuente de alimento. Los arrecifes coralinos se desarrollan en latitudes tropicales entre los Trópicos de Cáncer y de Capricornio, cercanas al Ecuador, en donde se ubica el llamado “cinturón de pobreza”, pues se localizan los países en vías de desarrollo, es decir, los países con los más altos índices de natalidad, carencia económica, corrupción, malas políticas de gobierno y malas políticas ambientales, sin visión de un manejo integral de recursos naturales. Los arrecifes coralinos han sido sobrexplotados para alimentar a millones de personas en las últimas décadas sin considerar la productividad y resiliencia del sistema. ¿Cuánto tiempo más se va a poder extraer peces del arrecife sin dar oportunidad a que las poblaciones se recuperen?

Un estudio reveló que casi dos tercios de los arrecifes de la región del Golfo de México y del Caribe están directamente amenazados por actividades humanas, y que las pérdidas económicas se estima serán de \$ 350 a \$ 870 millones de dólares norteamericanos cada año por la disminución de la pesca de arrecife, del turismo de buceo y de los servicios de protección de la costa (Bourke y Maidens. 2005)

Los arrecifes de coral son sistemas únicos y aún se desconocen muchos de sus secretos. Desde el punto de vista del hombre, el valor de los arrecifes de coral radica en

la protección que brindan a la costa del efecto de mareas y marejadas, evitan así la erosión de playas y resguardan la infraestructura costera contra embates de huracanes. Su valor socioeconómico radica en la actividad pesquera y turística que beneficia a las poblaciones aledañas a arrecifes, pues la población y el turismo se alimentan de la extracción de recursos arrecifales. En la mayoría de los casos, la principal derrama económica se realiza alrededor del sector turístico y la infraestructura creada con este fin. El turismo llega a estos destinos en busca de playas bellas de arena blanca y arrecifes coralinos para bucear, comprar artesanías y comer bien. Desde este punto de vista, conservar los arrecifes de coral es muy buen negocio.

Los efectos negativos locales sobre los arrecifes pueden dividirse en dos tipos: directos e indirectos. Los efectos negativos directos son causados en el arrecife *in situ*, por ejemplo, por el turismo masivo mal manejado y sin control que provoca efectos irreversibles en muchos arrecifes del país y del mundo. Los buzos inexpertos o con técnica deficiente causan daños a los arrecifes pues no controlan su flotabilidad y se detienen de lo que está a su alcance. Un mecanismo para reducir este efecto es que se defina por consenso con los prestadores de servicios las áreas que serán usadas para buzos principiantes y las áreas para buzos con experiencia. Los bañistas que ignoran la existencia o la importancia de corales en el fondo marino pisotean el fondo sin darse cuenta del daño que están causando, esto principalmente en los arrecifes costeros. Es por ello que la educación ambiental a todos los niveles, la publicidad

y la señalización adecuada acerca de la existencia de estos ecosistemas en sitios turísticos y recreativos debe ser una prioridad.

El mal manejo en las actividades de pesca artesanal, cuyo motor principal suele ser la pobreza y la ignorancia, también causan daños sustanciales a los arrecifes. En muchos arrecifes en el mundo se ha utilizado dinamita y cianuro para pescar. Esta situación se presentó en algunos arrecifes de México pero por fortuna se pudo detener esta actividad, aunque indudablemente por la carencia de un sistema de vigilancia efectivo es posible que aún se realicen éstas y otras actividades ilícitas. En Veracruz, por ejemplo, la pesca de pulpo es muy codiciada y a parte de usar los típicos ganchos para sacar al pulpo de sus escondites, en ocasiones los pescadores rompen la estructura del arrecife (incluyendo colonias vivas) para facilitar el acceso a este recurso.

La sobrepesca, en particular la pesca específica o selectiva, altera directamente el equilibrio en las redes tróficas. Si se capturan selectivamente algunos herbívoros como los peces loro o los cirujanos, el crecimiento de algas se dispara, y el balance de fuerzas con competidores como los corales se modifica, crecen entonces sobre los corales y los asfixian. La pesca selectiva de depredadores o carnívoros como meros o chernas, tiburón o barracuda, o bien la de peces que se especializan en comer corales como los peces ángel y peces loro, también tiene efectos “dominó” sobre la dinámica del sistema arrecifal. El caso de Jamaica ejemplifica esta situación. La sobrepesca en los arrecifes jamaíquinos aniquiló a los depredadores, después siguieron los herbívoros y la muerte de corales por algas dejó en un estado deplorable a estos arrecifes que también proveían recursos al sector turístico. Si no hay arrecifes, el turismo busca otros sitios para buceo y así desaparece un beneficio económico para las comunidades locales.

Los arrecifes coralinos son zonas importantes para las pesquerías debido a su alta productividad (dada por los productores primarios que ahí habitan como son las algas y los pastos marinos) y a que su compleja estructura les permite conformar zonas importantes de refugio de reproductores y juveniles. Hoy en día son una fuente económica importante por su importancia recreativa y turística.

La historia del puerto de Veracruz ejemplifica los primeros efectos negativos que el hombre tuvo sobre los arrecifes. Desde el siglo XVI, colonias enteras de coral fueron utilizadas para la construcción, primero de la fortaleza de San Juan de Ulúa, y luego de la ciudad amurallada de Veracruz, por lo que sufrieron un deterioro constante (Montero *et al.*, 1996). La extracción ilícita de corales, peces y esponjas para artesanías y acuarismo que se venden en el malecón del Puerto o se envían a otros destinos sigue repercutiendo hoy día en el deterioro constante de estos arrecifes. Fenómenos semejantes suceden en muchas otras comunidades humanas cercanas a arrecifes en México y el mundo. Los arrecifes del Caribe mexicano enfrentan muchos problemas igualmente agudos, a pesar de que los efectos de grandes núcleos de población en esas costas tienen sólo unas pocas décadas.

Existen eventos, más bien catástrofes, que rompen el equilibrio del sistema arrecifal. Ejemplo de ello son algunas estrellas de mar que se alimentan de los pólipos que forman los arrecifes, pero generalmente presentan densidades bajas. Se han registrado estallidos poblacionales de estos depredadores que elevan tanto el número de individuos que llevan a la destrucción del coral, como sucedió en la década de los 1960 en la región Indo Pacífica. En estas situaciones puede ser que el arrecife no se restablezca y que sea reemplazado por comunidades de macro algas. La mortalidad de los corales, aunado a la reducción en la capacidad reproductiva de los sobrevivientes, no les permite competir con éxito con las algas por el espacio y al final son desplazados o eliminados del sistema. Ejemplos de ello se han dado en Panamá y las Islas Galápagos, después del paso del Fenómeno de El Niño en 1982-83, y en Jamaica posterior al paso del huracán Allen en 1981 y aunado a la sobrepesca que había en el sistema arrecifal.

Los expertos en la problemática de los arrecifes coinciden en que las actividades antropogénicas originadas en tierra son la principal fuente de efectos negativos indirectos sobre arrecifes. Son indirectos pues no se originan en los arrecifes pero se ven afectados por ellos. La contaminación originada en las cuencas que a través de los ríos llega al mar, termina tarde o temprano en las zonas costeras, y llega a los arrecifes. Esta contaminación incluye la descarga de aguas negras sin tratamiento, las aguas de desecho de las industrias del papel, azucarera y cafetalera, en general, los

químicos usados en la agricultura como fertilizantes, herbicidas y pesticidas. Los impactos negativos de la erosión de suelos originada por la deforestación incontrolada para actividades de ganadería y maderería dan como resultado el aumento de sedimentos en ríos, estuarios y arrecifes coralinos. Estos sedimentos restan claridad al agua, disminuyendo la penetración de luz necesaria para la fotosíntesis de las zooxantelas, y en muchos casos cubriendo totalmente pólipos o colonias enteras de corales, las cuales mueren en consecuencia.

¿Alguna vez ha pensado a dónde va a parar el agua del excusado? Todo lo que nuestro cuerpo desecha va a parar eventualmente al mar, y en una población estos desechos suman miles de litros de agua diariamente. Estas descargas incluyen compuestos químicos como vitaminas, hormonas y medicamentos que nuestro cuerpo procesa y desecha. A esto se suman productos que se desechan en el desagüe, tales como medicamentos caducos, basura y productos de limpieza como cloro y detergentes, entre otros. Tarde o temprano estas sustancias llegan a ríos, zonas costeras y arrecifes coralinos. Faltan muchos estudios acerca del efecto de estas sustancias químicas en la dinámica de organismos marinos y arrecifales. Los arrecifes coralinos, a diferencia de otros ambientes marinos, concentran muchos de estos productos en sus tejidos. Algunos organismos filtradores como los ostiones, por ejemplo, pueden concentrar estos contaminantes debido a su tipo de alimentación, representando así un grave riesgo para la salud. A este fenómeno visto dentro del contexto de la red trófica, se le conoce como bioacumulación. La bioacumulación o biomagnificación de tóxicos afecta a los humanos cuando nos comemos al mero o barracuda que ingirió a muchos peces que a su vez comieron muchas más almejas que filtraron y concentraron millones de litros de agua con metales pesados u otros contaminantes. El efecto directo de estos tóxicos en el metabolismo de los organismos filtradores no se ha estudiado a fondo pero constituye un modelo ideal para monitorear estos químicos en el ambiente costero y arrecifal. ¿Qué clase de productos del mar se están consumiendo? ¿Cuál es la calidad de mariscos y pescado que se compra en el mercado? ¿Cómo afecta esto la salud de la gente que basa su alimentación sólo de la pesca diaria?

Los efectos negativos de la eutroficación, o aumento de materia orgánica (nutrientes) en suspensión en los sistemas estuarinos, lagunares y coralinos no siempre son evidentes a simple vista o en corto tiempo. Las grandes cantidades de materia

orgánica de un sistema de desagüe municipal, aunado a otros sedimentos, ocasionan turbidez en la columna del agua. El oxígeno disuelto en el agua es utilizado por bacterias para procesar (oxidar) la materia orgánica y esta disminución del oxígeno posiblemente afecta el crecimiento de los corales e interfiere con el funcionamiento del metabolismo de los organismos arrecifales.

Los efectos negativos originados en los puertos incluyen los desechos de los barcos y de la población misma, el dragado sin control de sedimentos, los derrames de petróleo, las actividades de exploración y extracción del petróleo y gas natural. Las actividades de desarrollo portuario sin visión de crecimiento y ajenas a la presencia e importancia de los arrecifes ponen en peligro su existencia. El crecimiento portuario que implica ganar terrenos al mar azolvando arrecifes (frecuentemente bajo decretos de protección) no es sostenible. Las manifestaciones de impacto ambiental de proyectos portuarios deben ser integrales e incluir estudios de corrientes, así como considerar métodos que garanticen que los sedimentos y desechos que se originen de cualquier actividad portuaria no lleguen a las estructuras arrecifales.

Otro efecto negativo sobre la biodiversidad y ecología arrecifal se da a través de la transportación marítima de especies exóticas, ajenas al ecosistema arrecifal, las cuales son acarreadas en las aguas de las sentinas por barcos cargueros y cruceros que viajan por todo el mundo. La sentina es la parte de la embarcación, en el fondo de la cala, en donde se acumula el agua manejada por bombas para nivelar la línea de flotación de los barcos al entrar a sitios más someros o más profundos, contrarrestando el peso de la carga o la ausencia de la misma. Este fenómeno es muchas veces ignorado y por lo mismo las regulaciones y el control en este sentido en puertos

Los arrecifes de coral producen entre 10 y 12 % de la pesca de peces y mariscos de los países tropicales. Entre las principales especies están huachinango, meros, jureles, pez loro, pez gato y siganos coral. La destrucción de arrecifes afectaría de manera negativa las pesquerías. La destrucción del sistema traería una importante pérdida de productividad y de diversidad, desaparecerían extensas zonas de reproducción y de reclutamiento de peces jóvenes. Así mismo, se perderían importantes servicios ambientales como es la protección que los arrecifes brindan a la zona costera.

mexicanos no es estricto. Organismos como copépodos, diatomeas, algas, y en general larvas de muchos otros organismos que forman parte del plancton, ajenos a los arrecifes locales, pueden tener efectos graves sobre los sistemas arrecifales.

Todos estos efectos se suman al hoy famoso cambio climático global que ha ocasionado el aumento de temperatura en las aguas costeras, y se considera una causa importante de afecciones a los corales tales como el blanqueamiento (o *bleaching* en inglés). Este aumento de la temperatura al parecer provoca que los pólipos liberen las zooxantelas, que le dan su color natural a los pólipos. Esto no implica que el coral muera inmediatamente, hay casos en los que estos pólipos recuperan sus zooxantelas y recobran su color y metabolismo original. Sin embargo, el calentamiento global, sumado a los efectos descritos, está repercutiendo en muchos otros cambios en la dinámica arrecifal. La temperatura del agua tiene efectos múltiples en muchos procesos biológicos, tales como la velocidad de desarrollo de los organismos, sus tasas metabólicas, su longevidad, sus tasas reproductivas y su resistencia a enfermedades, entre otros.

Debido al avance de la tecnología de los equipos de buceo, los buzos recreativos y científicos pueden pasar más tiempo observando detalles en los arrecifes, más procesos se han descrito y cada vez se encuentra que es más lo que se ignora que lo que se sabe. En las últimas dos décadas se ha expuesto la evidencia de enfermedades en los corales y como éstas se han esparcido en el mundo. Algunas enfermedades se describen como bandas o manchas que pueden ser originadas por virus o bacterias. En algunos casos se ha reportado que la disminución en la resistencia a enfermedades de corales permite la entrada de epidemias locales que pueden matar las colonias en grandes extensiones en poco tiempo.

Las áreas marinas protegidas como herramientas para el manejo integral

Las áreas marinas prioritarias para conservación, declaradas o no como Parques Nacionales o Reservas de la Biosfera se concentran en zonas arrecifales, reconociendo así la importancia, fragilidad y valor de estos ecosistemas. Las áreas naturales protegidas (ANP), en particular las áreas marinas, deben verse como una herramienta más para manejar integralmente los recursos, y no como un sistema que solucionará

todos los problemas que rodean las zonas marinas-costeras del país. Por manejo integral se entiende aquel que considera todas las partes del sistema al mismo tiempo, pues si el manejo se enfoca a sólo un sector del sistema hombre-ambiente, es imposible predecir gran parte de las consecuencias de una acción. Es una estrategia multidisciplinaria y multisectorial en la que deben considerarse a todos los actores involucrados en la zona, en la cual las acciones se realizan apoyadas en el consenso de estos actores involucrados.

En México varias zonas arrecifales están a salvo bajo el esquema de Áreas Naturales Protegidas. En el Golfo de México, se localiza el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano que abarca los arrecifes y cayos frente al puerto de Veracruz. Existen propuestas para que el Arrecife de Tuxpan también se convierta en un área protegida. En el Caribe hay tres sistemas arrecifales que se encuentran protegidos como Reservas de la Biosfera: Sian Ka'an, Arrecifes de Sian Ka'an y Banco Chinchorro y varias como Parques Nacionales: Arrecife Alacranes, Arrecifes de Puerto Morelos, Arrecifes de la Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, Arrecifes de Xcalac, Arrecifes de Cozumel. En el ámbito estatal y también en el Caribe están: Chan-Kanaab y Laguna Colombia. En el Pacífico están los arrecifes que forman el Parque Nacional de Huatulco y el Parque Nacional de Cabo Pulmo en el Golfo de California.

Las ANP deben considerarse dentro de una estrategia nacional para el uso racional y manejo de recursos, y su papel dentro del contexto de manejo integral es el de llevar a todos los actores interesados en el área de influencia a una mesa de trabajo para llegar a un consenso sobre los usos y áreas destinadas para cada uno de dichos usos. En este sentido, el decreto de áreas protegidas debe verse validado por el peso de la decisión y la opinión de las comunidades locales que hacen uso de los recursos. Se deben analizar las situaciones considerando los objetivos principales de protección y hacia quién van dirigidos los beneficios que estas estrategias de manejo proponen. Es fundamental considerar la situación socioeconómica en primera instancia y escuchar a las comunidades para saber sus inquietudes y prioridades. Se ha visto en repetidas ocasiones que los decretos de áreas protegidas por imposición gubernamental no funcionan, pues las comunidades no están interesadas o no fueron involucradas desde el inicio en

el proceso de protección y conservación en el área. En la mayoría de los casos, es por ello que la comunidad no apoya y no coopera para una exitosa ejecución de los planes de manejo, monitoreo o proyectos productivos.

Es recomendable que se tenga muy claro el objetivo de protección y que los límites imaginarios del área a proteger tengan una justificación ecológica y social más que política. Por ejemplo, al proteger cierta área es importante saber los hábitos alimenticios y de reproducción de algunas especies clave o indicadoras, pues los individuos pueden alimentarse o reproducirse fuera del polígono propuesto, con lo cual la protección y el manejo no resultan eficientes. Tal es el caso de muchas especies de peces arrecifales, los cuales sólo se observan en estado adulto en los arrecifes, pues su desarrollo como juveniles lo llevan a cabo en zonas de manglar. En dichos casos, aun cuando la pesca esté regulada en el arrecife, la destrucción del manglar tiene como consecuencia que en poco tiempo declinen o desaparezcan las poblaciones de muchos de estos peces.

El papel que la ciencia desempeña en la actualidad en el manejo de recursos es innegable. Dentro de un contexto de manejo integral de zona costera y marina, y para la toma de decisiones, los datos que aporta la investigación básica y aplicada en ecología marina y arrecifal son básicos para analizar las tendencias de las poblaciones de peces, pulpos, erizos y demás organismos que son usados para consumo local, para la exportación y la venta artesanal. La delgada línea que separa la conservación per se del manejo de recursos es que el manejo se puede y se debería realizar en todo el territorio nacional, sin necesidad de decretar zonas para protección; mientras que para la conservación, ciertas actividades extractivas están restringidas dependiendo de la zona, el hábitat, las especies o los procesos ecológicos a conservar. En el manejo de recursos se debe tener un conocimiento básico del sistema como un mapa, y monitorear las especies clave o explotadas para saber la dinámica poblacional. En este sentido, la zonificación en las ANPs (por ejemplo las zonas

En las áreas naturales protegidas, y en general en el manejo de los recursos, debe fomentarse y establecerse los mecanismos para que haya una relación entre las autoridades, los actores y los técnicos. Ésta es la única vía para garantizar la conservación del entorno natural

núcleo o de amortiguación) podría ser dinámica y las decisiones de manejo deberían permitir mover los límites de dichas zonas en donde las actividades extractivas de los recursos sean monitoreadas y manejadas, dependiendo de las respuestas del sistema (resiliencia). Por ejemplo, en el caso de algunas poblaciones de peces, si se conoce la dinámica poblacional, se pueden abrir y cerrar zonas de pesca a lo largo del año y éstas pueden no ser las mismas para el siguiente año dependiendo de la situación de las poblaciones y su hábitat.

Experiencias en los arrecifes de Florida, y en las plataformas costeras y bajos de Chile, han mostrado que las áreas donde se protege la flora y fauna se convierten en zonas de reproducción de organismos económicamente importantes en las pesquerías. Actúan como zonas en las cuales los juveniles se protegen y crecen y más tarde migran hacia otras zonas donde pueden ser pescados.

260

Debe existir una estrecha relación entre la comunidad de científicos que estudian las poblaciones y comunidades marinas y las administraciones de parques nacionales en zonas marinas y costeras para que los datos de los recursos naturales realmente se usen para la toma de decisiones. El papel de las instituciones académicas también es clave y es punto de unión entre comunidades y los tres niveles de gobierno, así como las organizaciones no gubernamentales.

Gran parte de la pesca artesanal realizada en nuestro país se desarrolla en zonas aledañas a arrecifes. La protección de estas zonas como estrategia de manejo y de sustentabilidad es un primer paso, sin embargo es sólo el inicio del camino. La elaboración responsable de documentos tales como Manifestaciones de Impacto Ambiental (MIA), requeridos para muchos trámites de desarrollo urbano y turístico, incluye mecanismos que en primer lugar aseguren que los ejecutores de los mismos estén debidamente calificados, y que la calidad, objetividad e integridad de dichos documentos sean evaluadas por grupos ajenos a los intereses involucrados. Una MIA debe considerar y detallar en lo posible los efectos potenciales negativos y positivos de la obra a desarrollar en el entorno, no sólo describir los beneficios económicos. Debe explicar con claridad qué sucederá y procurar adelantarse a los hechos. Por ejemplo, una MIA que analice la construcción de un rompeolas debe incluir un

análisis del efecto que tendrá en las corrientes y sedimentos (con base en proyecciones o experiencias anteriores), y cómo esto afectará o beneficiará a los arrecifes de la zona (ver capítulo seis sobre Evaluación y riesgo ambiental en la sección cinco).

Como se ha expuesto, los efectos negativos en los arrecifes pueden ser controlados cuando existe un manejo integral, es decir, cuando los sectores e instituciones coordinan sus actividades y no existen agendas ocultas. Este escenario ideal se da cuando existe organización y un gobierno que encabeza ordenadamente las iniciativas de la comunidad y facilita el proceso del establecimiento de estrategias nacionales, en este caso, para un uso sustentable de recursos.

Los arrecifes coralinos han perdurado por millones de años a pesar de los constantes embates de huracanes y otros agentes de la naturaleza, enriqueciéndose incluso a través de estos procesos de perturbaciones recurrentes. Sin embargo, en los últimos siglos, y sobre todo en las últimas décadas, el hombre y su "progreso" carente de sensibilidad ambiental ha sido un agente de perturbación de los arrecifes con efectos totalmente nuevos. Las especies que construyen y habitan los arrecifes no tienen la capacidad de resistir el embate al que los estamos sometiendo. Los arrecifes con todas sus riquezas están muriendo a causa de efectos globales y locales provocados por el hombre. Las consecuencias de perderlos son tan grandes que no preverlas, o negarlas, es una actitud que ya nos están reprochando nuestros hijos. Sólo una visión global de los problemas, y una gran eficiencia para llevar acciones locales determinantes, nos permitirán evitar que estos oasis marinos se conviertan en desiertos y en testigos de la pobre visión futura de una especie, la nuestra.

RECOMENDACIONES DE MANEJO

- Establecer una zonificación para el turismo que visita los corales, de modo que no todas las áreas se vean sujetas a presiones.
- Evitar que los visitantes se paren sobre los corales y recojan corales para llevárselos de recuerdo.
- Colocar zonas de anclaje para lanchas impidiendo así que se tire el ancla en cualquier parte del arrecife.
- Reglamentar las artes de pesca y los volúmenes que se pueden extraer, en función del tipo de arrecife y su situación particular.
- Reglamentar la introducción de especies exóticas.
- Evitar la llegada de aguas de drenaje o de escurrimientos agrícolas directamente a las zonas arrecifales.
- Establecer señalamientos adecuados.
- Evitar ubicar un desarrollo portuario cerca de zonas arrecifales.
- Buscar fuentes alternativas de material para construcción de manera que se evite el minado y la pérdida irreversible de estos ecosistemas.
- No llevar a cabo actividades de dragado que genere suspensión de sedimentos cerca de las áreas de arrecifes. Si no existe otra posibilidad y el dragado es necesario, entonces colocar cortinas de sedimentos.
- Ubicar desarrollos industriales lejos de zonas de arrecifes.
- Prohibir por completo el uso de explosivos y venenos para la captura de peces en los arrecifes.
- Fijar límites de cosecha de peces y especies en zonas arrecifales, con base en estudios científicos y monitoreos.

BIBLIOGRAFÍA

- Bezaury-Creel, J., R. Macías-Ordóñez, G. García-Beltrán, G. Castillo-Arenas, N. Pardo-Caicedo, R. Ibarra-Navarro y A. Loreto-Viruel.** 1997. Implementation of the International Coral Reef Initiative (ICRI) in Mexico. Commission for Environmental Cooperation (CEC). En: *The International Coral Reef Initiative, The Status of Coral Reefs in Mexico and The United States Gulf of Mexico*. Amigos de Sian Kaan AC, CINVESTAV, NOAA, CEC, y The Nature Conservancy. Disponible en: <http://benthos.cox.miami.edu/mexico/icri/home.html>
- Bourke, L. y J. Maidens.** 2005. *Arrecifes en Peligro en el Caribe (Reefs at Risk in the Caribbean)*. World Resources Institute. Washington, USA. Disponible en: http://marine.wri.org/pubs_pdf.cfm?PubID=4086
http://pdf.wri.org/arrecifesen_peligro.pdf
- Gutiérrez, D., C. García-Saez, M. Lara, C. Padilla.** 1993. Comparación de arrecifes coralinos: Veracruz y Quintana Roo. En S. Salazar-Vallejo y N. González (eds). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO/CIQRO, México, pp. 787-806.
- Hulm, P. y J. Pernetta.** 1993. *Reefs at risk. Coral reefs, human use and global climate change. A programme of action*. UNEP-IOC-WMO-WWF y IUCN, 24 p.
- Humann, P.** 1993. *Reef coral identification*. New World Publications, Inc., Florida, E.U.A. 253 p.
- Montero, P., D. Goeritz Rodríguez, J. Hernández Aranda y V. Murrieta Martínez.** 1996. San Juan de Ulúa. *Puerta de la Historia. Volumen 1*, Instituto Nacional de Antropología e Historia/Internacional de Contenedores Asociados de Veracruz, SA de CV, México, 207 p.
- Spalding, M. D., C. Ravilious y E. P. Green.** 2001. *World Atlas of Coral Reefs*. United Nations, Environment Programme-World Conservation Monitoring Centre/University of California Press., Los Angeles, USA; London, England, 424 p.
- Wilkinson, C. R. y R. W. Buddemeier.** 1994. Global climate change and coral reefs: implications for people and reefs. UNEP-IOC-ASPEI-IUCN, 124 p.