



**GOBIERNO
FEDERAL**

SEMARNAT

SEMAR

SCT

PGR

Manual Coordinado de Procedimientos Ambientales, Administrativos y Legales para la Atención Inmediata a los Arrecifes por Encallamientos



Vivir Mejor

Directorio

Juan Rafael Elvira Quesada
SECRETARIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Ernesto Enkerlin Hoeflich
COMISIONADO NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

David Gutiérrez Carbonell
**DIRECTOR GENERAL DE OPERACIÓN REGIONAL
COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS**

Alfredo Arellano Guillermo
**DIRECTOR REGIONAL PENÍNSULA DE YUCATÁN Y CARIBE MEXICANO
COMISION NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS**

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad
Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
Secretaría de Marina Armada de México
Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Procuraduría General de la República
Dirección General de Marina Mercante
Administración Portuaria Integral de Quintana Roo
Proyecto para el Sistema Arrecifal Mesoamericano
Instituto Nacional de Ecología
ICRI- CSI
Biocenosis, A.C.
Oceanus, A.C.
Mesoambiental, A.C.

CRÉDITOS PERSONALES

Coordinación

Alfredo Arellano Guillermo
Rafael Robles de Benito
Francisco Aguilar Salazar

Diseño

Mariana Estrella Gutiérrez Nethe

Elaboración de Contenidos y Participantes en los Talleres

Alfredo Arellano Guillermo	CONANP
Robert Cudney Bueno	CONANP
José Juan Domínguez Calderón	CONANP
Gerardo Ríos Saiz	CONANP
Jaime Estrada Olivo	CONANP
María del Carmen García Rivas	CONANP

Ricardo Gómez Lozano	CONANP
Jaime González Cano	CONANP
Daniella Guevara Muñoz	CONANP
Wady Haddad López	CONANP
Juan Carlos Huitrón Baca	CONANP
Ángel Omar Ortíz Moreno	CONANP
Patricia Santos González	CONANP
Francisco Ursúa Guerrero	CONANP
Elvira Carvajal Hinojosa	CONANP
David Gutiérrez Carbonel	CONANP
Francisco Remolina Suárez	CONANP
Alejandra Rabasa Salinas	SEMARNAT
Aracely Gómez Herrera	SEMARNAT
Luis Fueyo McDonald	CONABIO
Ramiro Rubio Ortiz	PROFEPA
Antonio Jiménez Ventura	PROFEPA
Carlos Manuel Pino Velazco	PROFEPA
Bernardo García Camino	PROFEPA
Mayra Ruíz Cabañas	PROFEPA
Oliverio Razo Andrade	PROFEPA
Dionisio Casanova Pech	PROFEPA
Marisol Rivera Planter	INE
Juan Borrayo Saavedra	Secretaría de Marina Armada de México
José A. Jiménez Vera	Secretaría de Marina Armada de México
Wilma Verónica Díaz González	Secretaría de Marina Armada de México
Mariano Pool Estrella	Secretaría de Marina Armada de México
César Patricio Reyes Roel	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Arturo Martínez Ortiz	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Vicente Martínez Morales	Capitanía de Puerto SCT
José Tomás Lozano y Pardiñas	Departamento de Resguardo Marítimo Federal de la Dirección General de Marina Mercante
Darwin Quijano	API – Quintana Roo
Gustavo Rodríguez	API – Quintana Roo
Dave Gulko	CSI
Patricia Ramírez	CSI
John Halas	NOAA-FKNMFS
Dave Score	NOAA-FKNMFS
Marco Antonio Domínguez	PGR, Delegación Quintana Roo
Diana Ponce Nava	Consultora
Oscar Álvarez Gil	Consultor
Claudia Padilla Souza	Consultora
Miguel Ángel García Salgado	Oceanus, A.C.
Gabriela Nava Martínez	Oceanus, A.C.
Francisco Armando Aguilar Salazar	CRIP - INAPESCA
Soporte logístico y administrativo	
Marisela E. Garduño Baez	CONANP
Alejandro Pliego Moreno	CONANP
Carlos Alcérreca Aguirre	Biocenosis, A.C.
Fanny Karina Lara Morales	Biocenosis, A.C.


Participantes en el Taller de monitoreo y evaluación rápida

Felipe Fonseca Peralta	CONANP
Ignacio Gerardo Barajas León	CONANP
Enric Alfredo Valencia Abán	CONANP
Enrique Constantino Arévalo	CONANP
Froylán Cano Ucán	CONANP
Perla Godínez Rosas	CONANP
Belem Ramírez Ávalos	CONANP
Diego Salazar Argáez	CONANP
Marínés Millet Encalada	CONANP
Jorge M. Gómez Poot	CONANP
Rafael Roldán Serralde	CONANP
Israel López Huerta	CONANP
Roberto Ibarra Navarro	CONANP
Rosa María Loreto Viruel	CONANP
Alejandro Vega Zepeda	CONANP
José A. Jiménez Vera	CONANP
Héctor Alfredo Martín Sierra	CONANP
José Joaquín Díaz Quijano	CONANP



Introducción

1

Los arrecifes coralinos se encuentran entre los ecosistemas más amenazados del mundo. Aparte del grado de amenaza a que se ven sujetos, los arrecifes de coral se encuentran entre los ecosistemas más importantes de la naturaleza, debido a su gran diversidad biológica y su alta productividad (Veron, 2000). Son semejantes a los bosques húmedos en cuanto a su diversidad biológica, y contribuyen a la generación de beneficios económicos para la industria pesquera y turística. Además, son ecosistemas de importancia global en virtud de los servicios ambientales que brindan, como la protección de costas, generación de playas, y la conformación de zonas de refugio y crianza de especies de importancia comercial, entre otros. A pesar de su fragilidad, y a la luz de la innegable y caprichosa belleza de sus estructuras, su colorido, y los muy diversos organismos que conviven con ellos: peces, anémonas, crustáceos, algas y esponjas, por mencionar solamente algunos de los más conspicuos, han sido utilizados frecuente e intensamente como infraestructura natural por la industria turística en diversos países del Caribe.

La conservación de los arrecifes coralinos se reconoce cada vez más como una necesidad para las naciones ubicadas en áreas tropicales y que dependen de una forma u otra del mar, principalmente en escenarios en los cuales el deterioro del há-



■ *Pseudopteriogorgia americana*.
Fuente: CONABIO / Quetzalli Sotelo



■ Hundimiento de barco.
Fuente: SEMAR, 2005

bitat es cada vez más aparente, y parece resultar inexorable. Independientemente de la región en que se encuentren, la mayoría de los ecosistemas arrecifales del mundo se encuentra sujeta a diferentes tipos de impacto. Los daños que sufren estos ecosistemas pueden ser producto de la pesca ilegal, varamiento o encallamiento de barcos, pesca destructiva, contaminación proveniente de la costa, descargas de aguas negras, esfuerzo pesquero excesivo, blanqueamiento, enfermedades debidas a diversas causas, cambios asociados a una alta concentración de nutrientes, e incluso impactos de menor escala derivados de actividades turísticas mal efectuadas, tales como: el anclaje de las embarcaciones sobre los corales, la ruptura accidental de corales por buzos inexpertos, la extracción de trozos de coral y otros organismos para ser llevados como recuerdo, el levantamiento con las aletas de sedimentos que se depositan finalmente sobre los corales, el uso de bronceadores no biodegradables, los accidentes de embarcaciones, y el uso intensivo de motores de dos tiempos, que provoca una descarga de aceites constante y directa al ambiente marino. Por otra parte, los huracanes y otros fenómenos naturales pueden perturbar significativamente las comunidades estables que, una vez sufrido el impacto, ven por delante un período de recuperación de muchos años.

Garantizar la conservación de estos extraordinarios lugares requiere de la combinación armónica entre el desarrollo de actividades productivas, tales como la pesca y el turismo, con actividades de protección para lograr el aprovechamiento sustentable de los recursos. Para ello es necesario contar con el conocimiento biológico básico, establecer los lineamientos para lograr un uso sustentable con el apoyo de los usuarios, y finalmente reservar áreas en su estado original para garantizar el mantenimiento de los procesos ecológicos.

El entrenamiento técnico de personal de campo, y el diseño de programas específicos para evaluar y manejar adecuadamente la gran variedad de impactos antropogénicos que ocurren en los arrecifes son todavía insuficientes. Esta situación ya genera una preocupación de alcance internacional. Algunas de las Áreas Naturales Protegidas de México, así como unas cuantas organizaciones no gubernamentales conservacionistas del país, han empezado a desarrollar esfuerzos para

la formulación y puesta en práctica de métodos adecuados para el manejo y evaluación de encallamientos y técnicas de restauración, con experiencias muy favorables.

Hay sin embargo, todavía mucho por hacer en esta materia. Entre otras asignaturas pendientes, y de modo que tenga sentido el fortalecimiento institucional para atender impactos en arrecifes (especialmente en lo que atañe a la formación de recursos humanos, y tareas de restauración y protección) se debe establecer un fondo de contingencia para encarar este tipo de eventos, fondo que al menos en parte se debe alimentar de las multas y sanciones impuestas a los responsables de los daños.

Algunas consideraciones generales acerca de los arrecifes de coral

2

Los arrecifes de coral son las estructuras más grandes y espectaculares generadas por organismos vivientes, y pueden además ser muy antiguos: Se tienen registros de arrecifes de coral generados hace más de 200 millones de años, y algunos tipos de corales que viven hoy día evolucionaron hace alrededor de 150 millones de años. Entre la extraordinaria variedad de plantas y animales marinos que albergan estos ecosistemas, hasta ahora apenas se han nombrado y descrito 100,000 especies, de un número que probablemente se encuentre entre 500,000 y 2 millones (Spalding, 2001).

Se estima que los arrecifes coralinos abarcan solamente 284,300 km² de la superficie de la tierra, por lo que se considera que son ecosistemas raros. La mayor concentración de arrecifes de coral se presenta en la región conocida como el Indo-Pacífico, y menos de 8% de los arrecifes se encuentra en el Caribe y el Atlántico (Spalding, 2001).



■ Agregación de peces cirujano en un hábitat de parches de *Acropora* spp.
Fuente: CONABIO / Gilberto Acosta González



■ Colonias de coral duro.
Fuente: CONABIO / Gilberto
Acosta González

2.1 Elementos de biología y ecología de los corales

El término coral se usa para designar un grupo de organismos diminutos, del grupo de los cnidarios (*Phylum Cnidaria*). Algunos de los organismos que integran este grupo del reino animal segregan rígidos esqueletos calcáreos y viven en colonias, asumiendo la forma de pólipos. Un coral individual, o pólipo, es un organismo en forma de saco con una boca central rodeada por un anillo de tentáculos. Como sus parientes cnidarios – anémonas, medusas, e hidrozoarios – los corales tienen una estructura corporal simple que consta únicamente de dos capas de tejido: el ectodermo, y el gastrodermo. El ectodermo de los corales secreta una capa de carbonato de calcio (coralita) a cuyo interior puede retirarse el pólipo.

El tamaño de los pólipos varía de ≤ 1 mm, hasta varios centímetros de diámetro. Aunque algunas especies de coral consisten sólo en pólipos individuales, la mayoría forma colonias que constan de miles de pólipos interconectados. Todos los pólipos de una colonia son genéticamente iguales entre sí (clones), ya que proceden por gemación del individuo fundador original. Son animales marinos sedentarios que carecen de órganos o sistemas sensoriales especializados. En su lugar, utilizan la difusión pasiva a través de sus delgados tejidos vivos para obtener oxígeno y excretar residuos. Producen moco para protegerse y para limpiar detritos pequeños de la superficie de sus tejidos. Una difusa red de “nervios” conecta entre sí los pólipos de una colonia, y permite su respuesta ante estímulos físicos o químicos.

Los corales pueden ser carnívoros, y capturar pequeñas presas (zooplancton¹) que se encuentran atrapadas por sus superficies cubiertas de moco, o enredadas por células especializadas urticantes que se encuentran en sus tentáculos. Absorben materiales orgánicos disueltos en el agua circundante, y también producen su propio alimento. Unas pequeñas algas unicelulares, llamadas zooxantelas, viven dentro de

¹ Zooplancton: pequeños organismos, frecuentemente microscópicos, entre los que abundan larvas y juveniles de animales, e incluso individuos adultos, pertenecientes a diversos grupos del reino, como crustáceos, moluscos, o dinoflagelados, entre muchos otros.

las células del coral, y generan compuestos ricos en energía a través de la fotosíntesis. Esta “comida” es transportada al coral hospedero, y le proporciona la mayor parte de sus requerimientos de energía y carbono. Esta relación simbiótica, que es la clave del éxito ecológico de los corales coloniales, requiere luz solar adecuada, pero no excesiva, para que las algas puedan llevar a cabo su función fotosintética.

El alto índice de diversidad² de especies asociadas a los arrecifes de coral señala que existen altos niveles de productividad primaria; es decir, de captura y utilización de la energía solar. Sin embargo, es notable que, en contraste con otros sistemas biológicos, en los que las altas tasas de productividad se mantienen gracias a continuos aportes de nutrientes, los arrecifes de coral se desarrollen en aguas tropicales, donde prevalecen muy bajos niveles de nutrientes. Esta situación, que a primera vista parece paradójica, se explica fácilmente: la alta productividad se mantiene, aún con bajos insumos de nutrientes, porque éstos se reciclan continuamente dentro del sistema. En estos ecosistemas, los nutrientes se encuentran en la biomasa; esto es, en los organismos que componen el sistema, y no en la columna de agua³ (García y Nava, 2006).

2.2 Reproducción de los corales

Los corales se reproducen sexual y asexualmente, utilizando un amplio repertorio de estrategias. Por ejemplo, los gametos (óvulos y espermatozoides) se producen en los mesenterios que limitan al pólipo de coral. Un coral puede ser hembra o macho (son gonocóricos), o hermafrodita, con una mezcla de pólipos hembra y pólipos macho dentro de una colonia, o con gónadas femeninas y masculinas dentro de un mismo pólipo. Como una evidencia adicional acerca de su flexibilidad reproductiva, debe decirse que algunos pólipos, o colonias completas, pueden cambiar de sexo de un año a otro.

² Por diversidad se entiende, no solamente la cantidad de especies que se encuentran en el ecosistema (riqueza), sino también la cantidad de individuos de cada una de estas especies. Así, un sistema que tiene, por decir un número cualquiera, cien organismos pertenecientes a diez especies, de modo que una de ellas está representada por noventa y un individuos, y las demás por un individuo cada una, será menos diverso que otro donde también hay cien individuos de diez especies distintas, pero representadas por diez individuos cada una.

³ Una situación similar se encuentra en las selvas altas perennifolias, donde los nutrientes se encuentran en las enormes estructuras de los estratos arbóreos del ecosistema, en lugar de hallarse disponibles en el suelo.



Porites porites. Habita entre los 0.9 y los 48 m de profundidad.
Fuente: CONABIO / Humberto Bahena Basave

Los gametos, pueden ser liberados (diseminados) hacia el agua circundante para su fertilización o, en algunos casos, los huevos son retenidos y fertilizados en el pólipo, donde son criados hasta que se hayan transformado en larvas, llamadas plánulas. Los huevos de coral pueden contener zooxantelas heredadas de la madre al momento de ser liberados, o bien las pueden adquirir del medio ambiente antes de asentarse, o un poco después de hacerlo. Las plánulas nadan débilmente utilizando cilios (apéndices motores parecidos a cabellos). Las corrientes oceánicas transportan a las plánulas durante varios días, semanas, o aún meses antes de que se asienten. Esta dispersión planctónica de las larvas puede establecer arrecifes lejos de las colonias parentales.

La mayoría de los corales se reproduce anualmente, durante eventos de desove, o muga, sincronizados por los cambios en la temperatura del agua de mar, el ciclo lunar, y la hora del día. Los eventos de desove masivo en los que la mayoría de los corales liberan gametos a lo largo de unas cuantas noches suceden en muchos arrecifes (p. ej., Flower Garden Banks, Tortugas, o el Gran Arrecife de Barrera Australiano), mientras que en otras regiones las diferentes especies de coral desovan en diferentes estaciones del año, fases de la luna u horas del día. En virtud de que los huevos son generalmente ricos en grasas y flotan fácilmente, es frecuente observar grandes manchones de gametos en la superficie durante y después de los eventos de desove (NOAA, 2001).

Es común que los corales se reproduzcan tanto sexual como asexualmente. Los fragmentos de las colonias quebradas por la acción de las olas, y yemas producidas por pólipos individuales, pueden volver a cimentarse y sobrevivir independientemente en el arrecife. De esta manera, varias colonias en un arrecife pueden representar clones de un solo individuo. Las formas de corales ramificados son más susceptibles a la fragmentación que las incrustantes o masivas. Hay otras diferencias geográficas significativas en cuanto a qué tan eficazmente puede reproducirse una especie mediante fragmentación, y éstas, pueden verse exacerbadas por otros factores ambientales, como la calidad del agua.

2.3 Crecimiento y longevidad

Los corales presentan diferentes tasas de crecimiento, dependiendo de la morfología de cada colonia y de las condiciones ambientales en que se desarrolla. Las especies ramificadas llegan a crecer con tasas de extensión lineal de hasta 20 cm/año, más rápidamente que las colonias masivas (~ 1 cm/año); las especies que tienen esqueletos densos crecen más despacio que las especies más frágiles. Las colonias que habitan áreas en las que la elevada energía del oleaje erosiona y rompe el coral muestran formas de crecimiento más compactas o incrustantes que sus parientes habitantes de sitios más calmos.

Algunas especies de coral (p.ej., *Pocillopora meandrina*, que se distribuye por los arrecifes del Pacífico oriental, y no se encuentra en arrecifes mexicanos, y muchas de las especies de *Acropora spp.*) crecen hasta alcanzar un tamaño determinado (~ 50 cm en 10-15 años, en el caso de *P. meandrina*) y después mueren. Otros corales (p. ej., los masivos *Porites* y *Montastrea*) parecen ser capaces de crecer continuamente y sobrevivir indefinidamente, de manera que las colonias de algunas especies de coral son potencialmente inmortales. Sin embargo, se ha determinado a través de las huellas de crecimiento en la secciones de esqueletos de corales masivos del género *Porites* que la longevidad de los pólipos individuales es del orden de 5 a 7 años.

2.4 Corales duros, colonias y formación de arrecifes

En el Caribe se encuentran más de sesenta especies de los corales llamados pétreos o duros (Clase *Anthozoa*), cuyos es-

queletos forman las complejas edificaciones coralinas que se conocen como arrecifes. Es común encontrar corales blandos o córneos (Subclase *Alcyonaria*), algunos zoantarios (Subclase *Zoantharia*) y los "corales urticantes" o milleporas (Clase *Hydrozoa*) asociados a ellos. Los corales dan origen a colonias de diversas formas y tamaños, algunas son ramificadas, mientras que otras especies tienen establecen colonias de formas masivas que pueden alcanzar gran tamaño. Las estructuras arrecifales están constituida por grandes agregaciones de estas colonias, estructuras rocosas, de carácter calcáreo, fragmentos desprendidos y acumulaciones de sedimentos y arenas calcáreas que se originan de los propios corales y de los otros organismos con esqueletos calcáreos que viven asociados a ellos. (Goenaqa, 1986).

El lento pero continuo crecimiento del coral a través de miles de años, y la acumulación de los fragmentos y sedimentos que se generan en el arrecife, permite a los corales subsistir, a pesar de aumentos en el nivel del mar. El crecimiento vertical, a razón de 0.5 a 1.5 cm por año, permite al arrecife ajustarse a estos cambios. De hecho, muchos de los arrecifes "modernos" se establecieron hace menos de 15,000 años, cuando el nivel del mar estaba unos 85 metros por debajo del nivel actual, y cuando comenzaban a inundarse las plataformas insulares como resultado del rápido ascenso en el nivel del mar (Goenaqa, 1986).

Hay cuatro tipos principales de arrecifes (Fig. 1):

Arrecifes en parche

Formaciones aisladas y pequeñas

Arrecifes de borde

Arrecifes que bordean directamente líneas de costa

Arrecifes de barrera

Arrecifes que fueron alguna vez de borde, pero que se encuentran actualmente separados de la línea de costa por una laguna.

Atolones

Arrecifes que fueron alguna vez de borde, y se localizan alrededor de islas volcánicas actualmente sumergidas.

Algunas comunidades arrecifales pueden no haberse consolidado estructuralmente, ya sea porque se encuentran en las etapas más tempranas de su desarrollo, o su desarrollo y consolidación se ve interrumpido por perturbaciones ambientales recurrentes en períodos relativamente breves. También hay comunidades de coral en áreas cuyas condiciones no permiten el crecimiento de arrecifes, pero donde las especies de coral pueden sobrevivir sin generar estructuras de grandes dimensiones.

Las zonas en cada tipo de arrecife (Fig. 2) se definen con base en la profundidad y la exposición al oleaje. Las algas coralinas y algunos corales incrustados o de bajo perfil dominan la cres-

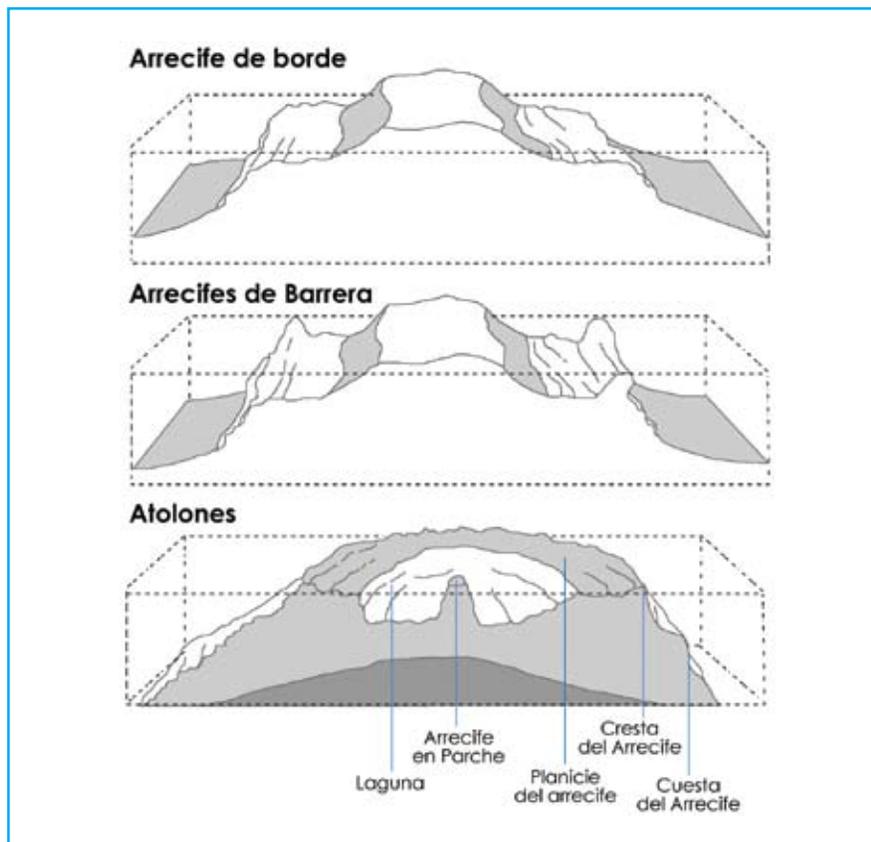


FIGURA 1
Tipos de arrecifes de coral.
Modificado de NOAA, 2001

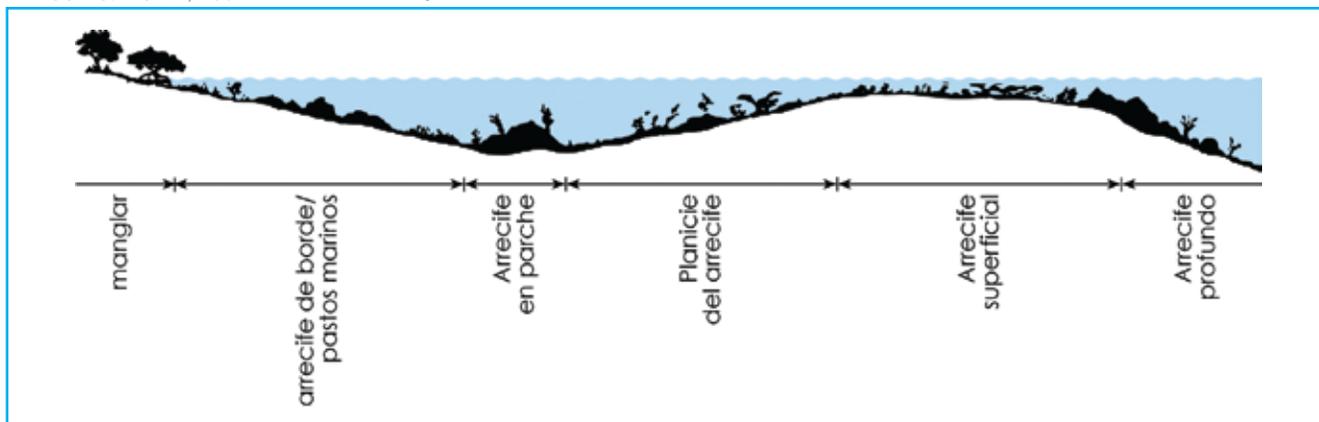
ta del arrecife, a profundidades de 0-2 metros, que es el área de mayor energía de oleaje. Hacia el mar abierto y a una profundidad superior a la de la cresta del arrecife, el frente del arrecife consiste en contrafuertes y canales (o puntales y ranuras) que disipan la energía de las olas y permiten el transporte de materiales del arrecife hacia mar adentro. La zona de frente del arrecife (a una profundidad de ~2-10 m) generalmente sostiene la mayor diversidad y cobertura de corales. La zona más externa y profunda es el cantil del arrecife, que desciende desde el frente hasta los límites más profundos que permiten el desarrollo de los corales (~100 m). Protegidas de la mayor fuerza del oleaje, la meseta arrecifal y las zonas traseras del arrecife son ambientes más calmos, que sostienen el crecimiento de comunidades de corales, algas, y pastos marinos. El mayor desarrollo del arrecife se lleva a cabo en los frentes de sotavento de islas o atolones, donde la erosión debida a la acción de las olas es menor.

4 Se entiende por organismos bentónicos a todos aquellos que cumplen la mayor parte de su ciclos de vida en el fondo del mar.

Las comunidades de coral pueden comenzar su desarrollo sobre plataformas submarinas preexistentes, como volcanes o áreas de bajos, y se convierten en arrecifes de coral a través del crecimiento de las colonias de corales duros, y la acumulación continua de restos de plantas y animales marinos bentónicos⁴ en medios ambientes someros tropicales y subtropicales. El carbonato de calcio de los esqueletos y diversos sedimentos se acumulan a razón de unos cuantos centímetros por año, a lo largo de miles de años, para formar arrecifes.

FIGURA 2

Perfil típico de un arrecife de coral
Fuente: NOAA, 2001



El desarrollo de los arrecifes de coral está limitado a lugares relativamente estables desde el punto de vista ambiental; es decir, sitios donde se presentan condiciones ecológicas acotadas dentro de rangos muy precisos:

■ **Temperaturas cálidas**, nunca inferiores a los 21 o 22° C. Las regiones con temperaturas menores a éstas, o con períodos cortos de temperaturas por debajo de los 18° C, carecen de comunidades coralinas bien desarrolladas.

■ **Buena iluminación**. El crecimiento activo de los corales está limitado a los fondos bien iluminados, debido a los requerimientos de luz de las algas simbióticas. El mayor desarrollo de las estructuras coralinas ocurre a profundidades menores de 20 metros. Más allá de esta profundidad se encuentran empinados taludes construidos por esqueletos de corales muertos, revestidos de sedimentos calcáreos que se originan, en gran medida, de la misma actividad biológica en las porciones más llanas del arrecife.

■ **Alta salinidad**. Los corales requieren salinidades similares a las de las aguas oceánicas para su desarrollo. Por su tolerancia limitada a la salinidad (entre 27 y 40‰) se les considera organismos "estenohalinos". Bajas salinidades provocadas por lluvias torrenciales o aportes fluviales inducen a los pólipos a expulsar sus zooxantelas.

■ **Baja tolerancia a sedimentos suspendidos**. La turbidez reduce el nivel de iluminación y utilización de la energía solar. Además interfiere con la alimentación de los pólipos, y aumenta los gastos energéticos requeridos para mantener sus superficies limpias. Por esta razón, los arrecifes alcanzan su mejor desarrollo en aguas oceánicas de gran transparencia y están ausentes de las costas sujetas a copiosas aportaciones de sedimentos finos.



■ Colonia coralina de forma cerebri-forme.

Fuente: CONABIO / Gilberto Acosta González



■ Colonia de coral escleractinio de forma ramificada.

Fuente: CONABIO / Gilberto Acosta González



Hábitat dominado por colonias de *Acropora palmata*.

Fuente: CONABIO / Gilberto Acosta González

Oleaje o corrientes. Los corales se desarrollan mejor donde el oleaje y las corrientes transportan el plancton que capturan los pólipos y donde el flujo de agua contribuye a eliminar sedimentos de las superficies de los corales y el fondo.

Baja tolerancia a emersión prolongada. Los arrecifes no pueden crecer por encima del nivel medio de la bajamar. Las mareas bajas frecuentemente causan mortandades, sobre todo cuando ocurren de día y los corales quedan sometidos a los fuertes rayos solares y la desecación.

Las excepciones a estas condicionantes generalmente significan condiciones sub-óptimas. Por ejemplo, en Hawai se han reportado corales constructores de arrecifes bajo condiciones de muy poca iluminación a profundidades mayores a los 150 m. Los corales pueden sobrevivir a cortos períodos de tensión durante mareas extremadamente bajas, escorrentías periódicas de agua dulce, y la presencia de sedimentos en suspensión. En estos períodos, los pólipos se retraen y secretan mayores cantidades de moco. Los corales pueden incluso recuperarse del blanqueamiento inducido por la tensión, recuperando gradualmente las zooxantelas en su tejido. Los costos metabólicos de sobrevivir bajo condiciones de tensión hacen que el crecimiento y el potencial reproductivo de los corales disminuyan.

Los arrecifes de coral dependen de que las corrientes les aporten alimento y nutrientes, y de la dispersión y acumulación de esporas, larvas e individuos juveniles planctónicos para reclutar y reponer poblaciones y especies. Los cambios periódicos en las principales corrientes (p.ej., durante las oscilaciones australes del efecto del Niño) pueden interrumpir los procesos normales, pero también pueden aportar reclutas de poblaciones que comúnmente se encuentran corriente debajo de un área particular de arrecifes (NOAA, 2001).



Barrera arrecifal.

Fuente: CONABIO / Humberto Bahena Basave

2.5 Biodiversidad Arrecifal

Los numerosos escondrijos entre las colonias de corales que conforman un arrecife dan alojamiento a una gran diversidad de animales que incluyen esponjas, gusanos, moluscos, crustáceos, erizos, estrellas marinas, pepinos de mar y peces, que se caracterizan por sus colores vivos y contrastantes. Esta compleja comunidad de organismos, íntimamente integrados como resultado de una larga evolución, da origen al ecosistema del arrecife de coral. El despliegue de colores que se aprecia en los arrecifes no es un accidente, sino el resultado de la complejidad de esta comunidad biológica. Los colores sirven como códigos para el reconocimiento entre las especies y de sus funciones especializadas. Esta codificación por colores es análoga a la que se utiliza en circuitos electrónicos, en las áreas de estacionamiento de varios pisos, aeropuertos y otros lugares donde contribuyen a la eficiencia de mantenimiento y uso de esos sistemas (Goenaqa, 1986).

Aunque los corales escleractíneos (duros) son los constructores de arrecifes dominantes en la mayoría de estos ecosistemas, hay muchas especies de algas y otros organismos, como caracoles, ostras, almejas, gusanos, y esponjas, que también producen esqueletos de carbonato de calcio. Cuando estos esqueletos se acumulan en los intersticios del arrecife, contribuyen a cimentar la estructura a través del tiempo. Relacionados con los corales escleractíneos, se encuentran los gorgonáceos – octocorales como los abanicos de mar, plumas de mar, látigos de mar, y corales coriáceos. Conocidos colectivamente como "corales blandos", los octocorales carecen de esqueleto, o bien producen un esqueleto reducido y flexible. Las anémonas son otros parientes de los corales que comúnmente se encuentran en los arrecifes, y se presentan con una gran variedad de tamaños en diferentes hábitats. Otros parientes de los corales son los zoantarios, que comúnmente se localizan sobre la meseta arrecifal o en la zona intermareal.



■ Parche de coral. Se observan a las especies *Porites astreoides*, *Isophylla sinuosa*, *Pseudopterogorgia* spp. y *Gorgonia flabellum*.
Fuente: CONABIO / Gilberto Acosta González



■ Hábitat de pastos marinos con algunos parches pequeños de coral aislados.
Fuente: CONABIO / Gilberto Acosta González

Los arrecifes de coral proveen de alimento y refugio a muchas especies peces e invertebrados, incluyendo crustáceos (cangrejos, langostas, camarones), equinodermos (erizos, pepinos de mar, estrellas quebradizas, crinoideos), esponjas perforadoras, incrustantes y erectas, moluscos (bivalvos, caracoles, pulpos, nudibranquios), y gusanos pertenecientes a docenas de grupos. Los peces abarcan desde los más pequeños gobios hasta meros de 2 m de largo, o tiburones. Las tortugas marinas se refugian en oquedades del arrecife y forrajean en busca de esponjas y otros alimentos; y los manatíes se alimentan en las praderas de pastos marinos asociadas a los arrecifes (NOAA, 2001).

El grado de biodiversidad de los corales varía geográfica, ecológica, histórica, y geológicamente. El número de especies de coral en los arrecifes de Florida y Hawai es semejante, con 45 y 52 especies, respectivamente. Sin embargo en el Caribe hay más de 70 especies de corales constructores de arrecifes, y si se cuentan también los corales de aguas profundas y los que no contribuyen a la estructura de los arrecifes, el número está muy por encima del centenar. En las principales islas del archipiélago hawaiano hay 29 especies adicionales de corales que no construyen arrecifes y habitan aguas profundas, y por lo menos 10 especies más se encuentran en las islas noroccidentales de Hawai y no ocurren en los arrecifes de las islas principales (NOAA, 2001).

Los corales blandos, los látigos de mar, y los abanicos de mar (octocorales), y las colonias masivas de los corales estrella (*Montastrea spp.*) y cerebro (*Colpophyllia natans*) dominan los arrecifes de Florida y el Caribe. Antes de los brotes de blanqueamiento de las décadas de 1980 y 1990, los macizos de corales cuernos de alce (*Acropora palmata*) y cuerno de ciervo (*A. cervicornis*) eran especies comunes en aguas someras, pero ahora han sido frecuentemente sustituidas en algunas áreas por corales lechuga, *Agaricia spp.* Los *Porites* masivos (*P. lobata* y *P. evermanni*), *Porites* ramificados (*P. compressa*), corales incrustantes (*Montipora spp.*), y los corales de coliflor y de encaje (*Pocillopora meandrina* y *P. damicornis*) dominan los arrecifes hawaianos.

2.6 Hábitats asociados: pastos marinos y manglares

Las praderas de pastos marinos suelen encontrarse en los arenales localizados en ambientes de las porciones traseras de los arrecifes y la meseta arrecifal. Sus sistemas de raíces estabilizan los sedimentos, y su elevada productividad primaria⁵ sostiene redes alimentarias basadas en detritos que resultan importantes para los organismos omnívoros del arrecife. Más cerca de la línea de costa, los manglares protegen áreas de crianza para individuos juveniles de especies de peces, crustáceos y moluscos del arrecife. También funcionan como un sistema de filtración de los escurrimientos de agua desde las cuencas tierra adentro, y protegen de la erosión a las líneas de costa (NOAA, 2001).



■ Arrecife hawaiano.
Fuente: Kaheo, the Hawaiian Environmental Alliance

2.7 Usos por el hombre

Los arrecifes de coral, además de ser uno de los mayores reservorios de biodiversidad en el mundo y una fuente recursos naturales que alimenta de materias primas a diversas industrias, entre las que destaca la farmacológica, son la base de la economía para cerca de 100 países alrededor del mundo. Los arrecifes de coral son recursos económicos de suma importancia, que proveen de bienes y servicios ambientales que tienen un valor de cientos de billones de dólares anuales para el turismo, pesca, protección costera, biodiversidad, sustento y mantenimiento de las comunidades costeras; además de que aportan importantes servicios ambientales, entre otros, protegen las líneas de costa.

⁵ Se entiende por productividad primaria a la generación de biomasa a través de la fotosíntesis.



Venta de pescado.
Fuente: CONABIO / Manuel
Grosselet

En los Estados Unidos de América, las decisiones legales dirigidas a recuperar los costos generados por los daños a áreas de arrecifes han valorado estas áreas en montos de hasta \$2,833.00 dólares americanos por metro cuadrado, basándose únicamente en los costos de restauración y las pérdidas en términos de divisas generadas por la actividad turística (NOAA, 2001). Las capturas de subsistencia y comerciales obtenidas en áreas de arrecifes incluyen peces, pulpos, langostas y cangrejos. También depende de los arrecifes una industria creciente que surte a los aficionados a los acuarios. Con base en el reconocimiento que los arrecifes de coral tienen para las comunidades humanas, tanto como fuentes de recursos naturales de diversa índole, como en términos del papel que juegan como “prestadores” de servicios ambientales, este manual ofrece, en el capítulo VII, una propuesta metodológica para asignar valores a los recursos arrecifales, apropiada a las condiciones mexicanas.

Mortalidad, enfermedades e impactos globales y locales

3

Los corales se pueden morir por una multitud de causas. Sus depredadores incluyen peces e invertebrados. En los arrecifes del Atlántico y del Caribe, los peces loro, damisela, algunos caracoles, y los gusanos de fuego son los principales depredadores de coral. En el Pacífico, este papel lo desempeñan los peces loro, blenias, damisela, mariposa, y globo; la estrella de mar “Corona de Espinas” (*Acanthaster planci*) presenta ocasionales crecimientos súbitos de población, que pueden ocasionar graves daños a los corales. La competencia por el espacio con algas, esponjas, y otros organismos bentónicos sedentarios puede resultar en una mortandad parcial o total. Se piensa que las pérdidas regionales de ramoneadores herbívoros significativos, como los erizos de mar del género *Diadema*, pueden tener importantes efectos sobre la competencia por el asentamiento y reclutamiento de corales.

Las enfermedades que afectan a los corales incluyen brotes relativamente recientes y devastadores de enfermedad de banda blanca (WBD, por sus siglas en inglés = “White band disease”) y de la enfermedad de banda negra (BBD, por sus siglas en inglés = “Black band disease”), y otros como la aspergilosis, “white pox”, “white plague”⁶, y banda amarilla, particularmente en Florida y el Caribe. La WBD afecta



■ Colonia de *Montastrea cavernosa* cubierta de sedimento.
Fuente: Parque Nacional Arrecifes de Cozumel / CONANP

⁶ La traducción literal de “white pox” y “white plague” sería sífilis blanca, y plaga blanca, respectivamente. Parecen no tener un equivalente en castellano que no resulte una referencia a enfermedades del ser humano, a la que se añade un código de ausencia de color.

principalmente a los corales del tipo de los *Acropora*, mientras que la BBD se ha reportado en seis especies de corales escleractíneos, y la "white plague" del tipo II se ha reportado en 17 especies de corales de los Cayos de Florida. Tanto la WBD como la BBD son generalmente esporádicas y poco frecuentes en arrecifes en un intervalo determinado, de forma tal que algunos corales se ven afectados, mientras que las colonias aledañas no lo son, pero las pérdidas acumulativas de tejidos, de hasta varios milímetros por día, pueden matar a muchas de las especies de coral de más lento crecimiento.

Mientras que el origen de la mayoría de las enfermedades de los corales se desconoce, se han logrado algunos avances. El componente principal de la BBD es *Phormidium corallyticum*, una cianobacteria fotosintética. En este caso, el tejido de los corales muere debido a la carencia de oxígeno y a la exposición al sulfuro de nitrógeno liberado por estas bacterias y microorganismos asociados. La BBD es más común en los arrecife sujetos a sedimentación, concentraciones elevadas de nutrientes, y temperaturas elevadas del agua de mar. La aspergilosis, una enfermedad que ocasiona la muerte de los tejidos y la desintegración del esqueleto axial de los abanicos de mar, es ocasionada por un organismo similar al hongo terrestre *Aspergillus sydowi*, que según algunos investigadores, puede surgir de esporas transportadas con el polvo enriquecido con hierro, que viaja con la corriente de chorro proveniente del África Sahariana.



■ Colonia de *Acropora palmata* fragmentada, posiblemente por efecto del huracán Wilma.
Fuente: CONABIO / Gilberto Acosta González

Si bien es cierto que la mayoría las causas de muerte de corales descritas en estos párrafos tienen su origen en fenómenos naturales, que se suceden en los océanos con mayor o menor frecuencia, y sin la intervención de actividades humanas, esto no da cuenta del hecho de que se han observado tendencias alarmantes hacia la degradación de los arrecifes desde los últimos años de la década de 1970 a 1980: la cobertura de corales vivos ha disminuido de manera significativa, y han acontecido cambios mayores en la composición de especies de corales. Dado que los impactos múltiples tienen efectos sinérgicos sobre los hábitats de los arrecifes de coral, es necesario comprender las líneas de base del estado de salud de los arrecifes al intentar evaluar

un daño determinado, como un encallamiento y las actividades asociadas a su atención.

Todas las situaciones, eventos o condiciones en la naturaleza que, bajo determinadas circunstancias, pueden causar daños al ecosistema se consideran amenazas. Sin embargo, el rápido deterioro que actualmente están sufriendo los arrecifes se debe sobre todo a impactos directos de actividades humanas. Existen además otros impactos indirectos de las actividades humanas relacionadas con el cambio climático global y cambios en el ciclo del nitrógeno, que tienen efectos profundos que amenazan la salud de los arrecifes. Esta serie de impactos y perturbaciones actúa en forma sinérgica sobre los arrecifes, alterando las condiciones que permiten su supervivencia.



■ *Siderastrea* sp. con parches blanqueados debido a la perturbación climática del medio.
Fuente: CONABIO / Humberto Bahena Basave

3.1 Pesca y otras perturbaciones en el ecosistema

La pesca excesiva ha causado una disminución de la biodiversidad y ha cambiado la estructura del ecosistema para los peces y las comunidades arrecifales. Ha sido relacionada con perturbaciones que afectan el ecosistema en su totalidad y que causan daños al arrecife, como enfermedades o contaminación. En Jamaica, una combinación de pesca excesiva y enfermedades hicieron desaparecer varias especies de peces y erizos herbívoros del hábitat arrecifal, lo que resultó en la proliferación de macroalgas y en una reducción de la cobertura de coral (cerca de 90%). Las prácticas de pesca destructivas dañan los corales y pueden llegar a ocasionar su muerte.

El esfuerzo pesquero excesivo es frecuente en las áreas con arrecifes de coral, aún en aquéllas que se consideraban no perturbadas, de acuerdo con la evaluación de arrecifes que se llevó a cabo en 1997 a nivel global (NOAA, 2001). Este es-



Barcos.

Fuente: CONABIO / Carlos Sánchez Pereyra

tudio encontró que había una ausencia generalizada de predadores de los niveles superiores de la pirámide alimentaria (que son frecuentemente las especies objetivo de la actividades pesqueras) en la mayoría de las áreas evaluadas. Muy pocos arrecifes se encontraban libres de impactos antropogénicos, aún cuando la mayoría de los arrecifes evaluados estaba lejos de centros de población o de fuentes conocidas de contaminación.

Quizá también relacionado con el esfuerzo pesquero excesivo, se encuentra un fenómeno al que se atribuyen impactos de consideración sobre algunos de los ecosistemas arrecifales más destacados de los océanos: las explosiones demográficas de estrellas de mar que se alimentan de coral. Todavía se desconoce la causa de los crecimientos explosivos de las poblaciones de la estrella de mar conocida como "crown of thorns"⁷ que ha causado daños severos en muchos arrecifes de la región del Indopacífico, incluyendo la Gran Barrera Australiana. Sin embargo, algunas teorías incluyen posibles conexiones con acarreo de nutrientes y la remoción de los depredadores de este organismo.

3.2 Sedimentación y aumento de nutrientes

El incremento en la sedimentación es un factor de tensión para el coral, ya que reduce la luz disponible en el ambiente para la fotosíntesis, cubre a los pólipos de coral y, en grandes cantidades, puede erosionar las estructuras, a la manera de una lija, o lima, o enterrar colonias enteras.

La sedimentación puede ser el resultado de malas prácticas en el uso de la tierra o desarrollo costero, tales como la tala inmoderada, inyección de arena o dragados inadecuados, o de procesos naturales como tormentas tropicales y huracanes. Los encallamientos de barcos, además de

⁷ N del R

"Crown of thorns", en castellano, es "Corona de espinas", nombre común de la estrella de mar de la especie *Acanthaster planci*.

destruir las estructuras de coral crean pedaceraía de coral y, por consiguiente, incrementan el material sedimentario en la zona.

La entrada constante de nutrientes al ecosistema arrecifal puede incrementar la presencia de plancton y el crecimiento de algas. Esto aumenta la turbidez y disminuye los niveles de luz, impidiendo la reproducción y crecimiento del coral. Las descargas de agua de uso agrícola también pueden reducir la biodiversidad en arrecifes impactados y favorecer el crecimiento de macroalgas. Cuando se combinan con una reducción en el forrajeo (que puede ser ocasionada por pesca o enfermedades), el crecimiento de las algas se vuelve dominante e invade áreas previamente ocupadas por corales.

Los corales varían considerablemente en cuanto a la tolerancia frente a niveles de nutrientes, salinidad y sedimentación. Los arrecifes cercanos a la costa, en la plataforma continental, se encuentran expuestos a constantes fluctuaciones de estos parámetros, y los corales pueden adaptarse a ellas, tolerando mejor los cambios que las especies oceánicas. Sin embargo, cuando la salinidad o sedimentación cambian más rápido o más frecuentemente que lo normal, aún las especies más tolerantes pueden no adaptarse.

3.3 Especies invasoras

La introducción de especies exóticas (peces, invertebrados, o algas) en los ecosistemas arrecifales aislados puede devastarlos. Las introducciones pueden ocurrir debido al ingreso de detritos marinos, encallamientos, agua de lastre o de sentinas, investigación científica, y malas prácticas de manejo. Los peces introducidos pueden alterar radicalmente las agrupaciones de gremios alimentarios en los arrecifes. Las áreas que cuentan con especies endémicas se encuentran



■ Esponjas semienterradas por el sedimento, con arena también en el interior.

Fuente: Parque Nacional Arrecifes de Cozumel / CONANP



■ Algunas colonias de *Acropora palmata* fragmentadas, posiblemente por efecto del huracán Wilma. Se puede observar a un ejemplar de *Haemulon flavolineatum*.

Fuente: CONABIO / Gilberto Acosta González



■ Encallamiento del buque Discovery.

Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

sujetas a severos riesgos debidos a la introducción de especies.

3.4 Perturbaciones físicas

Las tormentas tropicales y los “nortes” impactan periódicamente a los corales, sin ocasionarles un daño significativo. Los huracanes o ciclones pueden llegar a causar daños físicos (en distintos grados) a las estructuras arrecifales y los organismos asociados, especialmente los que se localizan en aguas someras. Además, las tormentas pueden causar otros daños como blanqueamiento, o impactos relacionados con la presencia de construcciones en la costa, anclaje de embarcaciones, o varamientos y encallamientos. Después de una tormenta, los ambientes arrecifales se recuperan con base en un reclutamiento natural. Aún cuando no haya ningún otro impacto asociado (blanqueamiento, enfermedades), la recuperación puede llevar décadas.

3.5 Impactos a los arrecifes

Los principales impactos de origen antropogénico susceptibles de ser evaluados que afectan los arrecifes de coral en México son:

■ Encallamientos y varamientos

■ Contaminación

■ Blanqueamiento

■ Desarrollo turístico

3.5.1 Encallamientos y varamientos

Los impactos por encallamiento o varamiento⁸ son, en muchos casos, los principales daños causados a los arrecifes por accidentes marítimos, junto con potenciales derrames o la pérdida de pequeñas cantidades de combustible. El encallamiento inicial y las actividades subsecuentes, emprendidas con el propósito de liberar la embarcación, pueden causar daños físicos a la estructura del arrecife, incrementando la erosión y la degradación arrecifal y afectando a los organismos marinos residentes. El daño directo por encallamiento se ve casi siempre aumentado posteriormente por las maniobras realizadas para movilizar el barco. Los encallamientos de todo tipo continúan siendo la principal fuente de daño físico a los arrecifes.

La destrucción de importantes zonas arrecifales por encallamientos de embarcaciones de diferente calado en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) del Caribe Mexicano es una realidad lamentable. Se pronostica un probable incremento en la frecuencia de accidentes, no solamente por encallamientos, sino por posibles colisiones entre embarcaciones o derrames de sustancias, debido al intenso tráfico marítimo en la región y a los largos períodos transcurridos desde la construcción de algunos de estos navíos.

Las fuerzas de acreción y destrucción (o erosivas) actúan continuamente sobre los corales. El daño en la estructura de un arrecife abre la puerta a fuerzas destructivas para ganar espacio y degradarlo. Una vez que esta estructura se fragmenta, por ejemplo debido a un encallamiento, por propelas de barcos, anclas o líneas de pesca, el material no consolidado bajo la superficie es expuesto. Si no se repara, el área fragmentada se extenderá en el tiempo, especialmente durante tormentas y huracanes. Además, la pedacería de

⁸ Se entiende por varamiento el impacto de una embarcación u otro artefacto sobre un arrecife de coral, costa rocosa, playa o bajo arenoso, sin que la embarcación sufra una fractura que comprometa su flotabilidad. Los encallamientos, por su parte, implican que se abre una vía de agua en el casco de la embarcación, debido al impacto.

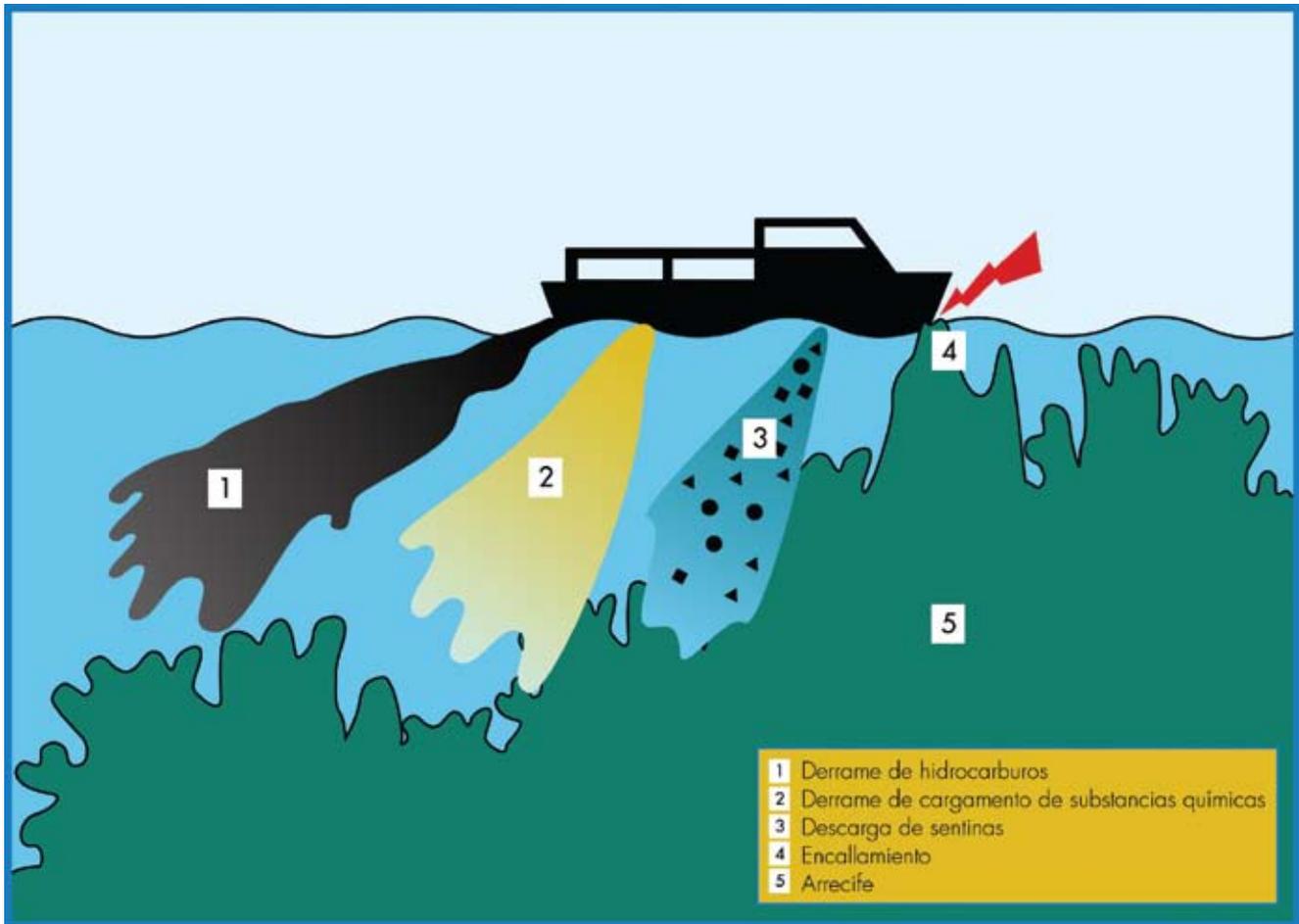


FIGURA 3

Esquema de un impacto por encallamiento y derrame de combustibles.

Modificado de NOAA, 2001

coral que se moviliza durante las tormentas puede causar daños indirectos.

3.5.2 Contaminación

La contaminación cotidiana generada por embarcaciones proviene principalmente de los motores de combustión, además de los desechos domésticos generados por la tripulación. Además, en caso de un encallamiento, un derrame de aceites y combustibles es una amenaza potencial.

El nivel de los impactos ocasionados por derrames varía dependiendo del tipo y cantidad de la sustancia, la composición de especies presente en el sitio, y la naturaleza de la exposición a la sustancia derramada. Al examinar los efectos del petróleo y su dispersión en manglares, pastos y arrecifes, se ha encontrado que de todos estos tipos de hábitat, los arrecifes de coral fueron los menos afectados por la exposición a la sustancia a corto plazo, y no presentaron efectos en el largo plazo, mientras que los manglares fueron los que sufrieron mayores impactos, aún después de diez años del derrame.

El petróleo puede matar a los corales, dependiendo de la especie y la magnitud de la exposición. Una mayor exposición a niveles bajos de aceites puede afectar a los corales de igual manera que una corta exposición de altas concentraciones. La toxicidad crónica afecta la reproducción del coral, así como su crecimiento, comportamiento y desarrollo, por lo que el momento del año en que ocurra el derrame es crítico, ya que la reproducción y las etapas tempranas son particularmente sensibles. De igual forma, la afectación puede variar dependiendo del tipo de coral, ya que los corales ramificados son más sensibles que los corales masivos o los de plato.

La forma de exposición de los corales a la sustancia derramada es un factor que influye considerablemente en la severidad del impacto. Hay tres modos primarios de exposición de los arrecifes a los derrames de aceites. En algunas áreas (especialmente en el Océano Indopacífico), el contacto directo es posible cuando el aceite superficial se deposita sobre los corales intermareales. Dado que una porción del aceite derramado puede entrar en la columna de agua, ya sea como fracción disuelta o suspendido en pequeñas porciones, esta forma potencial debe ser considerada en la mayoría de los casos.

La presencia de aceite en aguas subsuperficiales es una posibilidad en algunos derrames, particularmente si el producto derramado es pesado, con una densidad cercana o superior a la del agua de mar, y si las condiciones ambientales locales lo permiten, el aceite puede mezclarse con el sedimento, lo cual



■ Buzos removiendo basura después del huracán Wilma.
Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP



Embarcación Lilian. Embarcación hundida y consiguiente derrame.

Fuente: Parque Nacional Arrecifes de Cozumel / CONANP

incrementará la densidad. Todo esto debe ser considerado al evaluar el riesgo de un derrame.

Por otro lado, la contaminación de un arrecife puede tener orígenes terrestres, al ser ocasionada por actividades antropogénicas realizadas en tierra firme: es el caso de los desechos industriales, la agricultura, los sistemas sépticos, drenajes y aguas domésticas no tratadas. Sin importar la fuente de contaminación, el impacto sobre el arrecife es el mismo: una baja cobertura, y un incremento en la densidad de algas, con efectos en la diversidad y salud del ecosistema.

3.5.3 Blanqueamiento

El blanqueamiento se define como la pérdida de algas zooxantelas que viven en simbiosis en los pólipos de coral. El blanqueamiento ocurre naturalmente y se encuentra relacionado con varios factores de tensión⁹, incluyendo cambios en la intensidad o la duración de la luz, salinidad reducida y cambios en la temperatura. Los eventos recientes de "Blanqueamiento Masivo" son un fenómeno relativamente nuevo. Han acontecido cerca de ocho eventos de blanqueamiento alrededor del mundo desde 1979; el más severo hasta la fecha destruyó cerca de 16% de los arrecifes en 1998. Los daños más intensos se observaron en el Océano Índico, al Sureste de Asia y en el Océano Pacífico.

La principal causa del blanqueamiento de los corales es el aumento de la temperatura en la superficie del mar. En 1998, el programa de "Hot spots"¹⁰ de la NOAA predijo con cierta precisión el blanqueamiento, con base en las medidas de la TAS (Temperatura de las Aguas Superficiales. En inglés, Sea Surface Temperature, SST) de la mayoría de las regiones geográficas. El sitio NESDIS (National Environmental Satellite, Data and Information Service) de la NOAA en el Internet proporciona los reportes actuales de la TAS en todo el mundo (NOAA, 2009). Los corales pueden sobrevivir a blanqueamientos leves, ya que las zooxantelas tienen cierta capacidad de recupera-

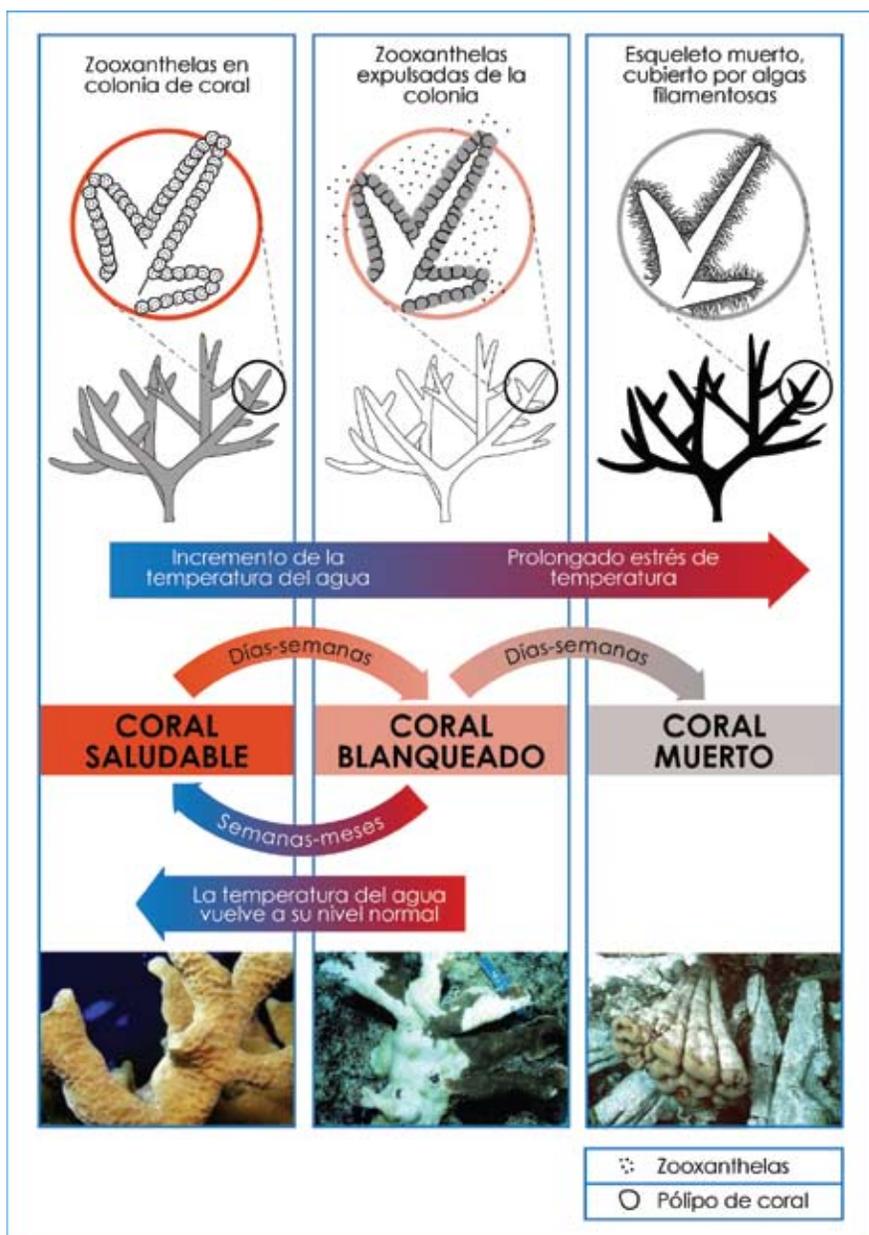
⁹ En la literatura suele encontrarse el anglicismo "estrés" para denotar esta idea de tensión generada por algún fenómeno sobre un organismo, o grupo de organismos. Para propósitos del presente trabajo, se ha preferido emplear el término de tensión, conceptualmente equivalente, y más apropiado para un texto en castellano.

¹⁰ El término "hot spots" no tiene equivalente en castellano. Textualmente significaría "puntos de calor", o "sitios calientes", pero se trata más bien de una expresión idiomática que denota los puntos críticos, en los que se debe prestar especial atención acerca de un tema determinado.

ción, pero un blanqueamiento severo puede matar a la mayoría de los corales afectados. La capacidad reproductiva de los corales que soportan el blanqueamiento sufre deterioros, y sus tasas de crecimiento disminuyen, así como su habilidad para calcificarse y auto repararse. Estos daños persisten aún



■ *Agaricia agaricites*. Colonia de coral escleractinio con blanqueamiento.
Fuente: CONABIO / Gilberto Acosta González



■ **FIGURA 4**
Representación esquemática del blanqueamiento de coral.
Modificado de Marshall y Schuttenberg, 2006



Afectación a los arrecifes por actividades turísticas no controladas.
Fuente: Gulko y Ramírez, 2008

cuando los corales recuperan sus zooxantelas después de un blanqueamiento.

El blanqueamiento suele ser resultado de un impacto indirecto de las actividades humanas. Los corales blanqueados se encuentran vivos, y si las condiciones de tensión cambian en un período relativamente corto, las zooxantelas pueden repoblar los tejidos y los corales pueden sobrevivir a un evento de blanqueamiento. Sin embargo, los corales que sobreviven pueden llegar ver reducidas sus tasas de crecimiento y capacidad reproductiva, y sufren también un incremento en la susceptibilidad a enfermedades. El blanqueamiento puede causar la muerte de los corales si las condiciones de tensión permanecen.

3.5.4 Desarrollo Turístico

El impacto del desarrollo turístico sobre los arrecifes incluye desde la construcción de hoteles hasta las plataformas y zonas marinas destinadas al uso de turistas. Las construcciones reflejan su impacto como daños físicos directos sobre el arrecife, así como a través de la contaminación con descargas de aguas servidas no tratadas.

Este mismo desarrollo promueve el aumento de la cantidad de turistas que visitan los arrecifes, turismo masivo que por lo general incluye buzos inexpertos. Esto ocasiona daños físicos en los arrecifes, causados por los aletazos y golpeteos de buzos y nadadores. La resuspensión de sedimentos y fraccionamiento de corales se encuentran entre los impactos más frecuentes. Sin embargo, la práctica del turismo sustentable es posible, siempre y cuando se planee el desarrollo costero y se capacite a quienes estarán en contacto con los arrecifes y los turistas.

3.6 Encallamientos en México

La Procuraduría de Protección al Ambiente (PROFEPA) ha documentado 41 contingencias de daño arrecifal en México entre los años de 1997 y 2008 (PROFEPA, 2009). Los daños ocasionados por estos accidentes en la cobertura de los arrecifes oscilan entre 1 y 5,000 m², con una pérdida significativa de 28,170. m² (Figura 5, página siguiente). Esta afectación representa una pérdida de biodiversidad y servicios ambientales de incalculable valor. Las principales causas registradas han sido las condiciones meteorológicas adversas, imprecisiones en las cartas de navegación, falta de señalización, y negligencia o impericia de los tripulantes, así como accidentes provocados por fallas mecánicas en las embarcaciones. Todos los datos que se presentan en este apartado han sido estimados a partir de la información proporcionada por la PROFEPA.

El estado de Quintana Roo presenta la mayor incidencia de accidentes en arrecifes de coral: de los 41 accidentes registrados en México, 24 han sucedido en ese estado, que es seguido por el estado de Veracruz, donde se han registrado 8 accidentes. Los arrecifes de Quintana Roo han sufrido pérdidas superiores a los 12,947.07 m² (no se cuenta con datos de superficie para dos de los accidentes reportados), o 45.95% de los daños totales; en Veracruz los accidentes en arrecifes han alcanzado una superficie de más de 6,829.57 m², con un evento para el que no se reportaron datos de superficie (24.24% de la superficie total dañada), en Yucatán se han registrado cinco eventos, que han involucrado 7060.00 m² de arrecifes (25.06% de la superficie total dañada), en Baja California Sur se han suscitado dos accidentes, que han dañado 605.00 m² de áreas arrecifales (2.15% del total), y se ha reportado un encallamiento en el estado de Campeche, que afectó 333 m² de arrecifes (1.18% de los daños reportados en el País), y otro en Nayarit, que ocasionó daños a 400 m² de arrecife (1.42% del total nacional) (Figura 6).

La forma de evaluación de los daños se basa principalmente en la cuantificación de la cobertura de los grupos más cons-



■ Coral fracturado a causa del encallamiento del Crucero Leward.
Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

No. caso	Embarcación	Fecha	Estado	Daño*
1	"REEF EXPRESS III"	6/9/97	Quintana Roo.	Daño en una franja de 14 m. de largo por 4 m. de ancho. Acropora palmata, Porites astreoides, Agaricia agaricites y Millepora complanata.
2	SCUBA III "MR. TOM"	2/10/97	Quintana Roo.	Daño en una franja de 28 m. de largo por aproximadamente 3 m. de ancho y en la parte más ancha hasta 11 m. Acropora palmata, Montastrea annularis, Porites astreoides, Millepora complanata, Millepora alcicornis, así como una colonia de Palitoa sp.
3	"PROFITIS ELÍAS"	12/12/97	Veracruz.	2,400 m ² Montastrea sp., Diploria sp., Porites porites, Acropora sp. y Millepora sp., roca calcárea, coral muerto y petrificado.
4	"LEEWARD"	17/12/1997	Quintana Roo.	465.5 m ² Acropora palmata, Acropora cervicornis, Porites porites, Millepora complanata, Porites astreoides, Agaricia agaricites.
5	"LADY JENN"	31/12/1997	Quintana Roo.	20.00 m ² (20 m x 1.20 m) Dichocoenia stokesii, Meandrina meandritis, Manicina areolata, Porites porites Plexaura sp., Diploria sp., Montastrea annularis y Agaricia agaricites.
6	"MISTER BOSS"	Daño por maniobras de rescate de embarcación hundida del 31/12/1997 al 08/01/1998.	Quintana Roo.	2,050 m ² Corales escleractinios, gorgonáceos y esponjas principalmente.
7	"TURQUOISE"	Arrastre de ancla el 1º/01/1998	Quintana Roo.	32.9 m ² Montastrea annularis, Agaricia sp., Leptoseris cucullata y Porites porites.
8	"EMILY CHERAMIE"	7/4/98	Quintana Roo.	215.8 m ² Millepora complanata, Siderastrea radians, Gorgonia flabellum, así como algas.
9	"MAYAN PRINCESS"	11/10/98	Quintana Roo.	59.09 m ² Porites astreoides, Millepora complanata, roca calcárea y algunos erizos
10	"AURIGA"	Daño con cable de acero el 23/04/1999	Quintana Roo.	40.0 m ² Diploria strigosa, Diploria cribosa, Agaricia tenuifolia, Plexaura homomalla y esponjas.
11	No identificado	4/5/99	Quintana Roo.	1,075 m ²

FIGURA 5
Accidentes de embarcaciones en México.
Fuente: CONANP, 2008

No. caso	Embarcación	Fecha	Estado	Daño*
12	"INTUITION II"	12/2/00	Quintana Roo.	Área afectada de manera directa 12 m ² y el área con daño poco significativo es de 418 m ² . Pequeñas colonias de coral de dedo <i>Porites porites</i> , algunas colonias de coral medallón <i>Manicina areolata</i> y esponjas.
13	"CARRUSEL NASSAU"	13-02-00 Derame de combustible	Quintana Roo.	Desconocido
14	"B/M KOMMANDOR JACK"	9/5/00	Quintana Roo.	100 m ² <i>Diploria sp.</i> , <i>Porites astreoides</i> , <i>Millepora spp.</i> , corales blandos y esponjas.
15	"B/M HALLEY"	17-02-01	Yucatán.	555 m ² <i>Acropora palmata</i> , <i>Acropora cervicornis</i> y corales <i>meandroides</i> .
16	"B/M RUBÍN"	28-02-01	Veracruz.	4,150 m ² <i>Acropora palmata</i> , <i>Diploria strigosa</i> , <i>Montastrea annularis</i> y <i>Montastrea cavernosa</i> .
17	"EMBARCACIÓN MARISLA II"	3/6/01	Baja California Sur	5 m ² Coral cerebro. <i>Diploria strigosa</i>
18	"B/T LÁZARO CÁRDENAS II"	22-09-01	Baja California Sur.	600 m ² <i>Pocillopora elegans</i> .
19	"EMBARCACIÓN REMOLCADOR TATICH"	8/10/01	Quintana Roo.	50 m. de longitud aproximada con ancho variable, siendo observado 2 superficies de 20 m. de longitud por 8 m. de ancho. <i>Diploria strigosa</i> y <i>Acropora palmata</i> .
20	"EMBARCACIÓN REMOLCADOR MISS CHLOE Y/O BARCAZA MAUKANA HONOLULU"	11-03-02. fecha de la denuncia	Quintana Roo.	300 m ² <i>Acropora palmata</i> , <i>Diploria sp.</i> , <i>Montastrea cavernosa</i> , <i>M. annularis</i> , <i>Porites porites</i> , <i>Agaricia agaricites</i> , <i>Porites astreoides</i> , <i>Millepora complanata</i> y <i>Gorgonia flabellum</i> .
21	"BUQUE CRUCERO M-S HOLIDAY"	26-11-02	Quintana Roo	Desconocido
22	"PAULA KAY"	27-03-03	Veracruz.	176.99 m ² <i>Diploria clavosa</i> , <i>Millepora alcicornis</i> , <i>Porites porites</i> , <i>Porites furcata</i> , <i>Porites astreoides</i> , <i>Siderastrea siderea</i> , <i>Madracis decactis</i> y <i>Montastrea annularis</i> .
23	BARCO CAMARONERO "EDWARD"	8/5/03	Campeche.	333 m ² No fue posible determinar las especies afectadas.
24	"PAULA KAY"	4/6/03	Veracruz.	12.75 m ² <i>Acropora palmata</i> , <i>Montastrea faveolata</i> , <i>Montastrea annularis</i> .
25	"TEXAS LADY"	5/6/03	Veracruz.	1 m ² <i>Colpophyllia natans</i> , <i>Siderastrea radians</i> , esponjas y anémonas

No. caso	Embarcación	Fecha	Estado	Daño*
26	"KRIOLA"	21-06-03	Veracruz.	1.05 m ² <i>Siderastrea radians</i> , <i>Montastrea cavemosa</i> y <i>Colpophyllia natans</i> .
27	"TEMPEST FUGIT"	3/2/04	Quintana Roo.	15.1 m ² <i>Diploria strigosa</i> , <i>Porites</i> <i>astreoides</i> , <i>Gorgonia</i> <i>flabellum</i> , <i>Millepora</i> <i>complanata</i> , <i>Acropora</i> <i>palmata</i> .
28	"MAURICE EWING"	14-02-05	Yucatán	30 m ² de los cuales 10 m ² corresponden a zona de agregados coralinos.
29	Embarcación tipo crucero "M/S INSPIRATION"	17-03-05	Quintana Roo.	Áreas de arrecife afectadas: Área A, 1380 m ² Área B, 700 m ² Corales pétreos, corales blandos y esponjas, así como la <i>Acropora</i> <i>cervicornis</i> .
30	Yate "LUCKY DAYS II"	5 al 6-08- 2005	Nayarit.	400 m ² de los cuales 42 m ² de área con coral resultaron severamente dañados. <i>Porites lobata</i> , <i>Pocillopora verrucosa</i> .
31	Embarcación "COZUMEL II"	21-10-05	Quintana Roo.	2,462.2 m ² <i>Diploria strigosa</i> , <i>D.</i> <i>labyrinthiformis</i> , <i>Montastrea annularis</i> , <i>M.</i> <i>cavemosa</i> , <i>Agaricia</i> <i>agaricites</i> , <i>Siderastrea</i> <i>radians</i> , <i>Meandrina</i> <i>meandrites</i> , entre otras, así como las especies en riesgo <i>Acropora</i> <i>cervicornis</i> y <i>Acropora</i> <i>palmata</i> .
32	Embarcación tipo velero "PUCH"	31-12-05	Quintana Roo.	Segmento lineal de 181 metros, afectando las especies de <i>Agaricia</i> <i>agaricites</i> , <i>Porites</i> <i>porites</i> , <i>P. astreoides</i> , <i>Montastrea annularis</i> , <i>M.</i> <i>cavemosa</i> , <i>Diploria</i> <i>strigosa</i> , <i>Siderastrea</i> <i>siderea</i> , <i>Gorgonia</i> <i>ventalina</i> , <i>G. flabellum</i> , <i>Plexaura flexuosa</i> , <i>Pseudoplexaura parasa</i> , <i>Muricea muricata</i> , <i>Plexaurella nutans</i> , <i>Millepora complanata</i> , entre otras, así como las especies en riesgo <i>Acropora palmata</i> y <i>Plexaura homomalla</i> .
33	Barco Catamarán "TÓRTOLA FAST FERRY"	13-10-06	Veracruz.	87.78 m ² Corales afectados de las especies de <i>Diploria</i> <i>clivosa</i> y <i>Millepora</i> <i>albicornis</i> .
34	Embarcación pesquera "PEÑAMAR 5"	06-12-06.	Veracruz.	Desconocido
35	Embarcación tipo catamarán "SEA CAT I"	16-01-06	Yucatán.	5,000 m ² de arrecife coralino, de los cuales se estima daños graves sobre un área de 2,625 m ² donde existen organismos que pertenecen a la especie <i>Acropora palmata</i> .

No. caso	Embarcación	Fecha	Estado	Daño*
36	Embarcación tipo yate "DIXIE GIG"	9/4/07	Quintana Roo.	80 m ² (114 m ²) afectando las especies: <i>Acropora palmata</i> , <i>Diploria</i> sp., <i>Montastrea Anularis</i> , <i>Porites astreoides</i> , <i>Siderastrea siderea</i> , <i>Agaricia tenuifolia</i> y <i>Millepora complanata</i>
37	Embarcaciones "DISCOVERY"; DRAGA "LA CONCHA", BARCAZA-GRÚA Y DOS EMBARCACIONES EMPUJADORES	05-06-07	Quintana Roo.	1,200 m ² Corales afectados de las especies de <i>Acropora palmata</i> , <i>Diploria strigosa</i> , <i>Gorgonia ventalina</i> , <i>Porites astreoides</i> y <i>Millepora complanata</i> .
38	Embarcación pesquera "EL PADRINO"	17-06-07	Yucatán.	1,405 m ² (preliminar). Corales afectados de las especies de <i>Diploria labyrinthiformis</i> , <i>Diploria strigosa</i> , <i>Millepora complanata</i> , <i>Porites astreoides</i> .
39	Embarcación "CEMBAY"	6/4/08	Quintana Roo.	1,554.48 m ² Comunidad arrecifal afectada. <i>Diploria clavosa</i> , <i>Diploria strigosa</i> , <i>Montastrea annularis</i> , <i>M. cavemosa</i> , <i>Siderastrea siderea</i> , <i>Millepora complanata</i> , <i>M. alicornis</i> , <i>Porites astreoides</i> , <i>Pseudopterogorgia americana</i> , <i>Gorgonia flabellum</i> , <i>G. ventalina</i> , <i>Pseudoplexaura porosa</i> , <i>Plexaurella nutans</i> , <i>Eunicea mammosa</i> , entre otras especies, así como <i>Plexaura homomalla</i> , <i>Plexaurella dichotoma</i> y una especie de tortugas marinas <i>Eretmochelys imbricata</i> .
40	Embarcación "SEA STAR"	7/6/08	Quintana Roo.	280 m ² En 15 áreas específicas, dispersas en un polígono de 280 m ² . Se afectó tres especies de coral y una matriz calcárea. Las especies dañadas: <i>Acropora palmata</i> con 6.21 m ² , <i>Millepora complanata</i> con 8.80 m ² , <i>Porites astreoides</i> con 0.26 m ² y matriz calcárea con 24.21 m ² .
41	Embarcación pesquera "JOSÉ GUILLERMO"	22-06-08	Yucatán.	70 m ² Identificándose las especies dañadas de <i>Millepora complanata</i> , <i>Eusmilia fastigiata</i> y <i>Agaricia tenuifolia</i> .

Géneros de grupos arrecifales dañados por los accidentes (%)

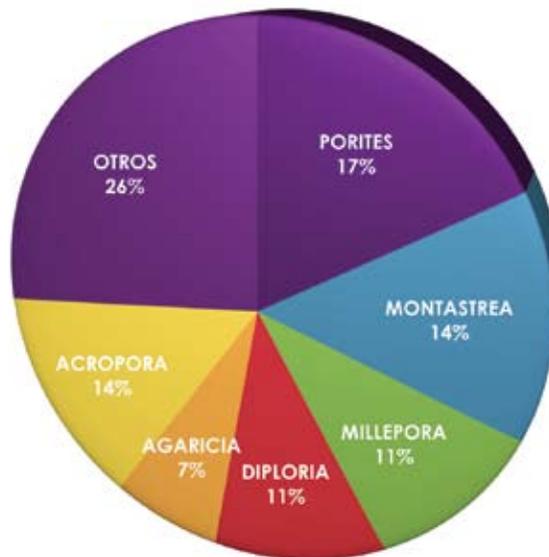


FIGURA 6
Géneros de grupos arrecifales dañados por los accidentes.
Fuente: Miguel Ángel García, 2007

NÚMERO DE ENCALLAMIENTOS POR ESTADO

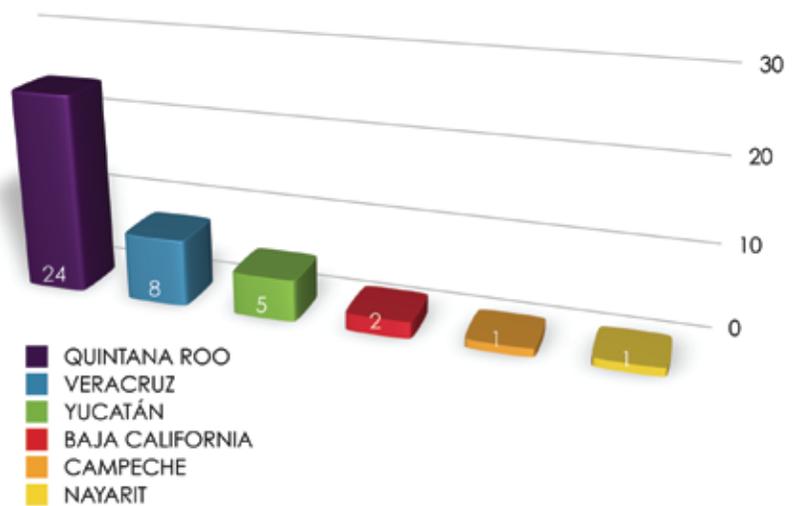


FIGURA 7
Número de encallamientos por estado.
Fuente: CONANP, 2008

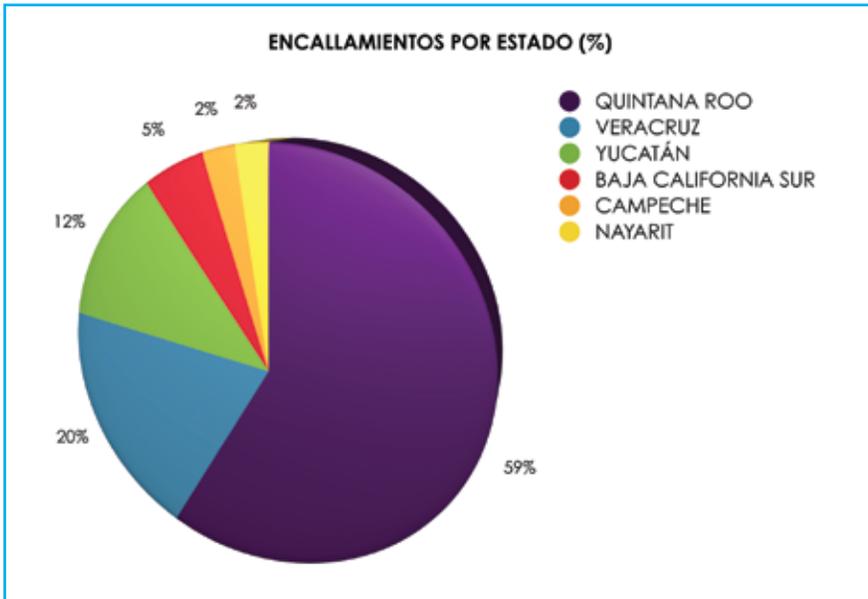


FIGURA 8
 Porcentaje de encallamientos por estado.
 Fuente: CONANP, 2008

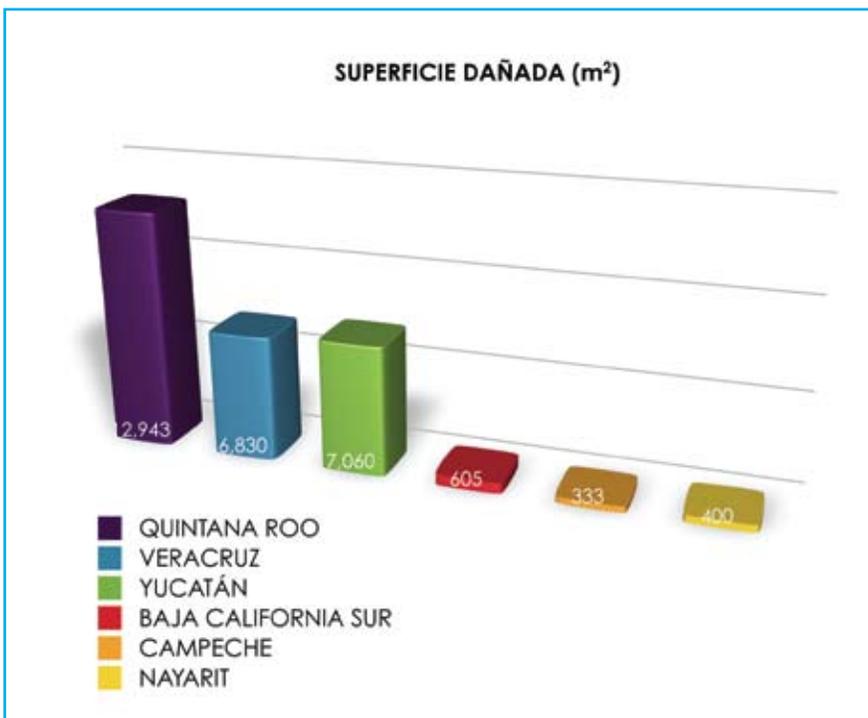
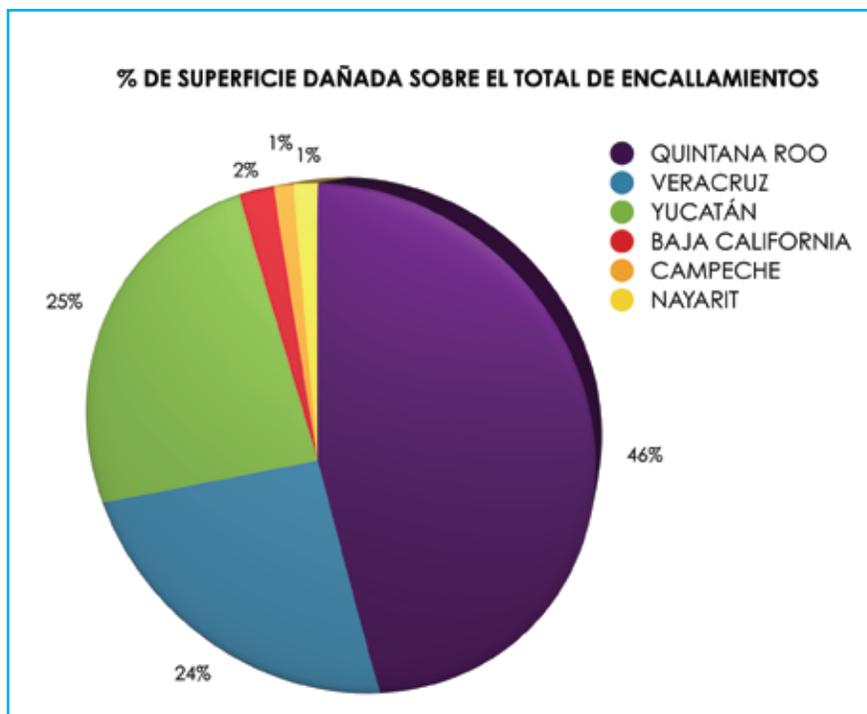


FIGURA 9
 Superficie dañada por estado.
 Fuente: CONANP, 2008

**FIGURA 10**

Porcentaje de superficie dañada sobre el total de encallamientos.

Fuente: Miguel Ángel García, 2007

picuos del arrecife, como los corales duros y corales blandos. Entre los géneros que han sido dañados más frecuentemente en estos accidentes se encuentran: *Porites*, *Montastraea*, *Millepora*, *Acropora* (registrado en la NOM059) y *Agaricia* (Figura 7).

3.7 Impactos Acumulativos

Los impactos repetidos en una secuencia rápida, o demasiados impactos en un periodo corto de tiempo, pueden reducir la habilidad del ecosistema para recuperarse. Los impactos severos pueden determinar cambios en la dominancia de especies, lo que puede causar cambios en el ecosistema a largo plazo. Un estudio de caso en Belice (NOAA, 2001) mostró que la combinación de impactos por blanqueamiento, seguidos de los daños físicos ocasionados por el huracán Mitch, redujo sustancialmente el reclutamiento coralino, en comparación con áreas que sufrieron solamente el daño causado por el huracán.

Los arrecifes que se encuentran en recuperación después de eventos de blanqueamiento pueden ser más susceptibles a enfermedades y más sensibles a impactos tóxicos por aceites y otros contaminantes. La evidencia actual muestra que casi todos los arrecifes alrededor del mundo se encuentran en situación de tensión. Una tensión adicional, como un derrame y las operaciones de respuesta asociadas, puede llegar a tener un mayor impacto que si el derrame ocurriera en un sistema sano y más prístino.

Respuesta de la autoridad ante los impactos a arrecifes

4

La existencia de un plan bien coordinado y ejecutado a partir del momento en que acontece un daño a un arrecife de coral es fundamental para el éxito de la respuesta al incidente y los esfuerzos de restauración. Un plan consta de tres componentes principales:

- 1) el **período de Respuesta Inicial**, inmediatamente posterior a la notificación del incidente;
- 2) el **Período de Respuesta**, durante el cual se identifica a la Parte Responsable, y el Responsable del área y el representante de la Parte Responsable llevan a cabo las diferentes actividades y gestiones que corresponden a cada cual, se elabora un Plan Primario de Restauración, se buscan y obtienen autorizaciones y ejecutores para conducir las actividades de restauración, y se llevan a cabo las primeras acciones de restauración; y
- 3) el **Período Post-Respuesta**, que es una fase que consiste principalmente en la realización de actividades de monitoreo, mitigación compensatoria, y determinación del monto de la sanción, y acontece después de que se han llevado a cabo las actividades primarias de restauración. Los tres componentes son igualmente importantes.



■ Encallamiento de la embarcación Peñamar 5.
Fuente: Parque Nacional Arrecifes de Cozumel / CONANP

En estos apartados se da cuenta de las actividades de respuesta que emprenden las autoridades, incluso hasta la identificación de la parte responsable. En una sección posterior se detallan las acciones que debe emprender el causante del impacto, bajo la supervisión y con la autorización de las autoridades competentes.

4.1 Respuesta Inicial

El proceso de respuesta inicial comienza mucho antes de que haya ocurrido un incidente o daño a un arrecife de coral, a través de la educación a la comunidad. Los daños a los arrecifes de coral deben ser reportados por cualquier individuo que tenga alguna información acerca de un incidente que resulte en daños a un arrecife. Esto incluye a los funcionarios que tienen una responsabilidad expresa en el cuidado y manejo del arrecife, como a patrones de embarcaciones, buzos, pescadores y otros observadores, así como todos los servidores públicos federales, estatales y municipales.

Cuando se tiene noticia de que ha ocurrido un impacto en un arrecife, ya sea porque se ha participado en él directamente, o porque se ha atestiguado el acontecimiento, o bien porque algún testigo lo ha notificado sin aportar mayor información acerca de sus dimensiones, ubicación o características, consiste necesariamente en reportar formalmente el incidente. Informar acerca de los daños a un arrecife de coral entraña:

- 1) conocer cuándo reportar un incidente,
- 2) saber a quién se debe informar del incidente, y
- 3) conocer qué tipo de información se requerirá para contribuir a las actividades de evaluación, restauración, inspección, vigilancia y sanción que se deben desarrollar tras un incidente de este tipo.

El informe de la escena es la única oportunidad para que el superior inmediato obtenga los aspectos iniciales de la escena del impacto antes de continuar con la investigación. Debe utilizarse un “Formato de Informe Inicial del Incidente en el Arrecife” para registrar la información inicial para los investigadores que conducirán la investigación completa de la escena del impacto. Con frecuencia, las repuestas coordinadas de investigación se llevan días o semanas de preparación, lo que hace que el informe inicial resulte fundamental a la luz de los constantes cambios en la naturaleza de las escenas de impactos marinos.

El primer representante de las instancias involucradas en el cuidado de los ecosistemas arrecifales que llegue a la presunta escena de un impacto, debe intentar reunir los elementos necesarios para asegurar la escena del impacto. Además de garantizar la seguridad inmediata de todas las personas que se encuentren en el área, y de minimizar los daños adicionales que se puedan ocasionar a recursos protegidos o escasos. Es fundamental preservar la escena del impacto, manteniendo al mínimo la contaminación y la perturbación de las evidencias físicas. La respuesta inicial a un incidente debe ser expedita y metódica. Al llegar al sitio, el representante de las instancias involucradas en el cuidado de los ecosistemas arrecifales (RIICEA) debe evaluar la escena como si se tratase de la escena de un delito ambiental, hasta la llegada del equipo de investigadores de la escena del delito (IEC) de los arrecifes.

El incidente se debe reportar ante las diversas instancias federales involucradas en la protección y manejo de los arrecifes de coral, la seguridad en la navegación, y la inspección y vigilancia en materia ambiental. Además, en virtud de que los daños – deliberados o resultantes de la negligencia – a los arrecifes protegidos, o a las especies de corales incluidas en la NOM 059, se consideran como delitos ambientales, se debe también informar a la autoridad judicial. Así, los informes se deben presentar simultáneamente ante la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (cuando el incidente ocurra en un arrecife incluido dentro de la poligonal de un parque o reserva), la Capitanía de Puerto correspondiente, la Marina Armada de México, la Procuraduría Federal de



■ Daño con ancla sobre arrecife coralino.
Fuente: Gulko y Ramírez, 2008

Protección al Ambiente, y la Procuraduría General de Justicia, esto último en el entendido de que todo incidente de este tipo puede significar la comisión de un delito, de modo que, si no se reporta a la autoridad judicial, se puede estar incurriendo en el delito de encubrimiento.

4.1.1 Informe del incidente

Los detalles son muy importantes cuando se informa de un incidente; sin embargo, la carencia de detalles no debe ser un impedimento para reportarlo. A continuación se presenta una lista de tipos de información que puede resultar extremadamente útil para las autoridades cuando se reporta un incidente¹¹:

- ¿Qué tipo de incidente se reporta? El varamiento o encallamiento de una embarcación, daños ocasionados por un ancla, la presencia de daños cuya causa inmediata se ignora, etcétera.
- Se deben establecer los límites de la(s) escena(s) del impacto, comenzando por el punto focal y dirigiéndose hacia fuera, para incluir:
 - El sitio donde ocurrió el evento específico del impacto.
 - Los puntos y vías potenciales de entrada y salida de sospechosos, testigos y elementos del impacto.
 - Los sitios de donde se pueda haber retirado evidencia o recursos.
 - La ubicación del incidente y el tamaño aproximado del área afectada. Aunque las coordenadas GPS son las más útiles y fáciles de manejar, una descripción física del área también puede resultar suficiente, siempre que la descripción sea lo suficientemen-

¹¹ En el apartado de anexos se incluye un formato para la presentación de este tipo de informes, como sugerencia para que se adopte por todas las dependencias involucradas en la atención a casos de impactos en arrecifes de coral.

te precisa como para conducir a las autoridades al sitio del incidente.

- Si el evento involucra a una embarcación, se deben reportar datos específicos, tales como el nombre de la embarcación, número de matrícula, tipo de embarcación, marca, modelo, color, dimensiones, y cualquier otra característica que pueda contribuir a su identificación.
- Otros impactos ambientales relacionados con los daños al arrecife, como derrames de petróleo u otras sustancias.
- Si el evento involucra una embarcación, y ésta se encuentra aún en la escena, ¿su operador está haciendo esfuerzos por liberarla, emprender alguna otra acción correctiva, o abandonar la escena?
- Si la persona que reporta el incidente ha dado parte a alguna otra dependencia, o si se encuentra ya en la escena personal de alguna dependencia.
- Información de contacto de la persona que reporta el incidente (útil, pero no indispensable).
- Documentación visual del incidente (fotografías o video).

Se debe estar al tanto de la presencia de evidencias traza o de impresión mientras se evalúa la escena inicial del impacto. Se debe entregar el control de la escena del impacto y proporcionar un informe detallado al investigador responsable; esto contribuirá a controlar la escena del delito y ayudará a establecer responsabilidades adicionales de investigación.

4.1.2 Primeras acciones

Una respuesta inicial bien desarrollada inicia – una vez que se ha garantizado plenamente la seguridad de las perso-



■ Derrame de combustible.
Fuente: NOAA, 2000



Encallamiento de la embarcación Peñamar 5.

Fuente: Parque Nacional Arrecifes de Cozumel / CONANP

nas involucradas en el incidente, que es desde luego en todos los casos la prioridad incuestionable – con el salvamento de los organismos que se encuentran vivos, pero que han sido desprendidos o volteados, y otras actividades que pueden facilitar la recuperación natural del sitio (retiro de escombros o pedacería, reparación de la estructura arrecifal). Estas medidas se deben considerar como de urgente aplicación, y se deben llevar a cabo incluso antes de que acudan al sitio las autoridades responsables de la inspección, vigilancia y sanción. Parte de la respuesta también implica la localización, identificación y evaluación del área dañada, la colecta de las evidencias o indicios que se puedan alterar con el tiempo, o evidencias de otro tipo, la asignación de fianzas a los dueños de la embarcación o a las compañías de seguros que los cubren, y la aplicación de la normatividad.

En primer lugar, el RIICEA debe acercarse e ingresar con prontitud, pero con cautela, a la escena del potencial impacto al arrecife, permaneciendo alerta ante cualquier persona, embarcación, evento, evidencia potencial, y condiciones ambientales. En este momento resulta esencial que el RIICEA que llegue inicialmente a la escena sea un observador acucioso, y recabe la mayor cantidad de información posible desde el principio. Esto incluye registro gráfico (fotografía o video¹²) desde antes de llegar al sitio, en el sitio, dentro y fuera del agua y de la embarcación, etcétera, con notas relacionadas.

La seguridad y el bienestar físico de todas las personas que se encuentren en la escena del impacto y sus alrededores debe ser la primera prioridad del RIICEA que responda a la notificación del evento. Esto implica en primer lugar que el RIICEA debe identificar y controlar cualquier situación o persona peligrosa, tan adecuadamente como le sea posible. Esto se logra asegurándose de que no existe una amenaza inmediata para otras personas que respondan al evento, lo que implica examinar el área en busca de rasgos visibles, sonidos u olores que puedan representar amenazas para el personal (i. e., materiales peligrosos como gasolina, o gas natural). Si la situación involucra la presencia de individuos peligrosos, se debe establecer contacto

¹² En la terminología usualmente utilizada por los Agentes del Ministerio Público, a este tipo de información se le denomina "filmaje".

con el personal de la dependencia apropiada antes de ingresar a la escena.

También resulta conveniente acercarse a la escena de tal manera que se reduzcan los riesgos de daño para el RIICEA, mientras se incrementa la seguridad de las víctimas, testigos u otras personas que se encuentren en el área; examinar el área en busca de personas peligrosas y controlar la situación; y notificar a sus supervisores y solicitar asistencia y respaldo.

Una vez que las situaciones o personas peligrosas hayan sido controladas, la siguiente responsabilidad del RIICEA que llega primero a la escena consiste en asegurar que se proporcione asistencia médica a los heridos (cuando los hay), a la vez que minimiza la contaminación de la escena. Se debe señalar al personal médico cuál es la evidencia física potencial, instruirlo para que minimice su contacto con esa evidencia, y documentar los movimientos de personas o artículos que lleve a cabo el personal médico. Finalmente, debe documentar todas las declaraciones o comentarios que hagan las víctimas, sospechosos o testigos que se encuentren en el área.

El RIICEA que llegue primero a la escena deberá identificar a las personas y embarcaciones que se encuentren en la escena del impacto o delito ambiental, y controlar su movimiento. Si no es un oficial autorizado para llevar a cabo acciones de inspección, vigilancia, detención o sanción, deberá entonces documentar sus acciones de la mejor manera que su entrenamiento le permita hacerlo, y solicitar la presencia de personal de inspección y vigilancia en la escena, lo antes posible. Hasta donde lo permita su entrenamiento y jurisdicción, debe excluir del sitio a todo el personal que no se encuentre autorizado para estar en la escena, o cuya presencia no resulte esencial (Gulko, et al, 2007).



Área dañada por el encallamiento del carguero Cembay en el arrecife Sábalo.
Fuente: PROFEPA

4.1.3 Coordinación entre dependencias

La coordinación entre las dependencias involucradas es un elemento esencial si se pretende lograr una respuesta oportuna y eficiente ante situaciones de emergencia, como los incidentes que involucran daños a arrecifes de coral. Un buen número de dependencias del gobierno federal, estatales y municipales, cuentan actualmente con protocolos para dar respuesta a incidentes de carácter ambiental. Estas dependencias tienen la responsabilidad, la habilidad y los recursos (aunque estos son, en efecto, casi siempre limitados e insuficientes) para responder ante ciertos incidentes ambientales y requerirán por tanto, ser notificadas de los reportes de incidentes que involucren daños a arrecifes de coral. Notificar con tiempo a todas las dependencias hará que resulte posible establecer una coordinación adecuada entre ellas, y facilitará la respuesta institucional efectiva ante los incidentes en arrecifes.

Responder a incidentes de daños a arrecifes de coral implica diversos factores. Dependiendo de la causa del daño y la disponibilidad de recursos, la respuesta puede incluir la identificación de la Parte Responsable, colecta de evidencias, obtención de los permisos necesarios para conducir actividades de restauración, selección de contratistas que lleven a cabo parte de las acciones de respuesta, y formulación e instrumentación de un programa de restauración.

Estos factores enfrentan varios obstáculos, que habrá que encarar. Entre los mayores figuran los que tienen que ver con la inspección, vigilancia, detención, enjuiciamiento y sanción, la emisión de autorizaciones, el financiamiento de las actividades de restauración, y el establecimiento de un proceso de certificación de contratistas que asegure que éstos se encuentren calificados para conducir actividades de restauración (incluyendo las operaciones de salvataje de embarcaciones).

Desde luego, los diferentes actores institucionales con algún papel jurisdiccional en ecosistemas arrecifales tienen distintas responsabilidades. Para propósitos de este manual, se entien-

de por “actores institucionales” a todas las dependencias locales, federales, o estatales que tengan alguna jurisdicción sobre un área impactada, o sobre los recursos deteriorados. Un actor institucional desempeña un papel vital en la respuesta a incidentes de daños a arrecifes de coral, y se encuentra en la mejor de las posiciones para determinar las causas y

■ Recomendaciones

Se recomienda el establecimiento de una línea telefónica de emergencia, que dé servicio las 24 horas, 7 días a la semana, para recibir reportes de daños a arrecifes, o bien la coordinación con otras líneas de emergencia, para facilitar la respuesta oportuna y eficiente de las dependencias responsables de atender el incidente. En el momento de recibir la llamada, la persona a cargo de la línea de emergencia debe tomar nota de la información básica relacionada con el incidente. Posteriormente, se debe notificar del incidente a los funcionarios responsables de responder a él y, si resulta necesario, se debe enviar personal a la escena. Si quien reporta el incidente es la persona que lo ocasionó, se le debe notificar acerca de su responsabilidad en la contratación de un servicio de respuesta y saneamiento. Entonces, se le debe proporcionar una lista de potenciales contratistas, para su elección. Si la persona que reporta el incidente no fue quién lo causó, o si la persona responsable se niega a responder por el incidente, la autoridad deberá seleccionar a un contratista de una lista de prestadores autorizados para otorgar este tipo de servicio.

Idealmente, la línea de emergencia debería encontrarse directamente conectada a alguno de los servicios estatales de emergencia (p. ej., protección civil), y sus operadores deberían estar capacitados para recibir este tipo de llamadas. Esto evitaría la necesidad de adquirir, desarrollar y mantener la infraestructura, y de sostener una plantilla de personal en una línea de emergencia exclusiva para la atención a daños a arrecifes. Basta con que los empleados de la línea de emergencia cuenten con un cuestionario adecuado para solicitar información a las personas que reporten incidentes de daños a arrecifes de coral. El empleado en cuestión entonces contactaría al personal de la dependencia responsable de la respuesta al incidente, o al grupo de respuesta rápida o inmediata, si éste se encuentra constituido. De todas maneras, de no existir la posibilidad de ligarse con alguna de las líneas de emergencia existentes en la entidad, se recomienda que se establezca una para atender casos de daños a los arrecifes.

alcances del incidente, así como la identidad de la Parte Responsable. El actor institucional supervisa la evaluación inicial del sitio y la evaluación biológica, las operaciones de salvataje de la embarcación asociada con el incidente de daños al arrecife, la restauración inicial, la restauración compensatoria, y el monitoreo asociado. Además, el actor institucional se involucra en la colecta de evidencias en el sitio del incidente, para sustentar un eventual procedimiento judicial contra la Parte Responsable.

4.2 Periodo de respuesta

A partir de este momento, se procede con los siguientes pasos (Gulko et al, 2007):

1) PRE-EVALUACIÓN DEL AREA

- a) Determinar el escenario
- b) Establecer perímetros del evento y del impacto
- c) Delinear el hábitat afectado

2) INVESTIGACIÓN DEL IMPACTO

- a) Daño por impacto directo e indirecto
- b) Colección de evidencia física y de otro tipo

3) EVALUACIÓN ECOLÓGICA

- a) Componentes ecológicos e impactos
- b) Efectos en funciones ecológicas
- c) Biodiversidad, biomasa y usos humanos

4.2.1 Determinación del escenario

El primer funcionario en llegar a la escena debe:

- Estar al tanto de cualquier persona o embarcación que esté abandonando la escena.

- Acercarse al área cuidadosamente, y revisar visualmente la totalidad del sitio tratando de revisar y anotar cualquier posible escena secundaria de impacto.
- Estar pendiente de cualquier otro incidente adicional en los alrededores que pueda estar relacionado con el impacto o pueda expandirlo.
- Hacer observaciones iniciales (ver, oír, oler) para evaluar la escena y asegurar la seguridad personal antes de proceder.
- Analizar la escena en busca de personas peligrosas y con el propósito de obtener control de la situación.
- Mantenerse alerta y atento. Asumir que el impacto continúa hasta que se determine formalmente lo contrario.
- Tratar el sitio como una escena de impacto hasta que se haya evaluado y determinado lo contrario.

Es importante que la primera persona que responda a un incidente de encallamiento notifique al personal de supervisión y solicite apoyo o ayuda a otras autoridades involucradas. Una vez localizado el sitio, se debe asegurar la escena y esperar al inspector de PROFEPA o al perito de la PGR, que son quienes pueden evidenciar oficialmente el evento (es decir, solamente aquéllos indicios que sean obtenidos por los peritos de la PGR, o por inspectores de la PROFEPA, serán considerados como evidencias, con valor probatorio en un procedimiento judicial).

4.2.2 Establecimiento de los perímetros del evento y el impacto

Al llegar al sitio donde ha acontecido un impacto sobre un arrecife, se debe comenzar por definir los límites de la escena de impacto, empezando por el punto focal y extendiéndose hacia el exterior, tomando en cuenta:

Recomendación

Se recomienda emprender una campaña de educación dirigida a la sociedad en general. Sin una campaña de este tipo, los diferentes actores sociales no sabrán de la necesidad de reportar los daños a los arrecifes, o ante quién se deben presentar esos informes. También se debe formar conciencia entre los servidores públicos federales, estatales y municipales acerca de su responsabilidad de reportar los incidentes en los arrecifes de coral durante el curso normal de sus labores, o a través de otros procedimientos normales de operación, como el envío de oficios o correos electrónicos entre dependencias.

- El sitio específico en que ocurrió el evento de impacto.
- Puntos potenciales de salida o entrada de testigos, sospechosos u otros elementos de impacto.
- Lugares donde la evidencia pueda haber sido removida.
- Que el área de impacto quede dentro de un polígono regular (con el menor número de vértices, ideal: cuatro) para facilitar la estimación del área.

■ El primer representante de las instancias involucradas debe:

- Anotar la información de despacho (i. e., dirección o ubicación, hora, fecha, tipo de aviso, actores involucrados) en el Formato de Reporte Inicial del Incidente en el Arrecife.
- Tomar nota de todas las personas y embarcaciones que se encuentren abandonando la escena.
- Aproximarse cautelosamente a la escena del impacto, observando toda el área para evaluar completamente la escena, y anotar todas las posibles escenas de daños secundarios.
- Tomar nota de todos los ingresos al área que puedan estar relacionados con el impacto, o que lo puedan incrementar.
- Realizar observaciones iniciales (ver, escuchar, oler) para evaluar la escena y garantizar la seguridad personal antes de proceder.
- Permanecer alerta y atento. Asumir que el impacto se encuentra en proceso hasta que se determine lo contrario. Tratar la escena como una escena de impacto del delito, hasta que ésta sea evaluada y se determine lo contrario.

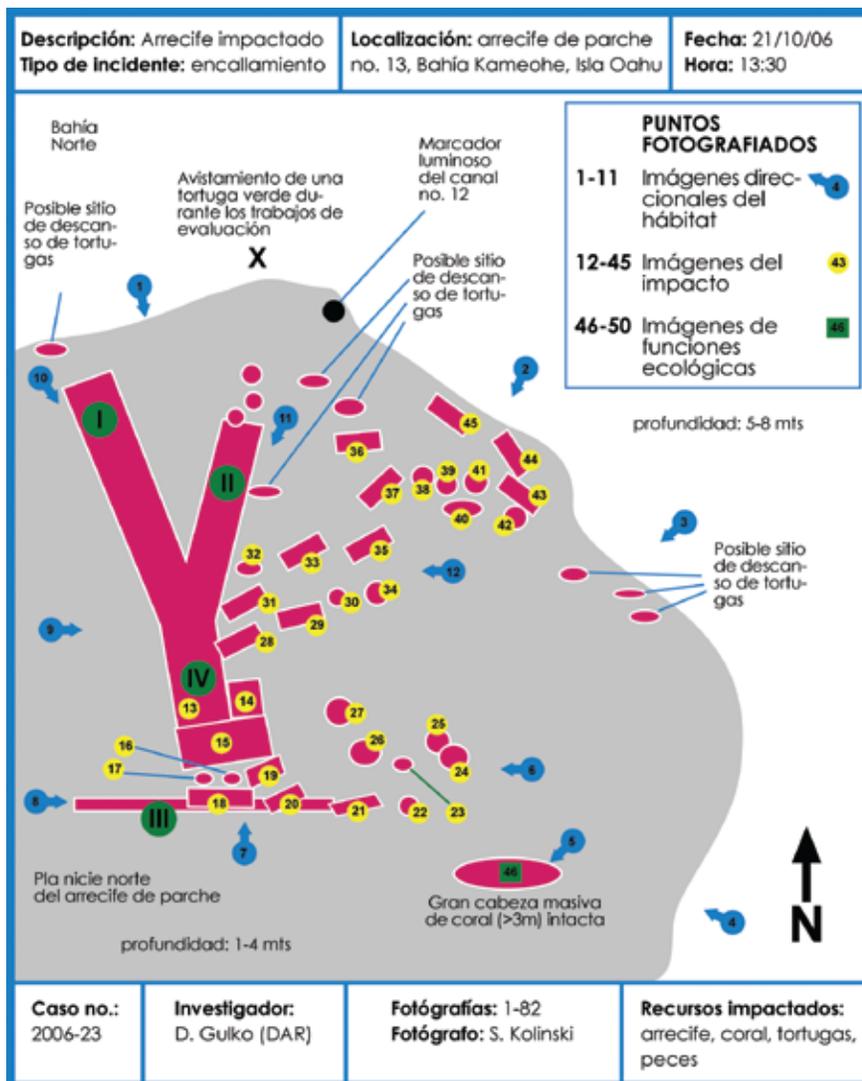
Modificado del Dep. of Justice Draft Guidance On Investigating Vessel Groundings, 2000

4.2.2.1 Establecimiento del perímetro del evento

El perímetro del evento es usado para coordinar la pre-evaluación y otras actividades de la investigación. Tiene una función similar al perímetro de una escena del crimen, en el sentido de que provee un límite para concentrar los esfuerzos y restringe el área para otros usos o actividades humanas. De esta forma se logra minimizar perturbaciones a la investigación. No representa una medida del daño, pero debe incluir



■ Colonias de coral, esponjas y otros organismos observados durante el recorrido en el arrecife Paraíso con sedimento excesivo en su superficie. Fuente: Parque Nacional Arrecifes de Cozumel / CONANP



■ **FIGURA 8**
Ejemplo del croquis de una escena de impacto.
Fuente: Gulko

todas las áreas dañadas, además de una zona de amortiguamiento suficiente para ser manejable, con límites fácilmente identificables. Se pueden usar varias técnicas para delinear el área, snorkel, scuba, recorridos superficiales, y otras.

4.2.2.2 Establecimiento del perímetro del impacto

El perímetro del impacto es una delimitación del área impactada en un evento de daño. Se usa para obtener una estimación inicial del área dañada, en preparación para una evaluación más detallada. El método básico incluye nadar alrededor de un área bien delimitada de impacto, delineando un polígono por medio de puntos del GPS por fuera de todos los límites externos del área impactada. Para sitios más complejos o grandes, se puede utilizar un patrón de búsqueda para delinear las esquinas de un polígono, lo que dará como resultado una estimación aproximada del sustrato dañado. Los vértices se pueden establecer usando flotadores y un GPS en superficie (tratando de minimizar el error horizontal). Se deben incluir datos acerca de cambios en la profundidad, tipo de fondo, y composición de hábitat. Deben obtenerse foto-

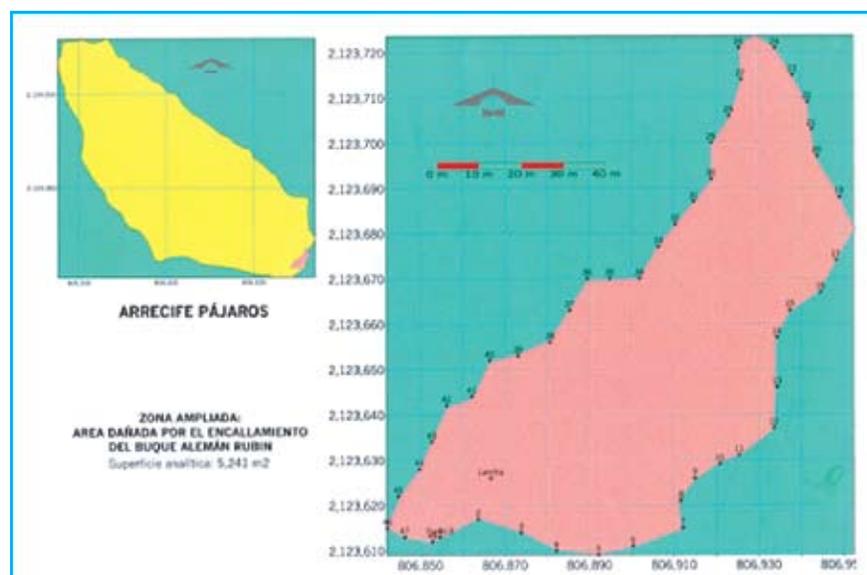


FIGURA 9

Esquema de delimitación de un área impactada e ubicación geográfica.

Fuente: Vargas-Hernández et al, 2001

grafías referenciadas de todos los impactos observados en el fondo y en la estructura del hábitat.

4.2.3 Colecta de Evidencias

La colecta de evidencias, y la cadena de custodia subsiguiente, son componentes críticos para la construcción de un caso sólido cuando la Parte Responsable (PR) se niegue a la reparación del daño, o se encuentre bajo el supuesto de haber cometido un delito ambiental. O bien cuando surjan controversias acerca de la magnitud de las medidas de compensación o mitigación requeridas. Los recursos financieros erogados durante la atención al evento de encallamiento no se podrán recuperar, y no será posible en última instancia asignar una responsabilidad a la PR, si las instituciones involucradas no resultan capaces de construir un caso sólido en busca de la reparación del daño. Un caso sólido descansa sobre evidencias sólidas. Las evidencias sólidas provienen únicamente del empleo de técnicas efectivas y apropiadas de colecta.

Una colecta apropiada de evidencias de los daños a arrecifes ocasionados por actividades antropogénicas consiste en:

- 1) saber qué tipo de evidencia se requiere para construir un caso sólido,
- 2) emplear buzos que operen de acuerdo con los estándares apropiados de seguridad, y
- 3) emplear buzos que hayan sido entrenados para aplicar los estándares acreditados para la colecta y conservación de evidencias. Actualmente no existe un conjunto preestablecido de técnicas para la colecta de evidencias relacionadas con incidentes de daño a arrecifes de coral, que reúnan los estándares de colecta de evidencias enumerados arriba, y que permita a las instituciones involucradas construir casos sólidos y, en consecuencia, tener éxito en la búsqueda de mitigaciones, reparación de daños, o aplicación de sanciones.

En los casos en que el daño a un arrecife se haya debido a actividades antropogénicas (como el encallamiento de una embarcación), la meta a alcanzar por los buzos participantes consiste en evaluar el grado de los daños, y obtener la infor-

■ Componentes de un Buen Croquis de la Escena Subacuática de Impacto

Los croquis de la escena de impacto proporcionan una vista general que describe las relaciones entre los componentes de un sitio sujeto a investigación. Proveen una visión general que liga la colecta de evidencias físicas con la fotografía, las descripciones de la escena, y las evaluaciones ecológicas rápidas.

Dependiendo de la complejidad de la escena del impacto, el número de hábitats y subhábitats impactados, y las dimensiones del área impactada, puede ser que resulte necesario elaborar varios croquis de la escena.

El croquis de una escena debe incluir los siguientes componentes de información:

- Información acerca de la ubicación.
- Fecha y hora en que se elaboró el croquis.
- Autor del croquis.
- Colaboradores adicionales (p. ej., fotógrafos, etcétera)
- Descripción del incidente identificado.

- Descripción de los impactos identificados.

El croquis de la escena del impacto debe incluir los siguientes componentes de dibujo:

- Dibujo rotulado de los principales rasgos geológicos.
- Descripción de los principales cambios de profundidad.
- Descripción y diagrama de los principales impactos físicos identificados y del curso de los daños.
- Descripción y diagrama de los principales rasgos ambientales.
- Señal del norte
- Ubicaciones aproximadas de las especies o rasgos naturales protegidos.
- Siempre que sea posible, una escala aproximada del croquis.

De Gulko et al (2007)

mación pertinente para contribuir a tomar las mejores decisiones posibles acerca de la manera que resulte más eficaz el proceso de restauración del hábitat, hasta que recupere su anterior función y valor.

Al coleccionar evidencias, resulta imperativo que se siga un proceso acreditado, de tal modo que cualquier evidencia coleccionada soporte cualquier cuestionamiento durante un proceso judicial. Las políticas y los procedimientos para la colecta de evidencias difieren entre los diferentes organismos locales, estatales o federales de procuración de justicia.

Recomendaciones

Se deben analizar todas las vías que permitan la aplicación de la normatividad por las diferentes autoridades, y desarrollar aquella que pueda producir los mejores resultados.

4.3 Determinación de las acciones inmediatas

Un tercer componente de la pre-evaluación incluye la determinación de las acciones que deben emprenderse de manera inmediata para mitigar los daños adicionales que puedan ejercerse sobre los recursos naturales del sitio después del evento. (Depende de los requerimientos de información de las instituciones).

Recomendaciones

Las dependencias involucradas deben desarrollar criterios para la colecta de evidencias asociadas con incidentes de daños a arrecifes, con base a los requerimientos de futuros litigios que puedan preverse. Estos criterios deberán ser empleados por los funcionarios de los organismos de procuración de justicia como una práctica uni-

forme cada vez que se coleccionen evidencias, o por los buzos de las dependencias responsables del manejo de los recursos, o procedentes de organizaciones de investigación, que obtengan datos que eventualmente se puedan utilizar como evidencias en un proceso judicial.

Recomendaciones

Todos los buzos que coleccionen evidencias (incluyendo los que procedan de organizaciones de corte académico) que se puedan utilizar en un juzgado, deben estar entrenados en la aplicación de un procedimiento acreditado para la obtención y el manejo de evidencias.

4.3.1 Desarrollo en campo

Al llegar al sitio, el personal de apoyo en superficie debe establecer y definir el área donde se enfocarán los muestreos; esto puede ayudar a prevenir perturbaciones externas adicionales, mediante acciones de vigilancia y difusión. Además es recomendable colocar boyas para delimitar el área sobre la que se enfocarán el análisis del impacto y la evaluación ecológica.

Estas actividades pueden ser realizadas por buzos en el fondo y personal de apoyo en la superficie. Mientras los buzos del fondo delimitan el área, en la superficie se pueden tomar las coordenadas de cada boya para establecer la localización geográfica.

La evaluación inicial de la escena empezará a definir la extensión de la pérdida de las funciones y valores de los recursos, y proporcionará los datos preliminares necesarios para que las dependencias responsables del manejo desarrollen un programa primario de restauración. Para hacerlo, los expertos de las dependencias responsables efectuarán mediciones preliminares, identificarán los tipos de daños, y estimarán el número y los tipos de organismos dañados o desplazados, determinarán los límites de la superficie dañada, y documentarán los daños a través de diversas técnicas que incluyen la fotografía y la grabación de imágenes en video. El técnico jerárquicamente superior preparará un informe de evaluación de daños y lo presentará a las dependencias responsables. Éstas lo revisarán, y determinarán cuál debe ser la respuesta apropiada. Si se requiere un proceso de restauración primaria, las dependencias responsables enviarán una copia del informe a la Parte Responsable, como parte del proceso de aplicación de la normatividad.

¹² (sig. pág.) "Triage" es un término utilizado sobre todo en las áreas de urgencias de los hospitales y clínicas, o en eventos catastróficos que demandan atender primero a las víctimas que se puedan estabilizar en la escena, desplazar después a las que requieran hospitalización o cirugía, y dejar al final a las que no se encuentren graves, o bien que ya hayan fallecido. Parece no haber un equivalente en castellano, de manera que se ha optado por designarlos como un proceso de asignación de prioridades, que permita determinar qué organismos se deben salvar primero.

4.3.2 Asignación de prioridades biológicas (Triage¹²)

El propósito de asignar prioridades biológicas es salvar los organismos que se encuentren frente a un riesgo inminente de perderse como resultado del incidente. Este proceso puede llevarse a cabo de manera simultánea a la evaluación inicial de la escena, y debería consistir en el salvamento de tantos recursos bióticos pertinentes como resulte posible. Las actividades de asignación de prioridades biológicas deben coordinarse de tal manera que no interfieran con la colecta de evidencias.

Es importante que se lleven a cabo las actividades de asignación de prioridades biológicas lo antes posible después de un impacto. Los organismos volcados, desprendidos o fracturados tienen una ventana de oportunidad muy breve durante la cual se les puede salvar y estabilizar. La asignación

Recomendaciones

Para garantizar que se sigan estándares adecuados de seguridad, las evidencias deberán ser colectadas exclusivamente por buzos acreditados.

Datos esenciales a recolectar durante la pre-evaluación

- Perímetro del evento (exterior a todos los impactos conocidos): profundidad, GPS, tipos de hábitat, fotos de la escena fuera del agua.
- Perímetro del impacto (polígono para todos los límites de las áreas impactadas: profundidad, GPS, tipos de hábitat, fotos submarinas de los impactos.
- Esfuerzos inmediatos de mitigación o medios para disminuir el daño adicional: profundidad, GPS, tipos de hábitat, fotos de las acciones o amenazas para ser mitigadas, fotos de las posibles fuentes de daño.
- Recursos en riesgo frágiles o amenazados: profundidad, GPS, tipos de habitats, fotos de los recursos en riesgo.



■ Cilindro metálico y canasto de lavandería utilizados para resguardar corales duros.

Fuente: Guidelines for Rapid Response to and Restoration of Coral Reef Injuries in Southeast Florida.

de prioridades biológicas debe incluir la colocación en una posición apropiada de los organismos que han sido volcados, desprendidos, enterrados, o dañados de alguna otra forma. Frecuentemente es posible voltear las colonias grandes de coral, y colocarlas en su posición original, de manera que se mantengan estables sin ayuda adicional; pero las colonias pequeñas y los fragmentos de colonias pueden ser arrastrados fuera del sitio por la surgencia y la energía del oleaje. Los pequeños fragmentos de esponjas, octocorales, y corales escleractíneos se pueden colocar en cestos, cajas de plástico, u otro tipo de contenedores para su salvaguarda temporal. Los octocorales y las esponjas son muy ligeros, y requieren de cuidados especiales para garantizar su seguridad. Se han utilizado canastos lastrados con tapa, para asegurar este tipo de organismos. Estos recursos son vitales para la restauración primaria, y se les debe coleccionar y resguardar en áreas donde se encuentren lo más protegidos posible de daños adicionales mientras se llevan a cabo las actividades de restauración. Los escombros y pedacería se deben estabilizar o retirar del sitio tan pronto como sea posible para evitar mayores daños ocasionados por el movimiento de los escombros, provocado por un mar picado o por tormentas. Una rápida asignación de prioridades biológicas, aunada a una rápida restauración primaria, son especialmente críticas durante las temporadas de huracanes y nortes.

Se debe priorizar la colecta de evidencia para evitar pérdidas, destrucción, o contaminación, teniendo en cuenta la naturaleza constantemente cambiante y los peligros asociados con la escena subacuática del impacto. Deben evaluarse continuamente los factores ambientales y de otro tipo que puedan afectar la evidencia, o la habilidad para procesar la escena del impacto (Gulko et al, 2007).

Para conseguir estos propósitos, los miembros del equipo deberán:

- Conducir una evaluación cuidadosa y metódica que considere todas las posibilidades de evidencia física y biológica.

- Enfocarse en primer lugar hacia las áreas fácilmente accesibles, identificadas a simple vista, y proceden hacia las ubicaciones subacuáticas crípticas, distantes y semi-cerradas.
- Seleccionar un patrón sistemático de búsqueda para coleccionar evidencias, con base en el tamaño y la ubicación de las escenas primaria y secundaria del impacto.
- Seleccionar una progresión de métodos de procesamiento y colecta, de manera que las técnicas iniciales no comprometan los métodos subsecuentes de procesamiento y colecta.
- Concentrarse en la evidencia más efímera o proceder hacia las formas menos efímeras de evidencias físicas o biológicas.

4.3.3 Consejos de Investigación de la Escena del Crimen (CSI, por sus siglas en inglés)

La naturaleza del ambiente marino, que nunca permanece estático, resalta la naturaleza crítica del análisis de la escena de impacto y la necesidad de buscar evidencias de una manera cuidadosa y metódica. Después de revisar los parámetros iniciales del incidente y observar los cambios que puedan haber ocurrido en la escena, ya sea debido a fenómenos naturales o a actividades humanas, se inicia el análisis de la escena revisando la escena de la manera que se determine más adecuada, teniendo especial cuidado en no destruir evidencia.

Antes de recolectar cualquier objeto del substrato (ya sea que se trate de objetos naturales o hechos por el hombre), asegúrese de que cuenta con la autoridad legal para coleccionarlo.



Escena antes y después de la colecta.

Fuente: Gulko et al, 2007

4.3.3.1 Colecta Subacuática de Objetos Hechos por el Hombre

Antes de mover o coleccionar una pieza de evidencia bajo el agua, se debe documentar la colecta registrando la ubicación de la evidencia (incluyendo la profundidad) en la escena, la fecha de la colecta, y el nombre del colector. Se deben tomar fotografías del hábitat de la escena antes y después de la colecta. La documentación se puede elaborar bajo el agua en un formato de Cadena de Custodia impreso en papel impermeable y guardado por el buzo investigador junto con otras hojas de registro de datos. El buzo que requisiere el formato de Cadena de Custodia debe mantener la custodia de la evidencia colectada (y descrita en el formato) hasta emerger con el material colectado.

Debe cuidarse que los investigadores lleven guantes de ser posible cuando coleccionen evidencias bajo el agua. Los sitios subacuáticos de impacto son frecuentemente muy peligrosos, y representan riesgos importantes para la piel expuesta. Si se utilizan guantes de buceo que hayan sido usados antes por otro investigador, se deben cubrir las manos del buzo con guantes de exploración desechables.

Una vez que se ha completado la documentación, se debe coleccionar cada artículo identificado como evidencia y colocarlo en contenedores separados, bolsas, etc., que

La evidencia biológica húmeda, ya sea que se encuentre empacada en plástico o en papel, debe ser congelada rápidamente, preservada químicamente, o retirada y completamente secada al aire. **LA EVIDENCIA QUE CONTenga HUMEDAD NO SE DEBE, BAJO NINGUNA CIRCUNSTANCIA, EMPACAR EN CONTENEDORES DE PLÁSTICO O PAPEL POR MÁS DE DOS HORAS.** La humedad permite el desarrollo de microorganismos que pueden alterar o destruir la evidencia.

se puedan identificar con relación a las muestras colectadas. Por ejemplo, los objetos se deben colocar en bolsas de plástico sellables y pre-numeradas (Ziplock^{MR}), con el nombre del colector y la fecha de la colecta. En algunos casos, las evidencia de grandes dimensiones colectadas pueden requerir ser colocadas en bolsas de malla, o transportadas manualmente hasta la superficie.

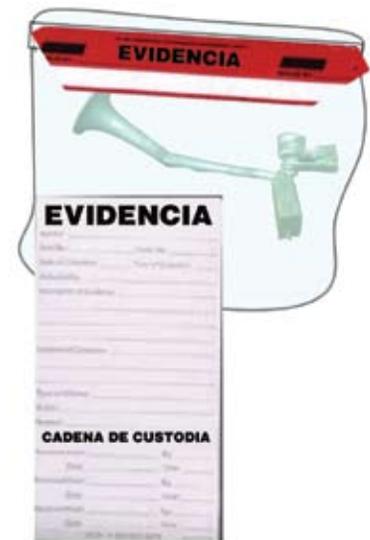
■ No se debe intentar limpiar artículos en el campo. Estas actividades sólo deben llevarse a cabo por el personal apropiado, siguiendo procedimientos estandarizados en un laboratorio adecuado. La colecta o aseguramiento de objetos personales que se suponen asociados con un evento de impacto debe ser efectuado exclusivamente por personal de dependencias autorizadas.

4.3.3.2 Colecta Subacuática de Recursos Naturales

Impactados o de Referencia

En la superficie, todas las bolsas de evidencia deben ser fotografiadas, así como el formato impermeable de cadena de custodia. Si se necesita que la evidencia se transfiera a otro contenedor o bolsa, esto se debe documentar tanto fotográficamente como por escrito. Las bolsas para el transporte final de la evidencia colectada (una vez que se sale a superficie) deben estar selladas de alguna manera (cinta de evidencia, etcétera), y deben estar acompañadas de los formatos de cadena de custodia que corresponden a cada artículo o lote de artículos. La evidencia debe almacenarse en un lugar seguro, que garantice que se conserve la cadena de custodia de todos los artículos.

La toma de muestras subacuáticas, tanto biológicas como geológicas, suele ser necesaria durante la investigación de un impacto. Frecuentemente se puede clasificar en uno de los siguientes tres tipos:



■ Toma de muestra subacuática.
Fuente: Gulko et al, 2007



Arrecife impactado.
Fuente: Gulko et al, 2007

- 1) Una Muestra de Impacto es el material procedente del sitio donde sucedió un evento de impacto, y se supone que ha sido dañado, muerto o modificado por el evento mismo.
- 2) Una Muestra Estándar, o de Referencia consiste en material procedente de un origen verificable o documentado que, al compararse con la evidencia obtenida de un origen desconocido, muestra una asociación o relación entre un actor responsable, la escena del impacto, o un recurso natural afectado (i. e., un fragmento de pintura tomado del sustrato de un sitio que se sospeche que ha sido el punto de impacto de una embarcación encallada, para compararlo con un fragmento de pintura recuperado del casco de la embarcación sospechosa).
- 3) Una Muestra de Control es material proveniente de un origen conocido que se supone no ha sido contaminado durante el evento de impacto subacuático (p. ej., una muestra que se va a utilizar en pruebas de laboratorio para asegurarse de que la superficie sobre la que se deposite la muestra no interfiere con dichas pruebas).

Por lo general, la mayoría de los eventos de impacto requerirán la colecta independiente de muestras tanto de impacto como de referencia. Seguramente, muchos sitios de impacto en arrecifes de coral no han sido monitoreados antes de un impacto, y por tanto es probable que se tengan que coleccionar muestras apropiadas de control de un sitio adecuado de control, para establecer qué se puede haber perdido en el sitio impactado.

En algunas circunstancias puede resultar necesario obtener Muestras de Eliminación procedentes de los miembros del equipo de investigación, sus equipos o sus embarcaciones, para aislar fuentes con relación a otras evidencias coleccionadas. Si un área de impacto es utilizada intensamente, se puede requerir la obtención de muestras de eliminación de todos los grupos de usuarios, sus equipos y embarcaciones, así como de testigos que se hayan encontrado en el agua al momento del impacto.

■ Antes de Iniciar la Colecta de Evidencias de la Escena de un Impacto Subacuático, los Representantes de la Autoridad Ambiental que Respondan al Evento Deben:

- Predeterminar qué miembros del equipo serán individualmente responsables de las fotografías subacuáticas, la realización del croquis de la escena, la toma de medidas (incluyendo desde las medidas de los artefactos de evidencia hasta las de rasgos permanentes del entorno subacuático), y la colecta y documentación de evidencia.
- Los investigadores que se encuentren al frente del equipo le pedirán al resto del personal que siga los procedimientos indicados para asegurar el área y preservar la integridad de la evidencia.
- Siempre que resulte posible, los buzos deben limpiar/sanear sus equipos/herramientas y el equipo personal de protección entre inmersiones/escenas de impacto, donde pueda colectarse evidencia.
- Describir la escena subacuática tal como se presenta antes de la colecta de la evidencia. Registrar toda evidencia efímera (olores, sonidos, registros visuales) y las condiciones imperantes (temperatura, corriente, marea, etcétera).
- Las fotografías deben incluir: la escena del impacto (desde varias perspectivas, incluyendo coberturas generales, a rango medio, y en acercamiento; la evidencia a colectar, con y sin escalas de medición o identificadores de la evidencia; trayectos de daño identificables; hábitat y especies no dañados, como referencia; víctimas, sospechosos, testigos, curiosos y embarcaciones; perspectivas adicionales (p.ej., fotografías aéreas y de superficie, punto de vista de testigos, el área impactada, una vez que se haya retirado la causa del impacto).
- Los croquis y las medidas deben incluir: el área inmediata de la escena del impacto, anotando identificadores del caso e indicando el norte en los croquis; ubicación relativa de los artefactos de evidencia; la evidencia antes de ser movida; colonias de coral de grandes dimensiones, oquedades del arrecife u otros subhábitats; distancia a los subhábitats adyacentes u otras referencias sumergidas.

Modificado del Draft Guidance on Investigating Vessel Groundings
U.S. Dept. of Justice / 2000



■ Colonias dañadas a causa del encallamiento del Crucero Leeward.
Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

Todos los artículos colectados se deben empacar separadamente, para evitar la contaminación y contaminación cruzada. Se debe identificar la evidencia y asegurarla en contenedores (i.e., etiquetarla, fecharla, anotar las iniciales del colector en el contenedor) bajo el agua en la escena del impacto. Los diferentes tipos de evidencia requieren contenedores distintos (p. ej., poroso, no poroso, indeformable).

Tanto al estar en el agua como en la superficie, se debe evitar la manipulación excesiva de la evidencia colectada. El personal responsable debe mantener la evidencia, mientras se encuentra bajo su control, de manera tal que se abata su degradación o sus pérdidas. Cuando se trata de muestras biológicas, las bolsas de evidenciarse deben colocar en una nevera que se pueda sellar (rotulada como "EVIDENCIA" y nunca utilizada para almacenar alimentos u otros artículos).

Como la mayoría de las investigaciones en el agua ocurre durante el día, bajo temperaturas considerablemente elevadas, se debe helar la nevera, si puede hacerse sin que se generen grandes cantidades de hielo derretido que se liberen hacia las muestras (usando, por ejemplo Blue Ice^{MR}, algún producto equivalente, o hielo embolsado por separado).

Al igual que cuando se trata de otras formas de evidencia colectadas bajo el agua, se debe transportar y entregar la evidencia biológica para que sea almacenada bajo seguridad. Nótese que en el caso de la evidencia biológica marina, puede requerirse un almacenamiento en un refrigerador seguro a temperatura baja. Debe evitarse cualquier intento de mantener organismos vivos en cautiverio como evidencia.

Al obtener muestras (evidencias) de los daños ocasionados por un impacto directo sobre un arrecife, se debe considerar las siguientes recomendaciones:

- Observar cuidadosamente el fondo o el sustrato alrededor el sitio de impacto directo.
- Buscar elementos que puedan evidenciar el impacto, como organismos moribundos o perturbados, marcas físicas (pintura), etcétera.

- Determinar si existen corales rotos recientemente, si han sido rotos de forma diferente (rebanados), si hay algún movimiento o remoción de sedimento fuera de lugar, o si existe algo en el fondo que pueda ser destruido o disminuido por el próximo cambio de marea o las corrientes.
- Recordar que se debe buscar siempre en las tres dimensiones.
- Otra técnica que ayuda a localizar evidencia consiste en reflejar un haz de luz sobre el sustrato en un ángulo oblicuo, ya que aún durante el día, muchos objetos (hechos por el hombre) reflejan la luz en forma diferente a como se observan los organismos del fondo.
- Nunca se debe de mover o alterar la posición de algún objeto de evidencia hasta que haya sido documentado y fotografiado con referencia.
- Para las marcas físicas en el sustrato, se deben describir las marcas, su longitud y el ancho, y especialmente la condición del sustrato impactado. Las grietas indican la dirección o la duración del evento. Deben anotarse todas las líneas, marcas, o rayones en el sustrato, y se debe dibujar un diagrama y, de ser posible, tomar una fotografía del esquema.
- Debe describirse no sólo lo que se ve, lo que se deja de observar: si algo falta, debe ser anotado. Por ejemplo, si se observa un arrecife relativamente grande, es posible notar la ausencia de peces herbívoros que se alimentan de macroalgas.
- Todas las fotos deben referirse a una escala de tamaño.

En algunos casos se pueden encontrar restos de múltiples daños en un mismo sitio de impacto, lo cual requiere medidas cuidadosas y descripción. Los objetos o daños encontrados bajo el agua deben ser medidos y foto-documentados, y su localización precisa debe registrarse cartográficamente antes de coleccionarlos como evidencia.



■ Indicios en el arrecife a causa del encallamiento del Velero Puch.
Fuente: Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos / CONANP

Las distancias de características estacionarias y permanentes también deben ser registradas. Los diagramas deben incluir fecha y hora, y las profundidades deben ser anotadas en cambios evidentes de zonación. Los diagramas deberán diferenciar elementos que se relacionan tanto como sea posible.

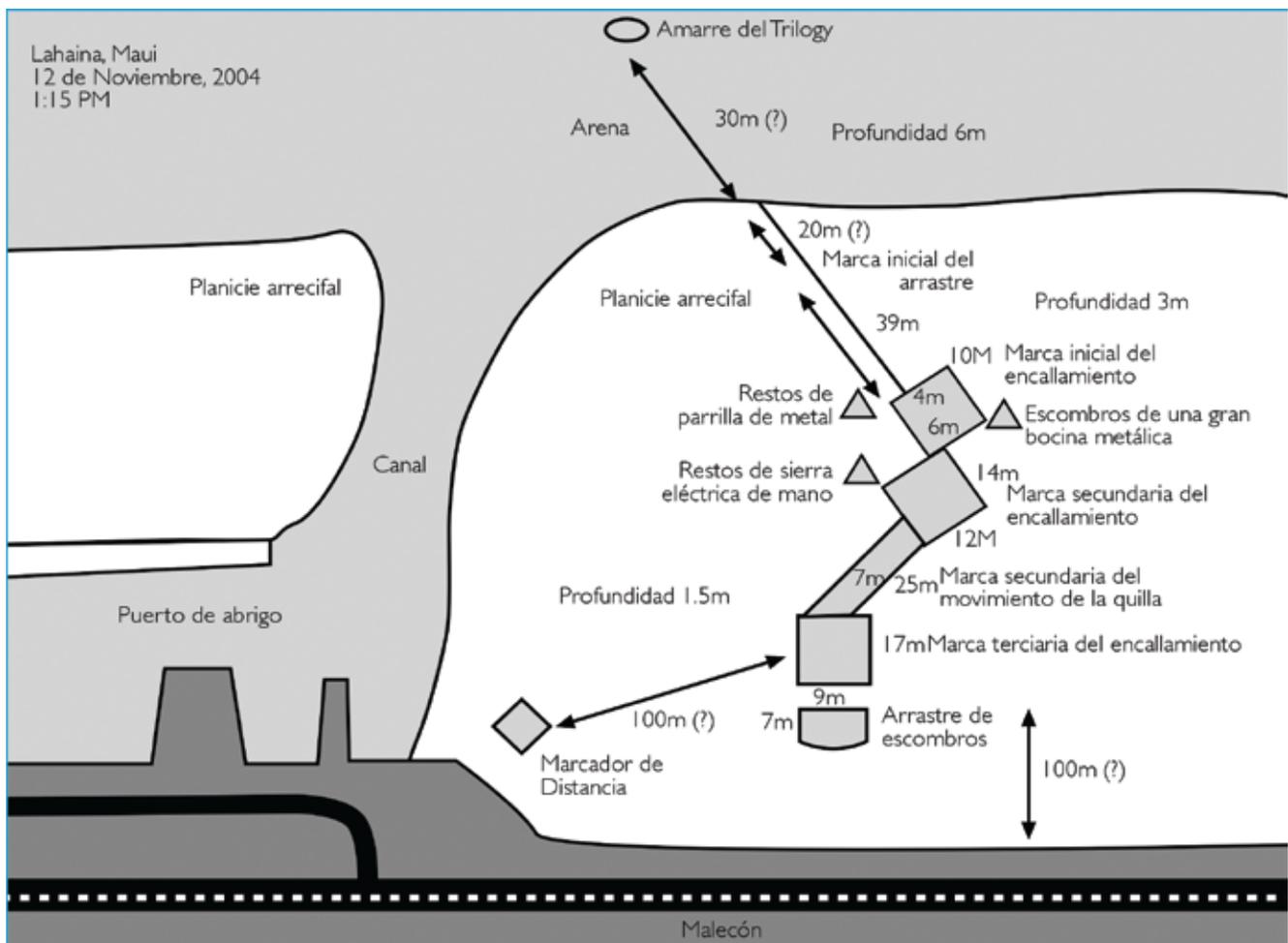
4.3.3.3 Colección de evidencia física y de otro tipo

FIGURA 10

Esquema del diagrama de una escena de impacto.

Fuente: Gulko et al, 2007

Las muestras submarinas, tanto biológicas como geológicas, son necesarias para investigar un impacto. Antes de coleccionar



la evidencia es necesario tener un registro (o fijamiento) fotográfico. Al igual que con el resto de la evaluación, las fotografías registradas por la cámara deben tener concordancia con lo que se está pretendiendo evidenciar. Cada fotografía debe tener una referencia numérica (el archivo en la cámara) relacionado con las notas del evaluador, (Por ejemplo, foto 1, Evidencia 3, ancla. "Observada sobre la cresta arrecifal..... etcétera"). Pero además la evidencia debe tener una referencia numérica que aparezca en la foto: Un marcador físico, que pueda demostrar en la imagen a qué punto exacto se refiere la imagen registrada.

El papel principal de los marcadores es identificar los objetos que de otra manera no resultarían obvios en las fotos tomadas a la evidencia en la escena. Los objetos, registrados como banderas alfa-numéricas o conos, pueden ser usados para identificar objetos específicos referenciados en un reporte de impacto o en un diagrama de la escena de impacto.

Bajo el agua, los factores como la corriente, la profundidad, u otros, modifican los materiales y los colores que en tierra pueden parecer muy prácticos. Los materiales que pueden tener mejor resultados como marcadores en este caso son las cintas fosforescentes, sobre todo de color amarillo, que pueden fotografiarse bien, aún a profundidades someras. En otros casos, las placas de aluminio, o cintas de "dimo" marcadas con



■ *Millepora complanata*. Fractura parcial a causa del encallamiento del Veleró Puch.
Fuente: Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos / CONANP

La evidencia procedente de la escena subacuática de un impacto, cuando se encuentra en proceso de documentación, colecta, preservación, o empaque, debe ser manipulada poniendo la mejor atención posible en la integridad de la escena y su protección contra la contaminación o los cambios dañinos. Durante el procesamiento de la escena, y después de la documentación (la Fase de Evaluación del Impacto), la evidencia se debe empaquetar apropiadamente una vez que ha sido llevada a la superficie, etiquetar y mantener de manera temporal y segura, hasta su empaque final y la entrega a un almacén seguro de evidencia, o un laboratorio de análisis criminológico.

■ Componentes de un buen diagrama del sitio de impacto (Gulko et al, 2007)

- Localización (coordenadas GPS, localidad, sitio, arrecife)
- Fecha y hora del diagrama
- Tipo de impacto, información referente al incidente
- Autor del diagrama
- Otros miembros del equipo (fotógrafo, apoyo en superficie tomando las coordenadas del GPS)
- Descripción del incidente identificado
- Descripción de los impactos
- Profundidad en las principales zonas y cambios en la profundidad
- Dibujo y/o dato de las principales características geomorfológicas
- Descripción y diagrama de los impactos físicos visibles e identificables
- Descripción y dibujo de las principales características ecológicas
- Flecha de dirección
- Distancia aproximada a áreas protegidas, especies con alguna condición de protección (NOM)
- Si es posible una escala del diagrama

un número de evidencia, pueden resultar marcadores eficaces. Además, este tipo de marcas no ocupa mucho espacio y pueden ser transportadas por un buzo en su equipo sin mayor problema.

4.3.3.4 Algunas Consideraciones para Asegurar una Buena Colecta de Evidencias

Cuando se está bajo el agua el tiempo, la cantidad de aire por respirar, así como los tiempos de descompresión, se convierten en las principales restricciones para evaluar una escena del crimen. Los buceos repetitivos en el mismo sitio pueden acarrear problemas asociados con las diferentes capacidades de los individuos que se encuentran documentando la misma escena. Por esta razón, el proceso de evaluación y colección debe ser detallado. Cada buzo debe adecuarse a las herramientas que considere más útiles para su capacidad de observación y análisis.

La comunicación con los otros miembros del equipo es muy importante en esta etapa. El diagrama de la escena debe tener relación con las fotos tomadas por otro buzo y con las fotos tomadas por buzos adicionales.

Cada evidencia debe ser empacada por separado (bolsas, botes, etcétera) con algún identificador, para que puedan ser relacionadas posteriormente.

Después de ser empacada en bolsas o papel, la evidencia biológica debe ser congelada inmediatamente, o preservada químicamente. Ninguna evidencia húmeda debe ser empacada en bolsas o papel por más de dos horas, bajo ninguna circunstancia. La humedad permite el crecimiento de microorganismos que pueden destruir o alterar la evidencia.

Dependiendo del tipo de impacto y los hábitats afectados será necesario elegir los parámetros a evaluar, los indicadores y los métodos a utilizar.



■ *Agaricia tenuifolia*. Fractura parcial a causa del encallamiento del Velerero Puch.

Fuente: Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos / CONANP



■ *Acropora palmata*. Fractura total a causa del encallamiento del Velero Puch.

Fuente: Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos / CONANP

Los parámetros biológicos miden el estado de salud y los comportamientos de los organismos de los arrecifes de coral. Los parámetros biológicos se concentran en los principales recursos, y pueden ser usados para evaluar la extensión del daño de los arrecifes proveniente de perturbaciones naturales y antropogénicas. Entre los parámetros más frecuentes se encuentran los siguientes:

- Porcentaje de cobertura de coral, esponjas, algas y material no vivo.
- Composición de género o especies y estructura de tamaño de las comunidades de coral.
- Presencia de nuevos reclutas y juveniles.
- Número y composición de especies, tamaño (biomasa) y estructura de las poblaciones de peces.
- Peces juveniles, especies indicadoras, poblaciones de organismos característicos o de importancia como depredadores.
- Extensión y naturaleza de blanqueamiento de coral.
- Extensión y tipo de enfermedades de coral.

Los parámetros físicos miden el ambiente físico en y alrededor de los arrecifes, y proveen una descripción física del ambiente, lo que ayuda a la elaboración de mapas, y a la medición de cambios en el ambiente. Los parámetros incluyen:

- Profundidad
- Batimetría
- Perfil arrecifal
- Corrientes

- Temperatura
- Calidad del agua
- Visibilidad
- Salinidad

4.4 Secuencia típica de acciones coordinadas, emprendidas por las autoridades competentes

Como se puede apreciar a lo largo de la descripción de cada uno de los procesos que se deben llevar a cabo a partir de que se notifica que una embarcación ha encallado en un arrecife de coral, se trata de una compleja serie de procedimientos, en los que intervienen múltiples actores, desde el patrón y la tripulación de la embarcación que ha sufrido el evento, hasta las autoridades responsables de la conservación de los recursos naturales, el impacto ambiental, los delitos ambientales y del fuero común, la seguridad de la vida humana en el mar, y la regulación de la navegación en aguas nacionales (ver diagrama de flujo en el Anexo 1).

No quiere decir esto que haya un orden preciso para la intervención de cada una de las autoridades involucradas. Lo importante es que la atención resulte lo más rápida, eficaz y ordenada posible. Por ello se propone la creación de un equipo multiagencial y multidisciplinario de respuesta rápida (GRUPO DE RESPUESTA AMBIENTAL, GRA), que sea el responsable de la atención primaria a los casos de encallamiento en los arrecifes mexicanos.

Es claro que las dos agencias que deben responder a él en primera instancia son la Dirección del Área Protegida donde haya ocurrido el incidente (cuando éste sea el caso), y la Ca-

pitanía del Puerto en cuya circunscripción se haya suscitado el evento. Idealmente, se debe constituir un grupo de respuesta rápida, ambiental o inmediata multidisciplinario y con personal adscrito a diferentes dependencias, con la misión expresa de responder en primera instancia ante la ocurrencia de impactos en arrecifes de coral. A continuación se presenta una propuesta detallada, adaptada de lo que se hace en los Estados Unidos de América, acerca de lo que podrá significar la instalación de un GRUPO DE RESPUESTA AMBIENTAL (GRA).

Un Grupo de Respuesta Ambiental es un equipo de personal especializado, conducido por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). El equipo incluye representantes de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), la Secretaría de Marina (SEMAR), la Capitanía de Puerto de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), y la Procuraduría General de la República (PGR). El equipo debe contar con el más alto nivel de capacidad, facultades y atribuciones en materia de investigación y ecología forense. El personal no se encuentra permanentemente asignado al equipo, sino que lleva a cabo otras tareas en su dependencia de origen, y participa en el GRA como una responsabilidad colateral, estrechamente relacionada con las actividades convencionales de su dependencia. El GRA se crea con el propósito de brindar una respuesta eficaz y rápida ante eventos de encallamientos en arrecifes de coral, y es capaz de investigar y perseguir delitos ambientales.

El GRA se establece para incrementar la capacidad local y regional de responder ante eventos de encallamiento de embarcaciones en arrecifes de coral, especialmente en áreas naturales protegidas, y cuenta con facultades y atribuciones para investigar y delitos ambientales relacionados con este tipo de incidentes, aunque debe dar parte al Ministerio Público Federal, única instancia facultada para perseguirlos. El GRA puede desplazarse a un área de operaciones para:

- Evaluar el impacto ocasionado por el encallamiento de una embarcación, u otro artefacto, equipo o dispositivo, en arrecifes de coral,

- Asesorar a otros actores involucrados en atender el evento, para que emprendan las acciones adecuadas de respuesta,
- Investigar la probable comisión de delitos ambientales relacionados con el evento.

El GRA no substituye el papel fundamental del primer funcionario que acude en respuesta al aviso de un encallamiento, ni al responsable del caso, sino que incrementa los recursos locales y regionales, aportando capacidades especializadas. En la escena, el GRA proporciona apoyo táctico al responsable del área, y se integra al Sistema de Comando del Incidente (SCI) como un equipo especializado a las órdenes del responsable del área.

El grupo cuenta con todo el equipo necesario para evaluar la magnitud y el tipo de daños ocasionados durante un incidente, y por lo menos algunos de sus integrantes están entrenados para investigar y perseguir delitos ambientales. Pone a disposición del responsable del área recomendaciones acerca de la mitigación del evento, atención médica a personal accidentado durante el incidente o su atención posterior, seguimiento y monitoreo, y otras actividades relacionadas con la respuesta. También tiene acceso a laboratorios para analizar y determinar muestras y evidencias.

Al llegar a la escena de un incidente, el líder del GRA acuerda los objetivos de apoyo con el responsable del área. Utilizando el equipo adecuado, el GRA verifica el perímetro de la zona de exclusión, y envía personal a realizar un reconocimiento del área de impacto, investigar, y registrar y coleccionar evidencias.

El GRA cuenta con un amplio rango de dispositivos de diferente nivel de sofisticación para la evaluación de los daños, el monitoreo, y la colecta de evidencias. El equipo incluye, pero no se limita a, lo siguiente:

- Equipo de buceo
 - Tanque y regulador



■ *Acropora palmata*. Fractura total y aplastamiento a causa del encallamiento del Velero Puch.
Fuente: Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos / CONANP

- chaleco
- Visor
- Aletas
- Snorkel
- Traje de neopreno
- Guantes

■ Equipo para reconocimiento, investigación y toma de muestras

- Cámaras digitales de fotografía y video
- Regletas
- Tabletas de escritura
- Lápices indelebles
- Cinta métrica
- GPS
- Cinta amarilla o roja (para marcar)
- Bolsas de evidencia (Ziploc^{MR} o equivalente)
- Mallas para evidencia

■ Equipo de cómputo

- Computadora portátil
- Baterías adicionales

■ Equipo de comunicación

- Teléfonos celulares
- Radios

■ Acceso a laboratorios

- El GRA deberá colaborar estrechamente con los laboratorios de las organizaciones académicas de la región, para procesar o determinar las muestras y evidencias que lo requieran.

El GRA debe combinar las habilidades de todas las agencias federales participantes, y puede fácilmente ligarse a otras a través del establecimiento de redes. Debe además establecerse un mecanismo sistemático de coordinación con las instancias de los gobiernos estatales, academia, dependencias responsables de la inspección y vigilancia, la Comisión Nacional de Pesca (CONAPESCA), las Administraciones Portuarias Integrales (API), la Secretaría de Turismo (SECTUR), y la Secre-

taría de Relaciones Exteriores (SRE), quienes de manera casuística tendrán intervención en incidentes de encallamiento.

Hay varias rutas para notificar al GRA y activarlo. Los incidentes de encallamiento se pueden reportar a la Capitanía de Puerto, al personal de un área natural protegida, cuando el evento ocurre dentro de sus límites, a la Marina Armada de México, o a la PROFEPA. Personal de todas estas dependencias debe estar capacitado para atender la convocatoria. Si se presume que se ha cometido un delito ambiental, se debe también dar parte a Ministerio Público Federal. Informar oportunamente a los funcionarios de primer nivel de estas dependencias permitirá la intervención rápida del GRA.

Los funcionarios que acuden en primera instancia al sitio del encallamiento deben notificarlo a su superior jerárquico. Una vez que notifiquen, a través de su superior jerárquico, al GRA, este se reunirá para su desplazamiento inmediato a la escena del incidente. El GRA debe estar disponible las 24 horas, los 7 días de la semana, los 12 meses del año.

En virtud de que los miembros del GRA se encuentran en diferentes localidades de la región, siempre será posible que uno de ellos se encuentre en la escena de un incidente en un intervalo máximo de tres horas después de la notificación. El principal medio de transporte será una embarcación de la CONANP.

4.5 Acciones de Aplicación de la Normatividad

Las acciones de aplicación de la normatividad son el fundamento para los casos judiciales que involucren daños antropogénicos a un arrecife. La presentación de la parte responsable (PR) ante el Agente del Ministerio Público Federal (MP), y el levantamiento de un acta administrativa por parte de la autoridad competente (PROFEPA), son los elementos que

vinculan a la PR con el Estado. Estos dos elementos también establecen la intención de los actores institucionales de perseguir judicialmente el caso, hasta lograr la recuperación de los recursos perdidos, y la imposición de penas pecuniarias o penales, en los casos en que la PR se niegue a colaborar en la reparación del daño, o caiga en el supuesto de un delito ambiental contemplado en la ley. En virtud de que la aplicación de la normatividad ha recaído comúnmente en la PROFEPA y la PGR, los demás actores institucionales no han emitido regularmente notificaciones a las PR, intentando conminarla a reparar el daño. Además, estos actores institucionales no han iniciado de manera consistente acciones legales que busquen recuperar los recursos del erario público empleados en responder a los incidentes de daño a los arrecifes.

Responsabilidades de la parte causante del impacto

5

Cuando se conoce quién ha causado un impacto en un arrecife, se espera que lleve a cabo ciertas actividades, dependiendo del daño que haya ocasionado. Estas actividades incluyen la selección de un contratista para llevar a cabo las acciones de salvataje y restauración primaria del arrecife, la obtención de todos los permisos y autorizaciones que se requieran para llevar a cabo esas actividades, la conducción de su propia evaluación inicial de la escena, incluyendo actividades de asignación de prioridades biológicas, y desde luego la ejecución de todas estas actividades previa aprobación y con la supervisión de la autoridad responsable de la conservación y manejo del área.



■ Encallamiento del buque Discovery.
Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

5.1 Selección de contratistas

La participación de las dependencias responsables en la selección de un contratista que conduzca la restauración de un arrecife de coral no es algo que se haga frecuente ni convencionalmente. La selección de contratistas se debería llevar a cabo mediante un proceso de certificación similar al que se lleva a cabo en los términos de la Ley de Obra Pública, o en

■ Recomendaciones

Se recomienda que, con la finalidad de facilitar la coordinación entre las dependencias que tienen alguna responsabilidad, y han establecido procedimientos de respuesta y protocolos para responder ante eventos de corte ambiental, las personas que operan la línea de emergencia de 24 horas propuesta en párrafos anteriores hagan uso de un “árbol telefónico” para contactar a las dependencias involucradas y ponerlas al tanto de la información clave acerca del incidente reportado. El “árbol telefónico” incluiría a:

- El Sector Naval (SEMAR) correspondiente a la zona del incidente.
- La Dirección Regional de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).
- Si el incidente ha ocurrido dentro de los límites de un ANP, la Dirección del Área en cuestión.
- La Delegación de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).
- La Capitanía del puerto (SCT) en cuya área jurisdiccional haya ocurrido el incidente.
- La Administración Portuaria Integral (API) del puerto más cercano a la escena del incidente.
- El Agente del Ministerio Público (MP) de la Delegación de la Procuraduría General de Justicia (PGR) en la entidad.

También se recomienda que se establezca un mecanismo de coordinación de largo plazo entre todas las instancias relacionadas con el incidente, que se vea facilitado mediante el desarrollo y mantenimiento de una página Web protegida por contraseña¹², que contenga la siguiente información:

- Información proporcionada durante el primer reporte del incidente a través de la línea de emergencia de 24 horas.
- La información de contacto del causante del incidente, incluyendo sus representantes técnicos y legales (si se conoce).
- Información de contacto de cada una de las dependencias involucradas en la respuesta inicial o que participen en las actividades de seguimiento, tales como inspección, vigilancia, detención, enjuiciamiento, sanción, apoyo técnico, y emisión de permisos y autorizaciones.
- Información de contacto de todos los contratistas y sub-contratistas pertinentes.

Cada agencia debe ser responsable de ingresar y mantener actualizada la información de contacto que le corresponda, una vez que el personal de la línea de emergencia de 24 horas haya emprendido la coordinación inicial. La página Web debe ser operada y mantenida por la Dirección Regional de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

¹² Esta recomendación no implica el desarrollo de una página Web estructurada de tal manera que funcione como un administrador centralizado del incidente, o un almacén para todos los documentos asociados con él. Este formato de página Web no permitiría la necesaria confidencialidad asociada con los procedimientos jurídicos, y requeriría un esfuerzo permanente de mantenimiento. La página recomendada incluiría simplemente la información básica mencionada anteriormente.

■ Recomendaciones

Se debe establecer un proceso de certificación de contratistas a diferentes niveles, con base en criterios tales como su eficacia histórica (éxitos documentados), habilidad para trabajar eficazmente con el sector público, nivel de capacidad para llevar a cabo actividades específicas, títulos y otras certificaciones del personal, y equipos disponibles. Un proceso de certificación debe garantizar que los contratistas se encuentren capacitados de antemano para conducir labores de restauración. Esto debe abreviar los tiempos requeridos para la obtención de los permisos y autorizaciones requeridos para llevar a cabo los trabajos.

Se recomienda que los niveles y los tipos de capacidades de los contratistas sean los siguientes:

1) Apoyo Científico

Las actividades consisten en la administración de proyectos ambientales, evaluación de la escena, reconocimientos, mapeo, monitoreo, y reporte de actividades. Las capacidades instaladas para conducir estas actividades deben consistir en:

- Habilidad y experiencia probadas en la administración exitosa de proyectos y preparación de informes;
- Conocimiento del hábitat local específico, y los procesos ecológicos que lo regulan;
- Experiencia y conocimiento probados de la tecnología actual para reconocimientos, mapeo, evaluación, restauración y monitoreo en arrecifes de coral.

2) Asignación de Prioridades Biológicas

Las actividades incluyen la colocación, marcaje y resguardo de recursos bióticos,

en preparación de las actividades de restauración. Las capacidades instaladas para conducir estas actividades deben consistir en:

- Conocimiento del hábitat local específico, y los procesos ecológicos que lo regulan;
- Conocimiento específico y local de la función y los valores del hábitat arrecifal.

3) Reimplantación de Organismos

Las actividades consisten en la reimplantación de recursos bióticos, incluyendo (pero no limitándose a) el uso de cementos, epóxidos, alambre, ligaduras de cable, clavos y tornillos. Las capacidades instaladas para conducir estas actividades deben consistir en:

- Conocimiento del hábitat local específico, y los procesos ecológicos que lo regulan;
- Conocimiento específico acerca de las técnicas empleadas para manipular y fijar los tipos específicos de organismos involucrados en la asignación de prioridades;
- Conocimiento específico acerca de las buenas prácticas de manejo (BPM) requeridas para minimizar el impacto de las reimplantaciones sobre los organismos circundantes.
- Experiencia probada en la reimplantación de organismos.

4) Manejo de Escombros y Pedacería

Las actividades incluyen el retiro de escombros y su disposición final, la remoción y disposición final de pintura, la estabilización de pedacería, y la remoción y disposición final de pedacería. Las capacidades

instaladas para conducir estas actividades deben consistir en el conocimiento específico acerca de:

- la remoción segura y ambientalmente amigable, y la disposición final de escombros y pintura;
- técnicas y metodología ambientalmente amigables para la estabilización de escombros en un ambiente arrecifal;
- los requerimientos necesarios para la disposición final de escombros y pedacería;
- las buenas prácticas de manejo relacionadas con la remoción y transporte de pedacería de corales y escombros para minimizar los daños al medio ambiente circundante y los organismos que lo habitan.

5) Reparación de la Estructura Arrecifal

Las actividades entrañan la estabilización estructural y la reconstrucción. Las capacidades instaladas para conducir estas actividades deben consistir en:

- Conocimiento del hábitat local específico, y los procesos ecológicos que lo regulan;
- Conocimiento específico acerca de las corrientes y patrones de flujo que pueden afectar una estabilización exitosa y la reconstrucción de la estructura arrecifal;
- Conocimiento específico acerca de las buenas prácticas de manejo relacionadas con el uso de cementos, epóxidos, o cualesquiera otros agentes estabilizadores en el medio marino, para minimizar los daños al medio ambiente circundante y los organismos que lo habitan.

la certificación de laboratorios de calidad del agua, o despachos de impacto o riesgo ambiental. Es decir, la selección se debe llevar a cabo de tal manera que no quepa duda alguna acerca de la independencia del contratista con respecto de la autoridad; y por tanto, que no exista resquicio alguno para que se sospeche que la autoridad opera como “juez y parte”.

5.2 Obtención de Permisos y Autorizaciones

Los permisos y autorizaciones requeridos para conducir actividades de restauración, tanto primarias como compensatorias, dependen de la jurisdicción de las diferentes dependen-

cias involucradas, la identificación de la causa de los daños, la identificación de la parte responsable, y la naturaleza de la restauración primaria o compensatoria que se pretende llevar a cabo.

Las actividades de restauración requieren de autorización de la CONANP cuando el arrecife se encuentra dentro de un ANP, y la PR se encuentra anuente a emprenderlas.

5.3 Salvataje de la Embarcación

Cuando embarcación se ha visto envuelta en un evento que ha provocado daños a un arrecife, y ha quedado varada o encallada, la Capitanía de Puerto tiene la jurisdicción primaria sobre las operaciones de salvataje. Es, sin embargo, frecuente que sea la PR quien se haga cargo de las operaciones de salvataje, usualmente a través de la colaboración de un contratista que se supone especializado.

Históricamente, los daños colaterales a los recursos de un arrecife ocurren porque las compañías que llevan a cabo las operaciones de salvataje no emplean las técnicas adecuadas. Estos daños suelen ocurrir en el área que rodea a la embarcación, y pueden evitarse utilizando las técnicas de salvataje apropiadas. Las causas principales de los daños colaterales son la utilización de cables de acero para remolcar la embarcación, que entran en contacto con el fondo y desprenden recursos (organismos como corales, esponjas, y elementos estructurales del arrecife), y la turbulencia generada por las propelas de los remolcadores, que suspende sedimentos y desprende organismos.

Para evitar o minimizar estos daños colaterales se debe conducir un reconocimiento cuando la embarcación se encuentre todavía varada o encallada. A través de estos reconocimientos se evalúa el estado de los recursos del arrecife en el área inmediata a la embarcación, y se determina una ruta para su extracción. Se deben utilizar líneas flotantes, o provis-

Recomendaciones

La Capitanía de Puerto, dependiente de la secretaría de Comunicaciones y Transportes, y la SEMARNAT deben formular – con la participación de la CONANP cuando se trata de áreas protegidas – un proceso de emisión de permisos o autorizaciones para regular la restauración primaria, la compensatoria, y las actividades de monitoreo relacionadas con los daños a arrecifes de coral. Este proceso debe ser expedito, para facilitar una respuesta igualmente rápida, y debe incorporar condicionantes aprobadas por la autoridad competente, impuestas a todas las actividades de restauración primaria y compensatoria, y de monitoreo. Estos permisos o autorizaciones deben proporcionar a la Parte Responsable lineamientos que le indiquen como llevar a cabo las diversas actividades en forma apropiada, y deben proporcionar un recurso legal para la autoridad competente, en caso de que la PR no se apegue a las condicionantes de la autorización.



Encallamiento del buque Discovery.

Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

tas de flotadores, para evitar daños adicionales al arrecife, el combustible y la carga que contenga la embarcación se debe retirar, y las actividades de remolque se deben llevar a cabo durante la marea alta. Es necesario registrar las coordenadas GPS de la proa y popa de la embarcación, como elementos que contribuirán a la futura evaluación de los daños. También se debe rastrear mediante GPS la operación de todas las embarcaciones que participen de las operaciones de salvataje. Esto facilitará la identificación de los daños que se puedan suscitar durante la operación.

5.4 Remoción y Disposición Final de Pintura

Por lo general, la remoción y disposición final de la pintura no se encuentran reguladas si la pintura se encuentra ya aplicada y no está fresca o algo húmeda. Sin embargo, en ocasiones la disposición de las escamas de pintura, o del polvo de pintura, sí se regula. Las escamas o polvo de pintura se pueden considerar como desechos peligrosos si contienen plomo o cromo, y tendrían que ser dispuestas apropiadamente en alguna instalación autorizada para ese propósito. La pintura del exterior del casco por debajo de la línea de flotación generalmente contiene Tributilyn o cobre, ninguno de los cuales está clasificado como peligroso. Por tanto, no se requieren autorizaciones especiales para remover o disponer finalmente la pintura del exterior del casco por debajo de la línea de flotación.

Si la remoción de la pintura del casco del substrato sumergido, o la disposición final de las escamas de la pintura exterior del casco de una embarcación, fuese sujeta en el futuro a alguna regulación, la PR cargaría con la responsabilidad de acatar la ley y obtener la autorización requerida para llevar a cabo estas actividades.



Rescate de fragmentos de coral después del encallamiento del buque Discovery.

Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

5.5 Restauración primaria

La restauración primaria implica la realización de actividades diseñadas para restaurar los recursos del área donde ocurrió el daño. El contratista certificado, contratado por la PR, formula un programa de restauración primaria, y los técnicos de la dependencia responsable de la conservación y manejo del área lo dictaminan y aprueban, o solicitan modificaciones.

Las actividades de restauración primaria incluyen la reparación de la estructura arrecifal, y la restauración del perfil y rugosidad del arrecife previos al daño. Para esta actividad se pueden utilizar rocas y escombros provenientes del área dañada, donde esto resulte posible, para minimizar el uso de materiales artificiales. Las actividades de restauración también incluyen la reimplantación de los organismos que se hayan salvado, la estabilización y remoción de los escombros remanentes, y la remoción de la pintura y los restos del casco de la embarcación. Otras actividades propias de la restauración primaria pueden incluir el trasplante de corales cultivados en criaderos, hacia las áreas que hayan sufrido pérdidas significativas de coral.

5.5.1 Financiamiento

La parte responsable debe hacerse cargo del financiamiento de los trabajos de restauración del área. En situaciones en las que la PR no está en disposición de contribuir, o en sitios huérfanos, la dependencia responsable de la conservación y manejo del área carga con la responsabilidad de financiar –o no– las actividades de restauración. Dicho de otra manera, cuando se trata de un área protegida, y la parte responsable evade la acción de la autoridad, o elude de alguna forma su responsabilidad en la reparación del daño, la autoridad responsable de la conservación y manejo del área deberá considerar en su Programa Operativo Anual la aplicación de recursos para llevar a cabo acciones de restauración.

Recomendaciones

Los esfuerzos de restauración deben tener total acceso y habilidad para utilizar las fuentes de recursos financieros etiquetados para este tipo de actividades. El Congreso de la Unión, y las autoridades hacendarias, deben permitir el ágil acceso a recursos suficientes, y otorgar a la dependencia responsable la facultad de ejercer de manera flexible el gasto, de manera que pueda responder con rapidez a los daños a los arrecifes de coral; de otra forma, el potencial de estos ecosistemas para volver a su función y valor originales se ve considerablemente comprometida.



■ Coral fracturado a causa del encallamiento del Crucero Leward.
Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

En otro apartado de este manual se presenta una discusión más detallada acerca de los mecanismos de financiamiento, así como de la asignación y cuantificación de sanciones y obligaciones de financiamiento de acciones de reparación del daño a las PR no anuentes a colaborar.

5.5.2 No-Acción

Puede haber ocasiones en las que no se emprenda ninguna acción para restaurar un arrecife después de un incidente que le haya ocasionado daños. La opción de No-Acción sirve como un recurso de comparación con otros sitios sujetos a esfuerzos de restauración, y generalmente es un recurso extremo, cuando el financiamiento, o los recursos humanos o materiales disponibles, son insuficientes para emprender la restauración primaria de un sitio dañado. Normalmente se reconoce que la opción de No-Acción resultará en intervalos mayores para la recuperación del recurso, que los que se pueden alcanzar realizando actividades de restauración primaria. La opción de No-Acción supone que los procesos naturales de reclutamiento, colonización, y crecimiento de los recursos bióticos superarán los obstáculos que de otra manera se habrían eliminado a través de una acción de restauración primaria. Ejercer la opción de No-Acción puede incrementar los riesgos de daños a las comunidades de corales cercanas, si la estructura fracturada y la pedacería suelta que se encuentran en el sitio dañado generan condiciones inestables. Además, se debe tener en cuenta que, en algunas situaciones, el área dañada puede resultar tan peligrosa y de tan difícil acceso, que signifique un riesgo considerable para la vida y los recursos, de tal modo que la opción de No-Acción sea la mejor. En algunos casos, la naturaleza o la extensión del área dañada pueden resultar mejor adaptadas para recuperarse a través de procesos naturales que mediante otras actividades de restauración. Sin embargo, seleccionar la opción de No-Acción para la restauración primaria no sustituye la necesidad de evaluar los costos de la restauración compensatoria.

Determinación del impacto y los daños en el arrecife

6

Una vez que se ha reportado un daño a un arrecife, se ha declarado que la escena se encuentra segura, y se ha completado el proceso de colecta de evidencias, las dependencias involucradas conducirán una evaluación inicial de la escena. La meta de las dependencias consiste en restaurar la función y el valor de los recursos que se dañaron o se perdieron como resultado del incidente.

La evaluación inicial de la escena empezará a definir la extensión de la pérdida de las funciones y valores de los recursos, y proporcionará los datos preliminares necesarios para que las dependencias responsables del manejo desarrollen un programa primario de restauración. Para hacerlo, los expertos de las dependencias responsables efectuarán mediciones preliminares, identificarán los tipos de daños, y estimarán el número y los tipos de organismos dañados o desplazados, determinarán los límites de la superficie dañada, y documentarán los daños a través de diversas técnicas que incluyen la fotografía y la grabación de imágenes en video. El técnico jerárquicamente superior preparará un informe de evaluación de daños y lo presentará a las dependencias responsables. Éstas lo revisarán, y determinarán cuál debe ser la respuesta apropiada. Si se requiere un proceso de restauración primaria, las dependencias responsables enviarán una copia del



■ Colonias dañadas a causa del encallamiento del Crucero Leward.
Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP



■ Indicios en el arrecife a causa del encallamiento del Velero Puch.

Fuente: Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos / CONANP

informe a la Parte Responsable, como parte del proceso de aplicación de la normatividad.

6.1 Evaluación de la comunidad biológica afectada

Una vez que el área impactada ha sido delimitada, y se ha efectuado la evaluación primaria, el paso a seguir es la evaluación ecológica, que se lleva a cabo con el fin de tener un registro de las comunidades biológicas afectadas, la función ecológica de las estructuras y organismos que se han visto perturbadas, o que sufrirán algún impacto. Los resultados de una evaluación ecológica deberán contener la información suficiente para ser utilizados en los siguientes ámbitos:

- **Legal:** Con el propósito de determinar la multa o compensación ambiental. Dirigido a: PROFEPA, o PGR.
- **Social:** Con el propósito de difundir información acerca del impacto, y acerca de los daños al sistema y a las funciones ambientales. Dirigido a buzos, turistas, y público usuario del sistema.
- **Biológico:** Para tener un registro de la información biológica y los cambios en los componentes del sistema. Dirigido al Parque Nacional y a las instituciones involucradas con la generación y manejo de información científica (Bases de datos, etcétera).

6.2 Evaluaciones rápidas

Se han descrito protocolos que conjugan diversos métodos para las diferentes comunidades, y que han sido creados por universidades o fundaciones para los diferentes niveles de especificidad y formulados con diferentes objetivos. Algunos han sido generados para realizar evaluaciones de una sola vez, y otros para llevar a cabo monitoreos en el largo plazo, o para estimar procesos en una escala global. Los más utilizados en el Atlántico son AGRRA, MBRS y Reef Check. Estos tres procedimientos se describen a continuación:

6.2.1 AGRRA (mgg.rsmas.miami.edu/agrra)

El protocolo de evaluación rápida de arrecifes del Golfo y del Atlántico (Atlantic and Gulf Reef Rapid Assessment) tiene como objetivos:

- Tener una evaluación regional de la salud de los arrecifes en el Atlántico Oeste.
- Analizar los resultados y el desarrollo de una base de datos práctica comparativa de la condición de los arrecifes en múltiples escalas espaciales.
- Promover la transferencia de esta información al público en general, manejadores de áreas protegidas, funcionarios del gobierno, políticos, operadores turísticos y estudiantes.

Características:

- Programa para especialistas
- Nivel de especies



■ Buzo realizando videotransecto.
Fuente: CONABIO / Gilberto Acosta González

- Múltiples transectos (10 x 2 m) para cobertura, tamaño y condición de las especies de coral. Especialmente enfermedades, blanqueamiento, predación, sobrecrecimiento y mortalidad.
- Múltiples cuadrantes sobre los transectos para abundancia algal.
- Transecto de banda para abundancia de *Diadema*.
- Múltiples transectos para abundancia y tamaño de especies indicadores, número de jardines y número de damiselas.
- Buceo aleatorio para listado de especies comunes.

6.2.2 Reef Check (www.reefcheck.org)

El programa Reef Check fue desarrollado en el año de 1996 como un programa completamente voluntario para la comunidad, diseñado para medir la salud de los arrecifes de coral a escala global. Sus objetivos son:

- Educar al público y al gobierno acerca del valor de los arrecifes de coral y las crisis que enfrentan.
- Crear una red global de equipos de monitoreo, entrenados y dirigidos por científicos que regularmente monitoreen el arrecife.
- Facilitar el uso de la información colaborando entre los diferentes sectores, comunidad, gobiernos, universidades y empresas para diseñar e implementar soluciones ecológica y económicamente sustentables.



■ Buzo realizando un video transecto.
Fuente: CONABIO / Gilberto Acosta González

- Estimular acciones locales para proteger los arrecifes prístinos y rehabilitar los arrecifes dañados alrededor del mundo.

Características:

- Nivel de grupos, familias y especies indicadoras.
- Métodos fáciles de aplicar, identificaciones sencillas.
- Transecto de banda (20 x 5 m) para peces e invertebrados.
- Punto de intersección para grupos del sustrato.



■ Censador de corales.
Fuente: CONABIO / Gilberto Acosta González

6.2.3 SAM (www.mbrs.org.bz)

El Proyecto para el Sistema Arrecifal Mesoamericano desarrolló un Programa de Monitoreo Sinóptico especial para la región. El MBRS, por sus siglas en inglés, fue diseñado para el monitoreo a largo plazo, e incluye parámetros físicos y biológicos de tres componentes: Ecología de arrecifes, contaminación marina y oceanografía física. Fue creado con los objetivos de:

- Generar datos para el manejo.
- Crear una base de datos estandarizada con base en la web.
- Crear una base de datos regional y un sistema regional de información ambiental.

Evaluación

7

7.1 Evaluación del daño

“Una de las principales metas de un estudio de evaluación en campo consiste en comparar el estado de un sistema natural en presencia de una actividad, con el estado que habría presentado si esa actividad nunca hubiese acontecido”¹³. Es poco probable que las características de un sitio dañado se conozcan en detalle antes del impacto. Durante la evaluación de un daño se obtiene información para documentar el estado del área dañada, y de uno o varios sitios de referencia. Se asume que el estado del sitio de referencia, no dañado, es equivalente al que tendría el sitio dañado, si no hubiese sufrido el impacto. La diferencia entre las estimaciones de los sitios (dañado y no dañado) es la pérdida atribuible al daño. La definición de Osenberg y Schmitt considera los daños a partir del punto de origen de un incidente de contaminación; el impacto físico de una embarcación que encalla en un arrecife presenta consideraciones adicionales que no suelen encontrarse en un incidente típico de punto de origen: daños no ambiguos, un incidente que ocurre sin previo aviso, y la transformación física severa de grandes áreas.

¹³ Osenberg, C.W., R.J. Schmitt, 1996. Detecting ecological impacts caused by human activities. Pp. 3-16, in R.J. Schmitt and C.W. Osenberg (eds). Detecting ecological impacts: concepts and applications in coastal habitats. Academic Press San Diego.



Foto aérea de un encallamiento.
Fuente: National Marine Sanctuaries / Florida Keys

Los representantes de la dependencia responsable de la conservación y manejo, junto con el contratista de la PR, deben revisar la información preliminar colectada a lo largo del trabajo de evaluación inicial de la escena, para determinar los límites de la inspección y determinar los métodos más expeditos y precisos para evaluar los daños. Durante las últimas dos décadas se han empleado diversos métodos de evaluación de daños que pueden resultar apropiados para encarar futuros incidentes. Se han utilizado los datos aplicables de unidades de GPS, sistemas de rastreo de las embarcaciones, informes de inspección y vigilancia, y fotografías aéreas para definir el área potencial del daño. En encallamientos de embarcaciones mayores es frecuente encontrar surcos generados por el impacto del casco, surcos del arrastre de anclas, y del paso de las propelas a lo largo del curso seguido por la embarcación al entrar al arrecife, y al salir de éste. Los remolcadores pueden ocasionar daños adicionales durante el salvataje. A continuación se presenta una breve descripción de los métodos más comunes de evaluación, con comentarios acerca de su eficacia.

7.1.1 Fotografía Aérea

Las fotografías aéreas tomadas mediante vuelos de baja altura pueden ser una herramienta excelente para mapear áreas dañadas; sin embargo, se requiere que existan determinadas condiciones meteorológicas y de otro tipo. Estas condiciones incluyen: que el daño sea reciente y haya ocurrido a poca profundidad (menos de 15-20 m, dependiendo de la claridad del agua), el día en que se tomen las fotografías debe estar libre de nubes, y con vientos de baja velocidad, y el mar debe estar en calma, para que se reduzcan los reflejos. El área general del daño debe estar marcada por boyas y marcadores de escala que puedan resultar visibles en las fotografías. Las fotografías se deben tomar desde una altura tan baja como resulte práctico para conseguir la suficiente cobertura y resolución. Las fotografías se deben tomar perpendicularmente a la superficie del mar, para facilitar la toma de mediciones precisas de los daños, utilizando georeferenciación y SIG. Siempre resulta necesario colectar información in situ para documentar los daños que se aprecian en las fotografías aéreas.

7.1.2 Inspecciones Batimétricas y Sísmicas

Cuando ocurre un daño de gran magnitud, como el que puede generar el encallamiento de una embarcación mayor, es frecuente que existan pérdidas en el relieve estructural del arrecife, que son resultado del surco que abre a su paso el casco de la embarcación, que atraviesa y tritura el substrato del arrecife. Una inspección batimétrica puede aportar información acerca de las pérdidas topográficas que ocurren debido a este tipo de daño. Cuando resulta apropiado, se conducen inspecciones batimétricas después de un impacto, una vez que se ha concluido con las labores de restauración, y después de la estabilización o disposición final de la pedacería. Los sistemas batimétricos de haz único, haces múltiples, LIDAR, y LADS, el sonar de escaneo lateral, y los sistemas de imagen multispectral pueden aplicarse para realizar estas evaluaciones. Los transectos de inspección se deben planear con una superposición suficiente para asegurar una cobertura de inspección adecuada. Los datos batimétricos se deben georeferenciar mediante GPS Diferencial o WASS.

7.1.3 Adquisición de Datos *In Situ* Mediante Buceo

La fotografía aérea y las inspecciones batimétricas pueden resultar útiles para determinar el área total de los daños; sin embargo, en la mayoría de los casos se requiere una evaluación más detallada, y esto implica se realicen observaciones y mediciones *in situ* mediante buceo. Las áreas dañadas pueden ser mapeadas por buzos que recorran el perímetro arrastrando tras de sí una boya superficial. La boya se debe mantener lo más cerca posible a una posición sobre el buzo (la profundidad y las corrientes son limitantes para lograr esto). Cuando el buzo requiere que se registre una posición, debe sumergir la boya varias veces sucesiva y rápidamente para comunicarse con la embarcación de buceo. La embarcación registra la ubicación GPS de la boya. Es importante que el equipo de buzos y la tripulación de la embarcación registren la hora en que se llevó a cabo cada ubicación de la boya. Esto permite que las notas registradas por el equipo de buzos se coordinen con los puntos GPS registrados. Una modificación de este sis-



■ Técnicas de video transecto.
Fuente: National Marine Sanctuaries / Florida Keys

tema consiste en que el equipo de buzos arrastre una boya con un GPS adosado. La unidad de GPS se encuentra unida mediante un cable al buzo, que cuenta con un control a distancia. El buzo “dispara” la unidad de GPS para registrar las ubicaciones. También es importante que el equipo de buzos sincronice el reloj del GPS con el de los buzos, y que éstos registren la hora en que se fijó cada punto. Esto permite que las notas registradas por el equipo de buzos se coordinen con los puntos del GPS.

Debe llevarse a cabo una inspección sistemática con base en una red de transectos o cuadrantes en cada escena de daños. Se deben emplear métodos de cuadrantes cuantitativos (puntos de intercepción, estimación de número de células, etcétera) o transectos (puntos de intercepción en línea, adquisición continua de datos). Para documentar los daños o coleccionar información para la evaluación se utilizan cámaras.

Uno de los métodos utilizados para evaluar el área dañada es el conocido como “esqueleto de pescado”, explorado por J.H. Hudson, del Santuario Marino Nacional de Florida Keys (SMNFK). Este método incluye el tendido de una cinta de transecto (línea de base) a lo largo del eje más largo del área dañada, con transectos de muestreo tendidos a intervalos de 2 m, perpendiculares a la línea de base hasta los límites del área dañada. Los datos se reúnen para producir un mapa y la descripción del daño. Estos métodos se encuentran generalmente limitados a sitios dañados pequeños y medianos (por ejemplo, de menos de 150 m²).

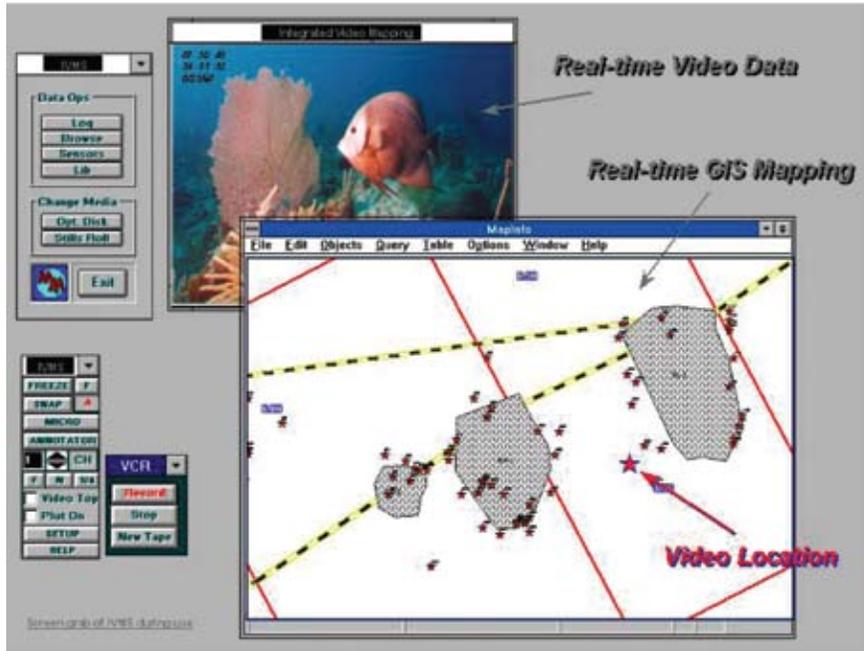
Sin importar qué método se adopte para llevar a cabo la evaluación, los datos de los daños se compilarán junto con mapas e imágenes, y se incluirán en el informe de daños.

7.1.4 Sistemas Integrados de Imágenes

Geográficas

Se han desarrollado varios sistemas integrados de imágenes geográficas aplicables a la evaluación del estado de salud de ecosistemas tales como los arrecifes de coral. Entre ellos se

encuentran el Sistema Integrado de Mapeo en Video (IVMS, por sus siglas en inglés), desarrollado por SeaByte, Inc., de Tequesta, Florida, y el Aqua Map^{MR}, un producto comercial.

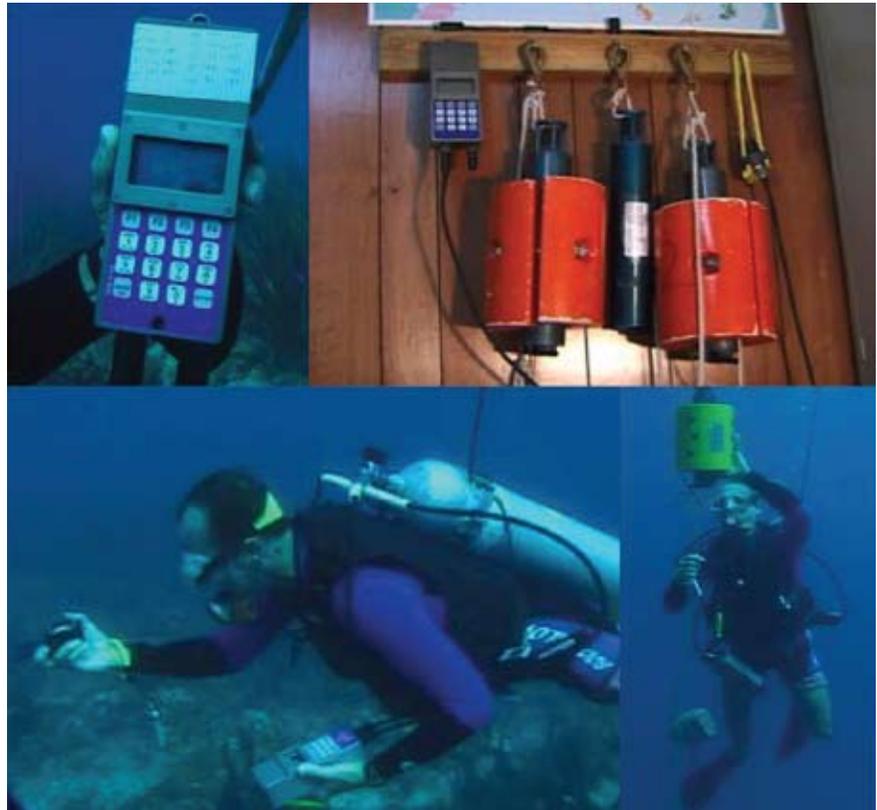


La Figura 11 muestra algunas características del IVMS. Un buzo con alimentación desde la superficie y un sistema de video cableado, montado sobre un casco de buceo, inspecciona sistemáticamente el área dañada. La cámara de video se enfoca en un objeto de interés, el buzo tira del cable de una antena de GPS colocada en una plataforma flotante sobre el área objetivo y se comunica a través de cable con el técnico que opera la computadora a bordo de la embarcación, y le instruye para que registre una coordenada GPS de un daño con determinadas características (especie, dimensiones, tipo de daño, etcétera). Se captura el video, y la coordenada GPS se superpone a la imagen. La aplicación de "software" (i. e., Hypack) registra los datos en un formato de mapeo. Una vez terminada la evaluación, los datos se utilizan para la elaboración de un mapa georeferenciado de daños. También se genera una tabla resumen de tipos de daños.

FIGURA 11

Imagen de una pantalla del IVMS (SeaByte, Inc.).

Fuente: Guidelines for Rapid Response to and Restoration of Coral Reef Injuries in Southeast Florida



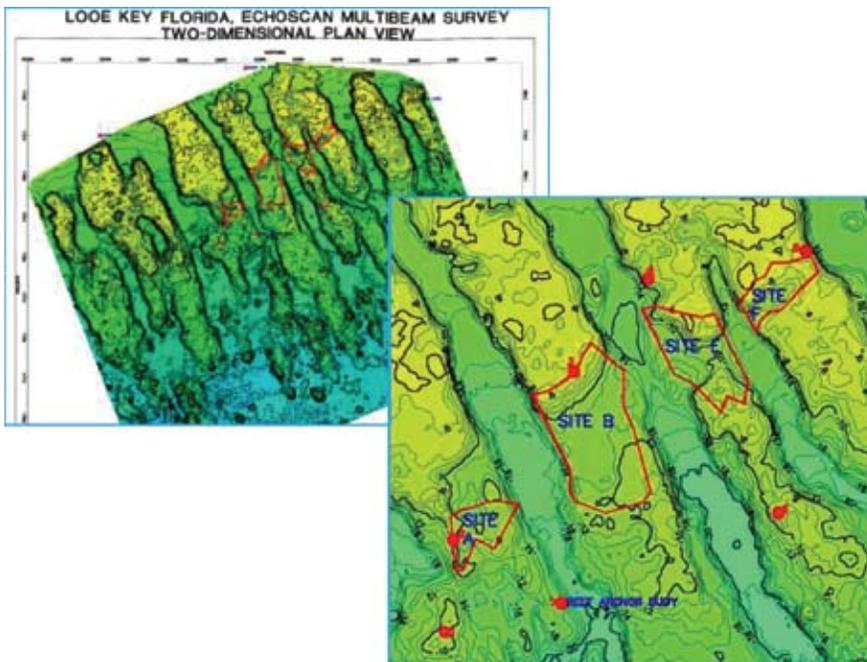
El Aqua Map^{MR} (Fig. 12) utiliza la triangulación sónica para mapear el área dañada. Este producto incluye tres transmisores acústicos que se distribuyen en los límites del sitio dañado (típicamente, en una configuración en forma de "L"). Las coordenadas del transmisor son capturadas y registradas mediante un GPS de alta resolución ubicado en la superficie. El buzo emplea un receptor acústico de computadora para adquirir datos acerca de los daños. Después de colocar un dispositivo manual sobre un daño, presiona una tecla para indicar un tipo de daño previamente programado. Esto también captura las señales de transmisión de triangulación para posicionar el daño. El buzo puede nadar por el perímetro del daño para determinar su superficie. Después de la inspección, la información se descarga a una computadora para generar un mapa y una lista de coordenadas y tipos de

FIGURA 12

Aqua Map^{MR}, un sistema comercial de mapeo subacuático.

Fuente: Guidelines for Rapid Response to and Restoration of Coral Reef Injuries in Southeast Florida

daños. Las limitaciones que presenta este sistema incluyen el hecho de que no resulta efectivo en aguas someras (de 3 a 5 m), y no es efectivo si hay estructuras entre el transmisor y el receptor, o si hay áreas distribuidas a lo largo de una gran extensión; los transmisores tendrán que ser redistribuidos para cada área que se encuentre a una distancia de 500 m o más de otra.



Típicamente, la evaluación incluye un mapa de SIG con polígonos dotados de códigos de colores para describir la relación espacial de los daños (Fig. 13).

Una vez que se ha completado la evaluación del daño, los responsables de la conservación y manejo del área verificarán los resultados mediante una inspección en campo. Estos datos serán la base para la programación y calendarización de la restauración primaria y compensatoria.

FIGURA 13

Mapa SIG del encallamiento de un barco en los Cayos de Florida. Las áreas marcadas en rojo son las zonas dañadas.

Fuente: Guidelines for Rapid Response to and Restoration of Coral Reef Injuries in Southeast Florida



Fragmentos de colonias coralinas.
Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

7.2 Evaluación de daños y efectos secundarios

Para esta etapa del proceso es necesario definir la información que requiere cada uno de los organismos gubernamentales involucrados, determinar qué porciones de esta información resultan importantes para sustentar los procedimientos legales, y establecer qué tipo de funciones ecológicas se pueden evidenciar a partir del tipo y magnitud del impacto. Por otra parte, es ideal tener información acerca del sitio antes de que suceda algún accidente (es importante contar con antecedentes) para poder comparar los datos obtenidos en el sitio del impacto con la situación anterior a que éste sucediera. En caso de que se carezca de esta información, debe reportarse la correspondiente al sitio más cercano donde se desarrolle un ecosistema semejante.

7.3 Elaboración del Reporte de evaluación y la denuncia

Una vez obtenidos los datos en campo se procede a la elaboración del "Reporte de la Evaluación" y a la elaboración de la denuncia, para poder proseguir con los procedimientos legales correspondientes. Esta evaluación es la base para los trámites legales a realizar por otras instituciones, por lo que es necesario que todos los datos que se proporcionen sean confiables y se encuentren descritos en registros gráficos que puedan ser verificables después de un tiempo. Si son evidencias que no podrán encontrarse exactamente igual en el área de impacto después de unos días, es necesario registrar de forma segura el más mínimo detalle y hacerlo notar.

El reporte debe incluir:

- 1) Un breve resumen
- 2) La descripción de la escena
- 3) La metodología empleada para evaluar la escena
- 4) Una relación pormenorizada de la evidencia colectada
- 5) Un esquema o croquis de la escena
- 6) La localización geográfica del evento
- 7) Actividades y análisis pendientes

7.4 Acciones emprendidas por dependencias distintas de la SEMARNAT, CONANP y PROFEPA

En el Anexo 1 se presentan los procedimientos que llevan a cabo las demás dependencias involucradas en los encallamientos en arrecifes. En el diagrama de flujo que conforma ese anexo se muestra el “estado del arte” en cuanto a los procedimientos emprendidos por las diversas autoridades que, en el caso de México, participan en los diferentes aspectos –jurídicos, administrativos y técnicos– que se deben encarar al atender casos de encallamientos. Como se puede apreciar en los apartados que anteceden, la mayor parte del trabajo posterior al encallamiento recae en la parte responsable, que en el mejor de los casos se hace cargo tanto del salvataje de la embarcación, como de la restauración del sitio, y en la autoridad a cargo de la conservación de los ecosistemas costeros y marinos (CONANP). Esta última instancia debe encabezar y coordinar un grupo de respues-

ta inmediata, cuya participación en la atención a impactos en arrecifes debe estar disponible de manera permanente y expedita.

Restauración primaria

8

Una vez que se ha llevado a cabo el trabajo correspondiente a la evaluación de los daños, y que se cuenta por tanto con una visión clara acerca de las dimensiones del impacto, y de las implicaciones que éste tiene para el diseño de una estrategia de restauración, la determinación de establecer un programa de recuperación sin intervención, los alcances de un proceso de monitoreo, una valoración económica verosímil de los daños sufridos por el arrecife, y –en algunos casos– la determinación de acciones compensatorias, a cubrir por la persona responsable del impacto, se está en condiciones de emprender las labores de la restauración primaria del arrecife dañado.

A la par que se emprende la restauración del sitio, se deben llevar a cabo las demás acciones, que no son precisamente secuenciales, y que –idealmente– se debieran emprender de manera simultánea o paralela.

En este sentido, es necesario establecer un programa de monitoreo en el corto, mediano y largo plazo (ver apartado 9.5); esto es, con base en la mejor información disponible acerca de las condiciones originales del arrecife, o bien asignando un área de control que permita comparaciones objetivas y sistemáticas, será necesario medir el éxito del establecimiento



■ Colonia fijada.

Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

de colonias nuevas de coral, el crecimiento de las existentes, y la presencia y abundancia de especies de organismos que permitan evaluar el estado de salud del sistema, y esta evaluación se debe llevar a cabo periódicamente con el propósito de determinar si el programa de restauración elegido resulta exitoso y en efecto contribuye a que las especies de corales y otros organismos que se encontraban presentes en las condiciones originales retornen al sitio

Tanto las autoridades competentes como la parte responsable del impacto deben realizar una valuación económica de los daños, que incluye no solamente la valoración de las pérdidas ocasionadas por el impacto en sí, sino una estimación de los daños económicos secuela de la necesidad de suspender por un periodo determinado el uso del arrecife y la apropiación de recursos provenientes de él, y un costeo de los trabajos de restauración y salvataje. Los métodos sugeridos para llevar a cabo esta valuación se describen en un apartado posterior.

También se debe determinar, cuando esto resulte necesario, o pertinente, el conjunto de medidas de mitigación compensatoria que retorne los recursos naturales a sus condiciones de línea de base (ver apartado 9.4), y que se deberá llevar a cabo bajo la responsabilidad de la parte responsable y la supervisión de las autoridades competentes (PROFEPA, y, en el caso de daños sufridos por arrecifes dentro de áreas protegidas, CONANP).

Un buen programa de restauración primaria permite que todas las partes involucradas entiendan claramente cuáles han sido los daños ocasionados al medio ambiente, y las tareas específicas que se deberán llevar a cabo para reducirlos o mitigarlos; cuenten con una calendarización de las tareas a desarrollar, conozcan la descripción de los procesos de restauración primaria que habrá que emprender, y tengan en sus manos la documentación para la elaboración de informes. Los programas típicos de restauración primaria incluyen:

- 1) Información básica acerca de la especificidad del incidente, incluyendo todos los reportes de las dependencias

encargadas de inspección y vigilancia, la información de contacto de la PR o su representante, el nombre y tipo de la embarcación, la fecha y ubicación del incidente, el rumbo de la embarcación, la profundidad, y una descripción general del hábitat dañado.

- 2) Evaluación de los daños. Describe los métodos utilizados para evaluar y mapear la extensión y el tipo de los daños.
- 3) Asignación de prioridades biológicas. Describe los métodos empleados y la programación para asignar prioridades a los organismos desplazados.
- 4) Remoción de escombros. Describe los métodos para la remoción y la disposición final de los escombros y sustancias tales como la pintura del casco.
- 5) Reparación de la estructura del arrecife. Describe los métodos que se emplearán para estabilizar o reparar los daños al sustrato.
- 6) Estabilización de la pedacería. Se discuten los métodos de estabilización de los trozos de corales en el sitio.
- 7) Remoción de pedacería. Describe los métodos de remoción y disposición final de la pedacería de coral que no se puede estabilizar in situ.
- 8) Reimplantación de organismos. Describe los métodos de reimplantación de cada categoría de organismos bentónicos.
- 9) Mapeo de los organismos reimplantados. Esboza el plan para mapear la distribución de los organismos reimplantados.
- 10) Calendario. Proporciona un calendario detallado de las tareas de restauración que habrá que emprender.
- 11) Informes o reportes. Se describe la periodicidad de entrega de los informes o reportes dirigidos a las dependencias involucradas, detallando los avances alcanzados en



■ Restauración posterior al encallamiento del buque Discovery. Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP



Encallamiento del buque Discovery.

Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

cada tarea, y los problemas o controversias que puedan retrasar la restauración.

Los puntos 1, 2 y 3 se han tratado ya en otros apartados y secciones de este manual, en virtud de que, en realidad, se trata de pasos previos al desarrollo de los trabajos de restauración propiamente dichos. Esta sección comienza, por tanto, examinando los procesos correspondientes a la remoción y disposición de los escombros generados por un impacto en un arrecife, tras una reflexión breve acerca de la necesidad de facilitar el amarre temporal de las embarcaciones que se emplearán en la restauración.

8.1 Amarre Temporal

En muchos casos, los esfuerzos de restauración de sitios que han sufrido daños en los arrecifes requieren la colocación de boyas de señalamiento y boyas de amarre temporal, para facilitar la presencia de las embarcaciones dedicadas a la restauración. No se requiere autorización para la colocación de boyas de señalamiento, que se utilizan regularmente durante las actividades de buceo científico, de inspección y vigilancia, y otras actividades laborales de buceo. Pero la CONANP, particularmente en aquellos arrecifes que se encuentran al interior de las poligonales de áreas naturales protegidas, debe emitir autorizaciones para la colocación de boyas de amarre temporal.

Recomendaciones

Se debe adoptar un proceso ágil para la emisión de autorizaciones para la colocación de boyas de amarre temporal en sitios donde se hayan dañado los arrecifes de coral en áreas naturales protegidas.

8.2 Remoción de Escombros

Con frecuencia, el encallamiento de una embarcación, o el proceso de salvataje, tendrá como consecuencia una acumulación de escombros en o cerca del arrecife. Estos escombros pueden incluir anclas, cables, o equipo similar, colocado

específicamente para facilitar la remoción de la embarcación, o pueden ser el resultado de pérdidas accidentales de equipo durante la operación de salvataje. De cualquier manera, los escombros significan una amenaza significativa para el arrecife, y deben ser retirados.



8.3 Disposición Final de Escombros

La disposición final de escombros ha demostrado ser causa de preocupación en los casos donde hay daños de grandes dimensiones asociados con el encallamiento de embarcaciones en arrecifes de coral. Los escombros pueden ser estabilizados y utilizados para la reparación de la estructura arrecifal; no obstante, se debe disponer de manera definitiva, o final, de los que no se utilicen. Los métodos utilizados para este propósito en el pasado han incluido la utilización de los sitios de disposición de materiales producto de dragados, y el establecimiento autorizado de arrecifes artificiales. Ninguna de estas opciones resulta apropiada, ya que los escombros asociados con los incidentes de daños a arrecifes no satisfacen la definición legal de material de dragado, y tampoco han sido específicamente designados para funcionar como hábitat de arrecifes artificiales.

■ Amarre de coral con cinchos de plástico.

Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

Recomendaciones

Una alternativa viable para encarar el problema de la disposición final de los escombros es la disposición tierra adentro, ya sea como material de relleno, o para utilizarlos en alguna actividad comercial. Los escombros utilizados para actividades comerciales deben ser previamente sometidos a pruebas que permitan asegurar razonablemente que el material no se encuentra contaminado.

8.4 Reparación de la Estructura Arrecifal

Cuando se tritura y fractura la estructura arrecifal se expone a la vista el material suelto que suele encontrarse en su interior. Lo mismo que la pedacería generada por el impacto, este material suelto y expuesto se puede desplazar, especialmente



Rescate de fragmentos.

Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

durante tormentas. Este material móvil puede incrementar el área dañada e impedir la recuperación, al reducir el reclutamiento natural o la supervivencia de los organismos reimplantados.

Las grietas más pequeñas en la estructura se pueden estabilizar utilizando cemento y materiales de refuerzo. El reforzamiento mecánico suele incluir varillas de fibra de vidrio y acero inoxidable. Los cráteres y fisuras más pequeños se pueden rellenar utilizando materiales de pedacera combinados con una mezcla de cemento. Si existen problemas ocasionados por las corrientes y la energía del oleaje, se puede colocar una lona o malla sobre el cemento, y asegurarla temporalmente mediante pesas de buceo, o sacos con arena.

8.5 Estabilización de la Pedacera

La estabilización de la pedacera es crítica para reducir los daños que se puedan producir a los recursos circundantes. Puede moverse muy fácilmente durante una tormenta, y destruir o dañar los organismos que se encuentren cerca de ella. Para evitar daños, la pedacera se debe estabilizar lo más posible. Esto se hace incorporándola a la estructura de tal forma que se limiten los movimientos que pueden ocasionar las tormentas y la energía del oleaje. La pedacera se puede adherir con cemento a las grietas o fisuras de la estructura, reduciendo así la cantidad de cemento requerida para repararla. Los surcos profundos en el substrato pueden rellenarse con pedacera y cubrirse con una capa de cemento o una lona o malla para evitar movimientos. En todos los casos, la estabilización de la pedacera se debe hacer de manera tal que se minimice su impacto en el hábitat circundante.

8.6 Remoción de Pedacería

Aunque es preferible incorporar la mayor cantidad posible de pedacería a la reparación in situ de la estructura arrecifal, puede resultar necesario retirar parte de ella del sitio. Cuando este es el caso, es responsabilidad de la PR, o de su representante, encontrar una ubicación adecuada y obtener los permisos necesarios para disponer de la pedacería en otro lugar. Los métodos de disposición final deben incorporarse en el plan inicial de restauración, de modo que puedan someterse a la autorización por parte de la autoridad responsable de la conservación y manejo del área.

8.7 Reimplantación de Organismos

La reimplantación de organismos es una forma apropiada de intensificar la recuperación de los arrecifes. Los corales duros reimplantados, así como otros organismos, en un área dañada, deben facilitar la recuperación rápida porque deben producir propágulos, algunos de los cuales podrían resultar reclutados en el área dañada. Los organismos colectados durante la asignación de prioridades biológicas se deben reimplantar en áreas que se encuentren estructuralmente íntegras, y se deben retirar de la arena y de las áreas afectadas por el movimiento de la pedacería. Debe intentarse devolver los organismos a sus profundidades originales. Lo ideal es que la meta de densidad de transplante (número de organismos/área de arrecife) resulte semejante a la densidad previa al impacto. Los datos obtenidos en los sitios de referencia (no dañados) se deben utilizar como referencia de densidad. Las opciones de mecanismos para reimplantar organismos en la estructura arrecifal incluyen cementos, epóxidos, ligaduras de cable, clavos, tornillos, o cualquier combinación entre ellos. Uno de los métodos más exitosos para reimplantar organismos, espe-

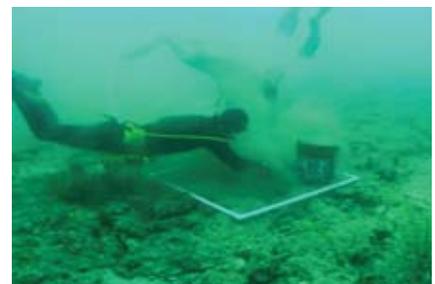


FIGURA 14

El cemento se transporta al sitio en cubos, y se utiliza para fijar corales duros en el sitio de restauración. En esta fotografía, el buzo está utilizando un cuadrante de 1 m² para facilitar la reinserción de colonias con la densidad deseada.

Fuente: Guidelines for Rapid Response to and Restoration of Coral Reef Injuries in Southeast Florida

cialmente cuando se trata de corales duros, es la utilización de cemento Portland, o una combinación de cemento Portland con arena y aditivos.

8.7.1 Corales Duros (Escleractíneos)

La forma más común de reimplantar corales duros consiste en utilizar cemento Portland, o de alguna mezcla de cemento Portland, arena y aditivos (Figuras 14 y 15). Otros métodos incluyen la utilización de epóxidos, tornillos, ligaduras de cable, y alambre de acero inoxidable. El uso de cable, alambre, o tornillos suele ocasionar algunos problemas o fracasos. La acción de las olas puede mover los corales, o estirar el alambre o las ligaduras; eventualmente, la superficie del coral sufre daños por abrasión, y no logra crecer y adherirse al substrato arrecifal.

La secuencia normal de la reimplantación implica posicionar las colonias (se asume aquí que los corales se pueden manipular con la mano) cerca del sitio de adhesión. Los sedimentos, películas de algas, y pedacería se limpian del punto de adhesión y de la porción basal del coral desprendido con un cepillo de alambre o de cerdas duras. Se coloca una masa de cemento en el punto de adhesión; el coral se coloca en el cemento, presionando hacia abajo cuidadosamente y girándolo levemente para maximizar el área de contacto. Se aplica cemento adicional alrededor de los bordes de la colonia. Si la corriente o el oleaje están ocasionando que se disperse el cemento, se pueden utilizar pesos blandos o tubos con arena para protegerlo hasta que fragüe. Las colonias de coral grandes, y los fragmentos que no se puedan mover a mano, se pueden mover utilizando bolsas que les brinden cierto grado de flotación para manipular la colonia hasta colocarla en el sitio deseado, después de los cual, la bolsa se desinfla. Una vez que la colonia o el fragmento de gran tamaño se ha colocado en la masa de cemento, se rellena el borde con cemento adicional, como reforzamiento. Pueden insertarse varillas de acero inoxidable, o de fibra de vidrio, en el cemento, para reforzar la instalación.



FIGURA 15

Ejemplo de la reimplantación con cemento de una colonia de coral duro.

Fuente: Guidelines for Rapid Response to and Restoration of Coral Reef Injuries in Southeast Florida

8.7.2 Octocorales (Gorgonáceos)

La reimplantación de los octocorales (abanicos de mar, plumas y látigos de mar) representa verdaderos retos (Fig. 16). El movimiento de las olas y corrientes tiende a reducir la estabilidad de las colonias mientras se endurece el material con que han sido reimplantadas. Cuando un octocoral permanece adherido a una pieza de sustrato desprendida (una roca), ésta – con el coral – se reimplanta utilizando cemento o epóxido. Se pueden emplear varios métodos para reimplantar colonias de octocorales. Si la colonia desprendida conserva una base sólida, se puede usar cemento o epóxido para reimplantarla. También se han utilizado clavos que atraviesan la base y llegan hasta el sustrato, como reforzamiento hasta que se endurece el material de reimplantación (se aplica cemento o epóxido entre la cabeza del clavo y la base de la colonia). Se pueden usar de manera temporal pesos blandos o sacos con arena para detener la colonia mientras se endurece el material de reimplantación. Cuando la colonia carece de pie o base, los métodos de reimplantación incluyen la utilización de un soporte estructural para el pedúnculo de la colonia. Se taladra un orificio de diámetro pequeño en la estructura del arrecife, se introduce el pedúnculo en el orificio, y se asegura con epóxido o cemento. En otro método se utilizan varillas delgadas de acero inoxidable, aseguradas al sustrato, y el octocoral se asegura a la varilla mediante sedal, ligaduras de cable, o cemento o epóxido. Los octocorales también se pueden reimplantar asegurando la colonia desprendida en pequeñas grietas o fisuras del arrecife. La colonia se introduce a presión en la grieta, junto con cemento o epóxido. Pueden utilizarse pequeños trozos de roca para llenar los huecos e incrementar el soporte de la colonia.



FIGURA 16

Ejemplo de una colonia de gorgonáceos reimplantada con cemento.
Fuente: Guidelines for Rapid Response to and Restoration of Coral Reef Injuries in Southeast Florida

8.7.3 Esponjas (Porifera)

La mayoría de los intentos que se han hecho hasta la fecha para reimplantar colonias o fragmentos de colonias de esponjas han fracasado. Las esponjas en forma de tubo o de dedo más pequeñas que se desprenden del sustrato pueden o no estar adheridas a una base de roca. Los fragmentos más pe-

queños se pueden asegurar en grietas y orificios sin utilizar adhesivos, y las que se aseguran a rocas pueden ser fijadas con cemento a la estructura. Esponjas como las “barril” o “mazo” (de los géneros *Xestospongia* y *Spheciospongia*) son mucho más grandes, y su reimplantación resulta más difícil. Los experimentos que se han hecho para reimplantarlas con cemento han arrojado resultados ambiguos. Asegurarlas al fondo de manera que queden bien incrustadas en el cemento resulta fundamental. Es muy común observar que la base cortada de una colonia de *Xestospongia* empieza a regenerarse pocas semanas después del incidente, mientras que la porción superior de la esponja cercenada se recupera muy lentamente, o no se recupera.

8.8 Elaboración de Mapas

Cada uno de los elementos de la restauración requiere ser sometido a procesos de inspección y monitoreo. Desarrollar un mapa que sirva como referencia para localizar los elementos es importante, y debe hacerse en concurrencia con las acciones de restauración. Por ejemplo, una vez que se han completado la reconstrucción y reimplantación en un área determinada, deberá mapearse con el suficiente nivel de detalle como para permitir la relocalización de todos sus elementos. Normalmente se instala en el sitio una serie de marcas codificadas de referencia (etiquetas o insignias). Cada marca debe ser georeferenciada mediante un GPS con una precisión mínima de ± 3 m. Los elementos restaurados, como elementos estructurales u organismos reimplantados, son referenciados (dirección y distancia) con relación a dos o más marcas. Eventualmente, estos datos se reunirán en tablas y mapas, y serán archivados por los responsables de la conservación y manejo del área para propósitos de monitoreo y evaluación de tendencias.



Buzos fijando coral.

Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

8.9 Elaboración de Itinerarios

El desarrollo de un itinerario para el plan inicial de restauración depende de la naturaleza y los alcances de los daños a los recursos, y se determina mediante la discusión y el consenso entre el contratista de la PR y el responsable de la conservación y manejo del área. Las preocupaciones por la seguridad, los retrasos por días de mal tiempo, y otros asuntos de carácter logístico se consideran de manera casuística.

8.10 Elaboración de Informes

Se espera que los contratistas entreguen informes de avance a los responsables de la conservación y manejo del área desde el inicio y hasta la terminación de las actividades de la restauración primaria. La frecuencia de estos informes será determinada por el responsable de la conservación y manejo del área.

Período posterior a la respuesta

9

Los alcances del período posterior a la respuesta se limitan a la evaluación de la restauración primaria, la mitigación compensatoria, monitoreo, y valoración de la sanción, pero pueden resultar el período más prolongado de cualquier proceso de restauración. La valoración de la sanción, por sí sola, puede llevarse varios años, debido a la naturaleza dilatada de los procesos judiciales, y el monitoreo del sitio del incidente de daños al arrecife puede continuar muchos años más allá del proceso judicial, y puede desencadenar nuevas actividades de restauración.



■ Colonia restaurada.
Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

9.1 Evaluación de la Restauración

Una vez que han terminado las actividades de restauración, la PR y el personal técnico adscrito al área por la autoridad correspondiente deben evaluar sus resultados. Esta evaluación debe dar cuenta de dos preguntas:

- 1) ¿Se completó con éxito el trabajo, de acuerdo con el plan propuesto?, y



■ Coral blando fijado.

Fuente: Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc / CONANP

2) ¿Es probable que el área dañada se recupere, con base en sus condiciones actuales y criterios históricos?

Si se encuentra que el trabajo presenta deficiencias, éstas se deben identificar y corregir.

La estabilidad y los atributos biológicos son fundamentales para reparar un arrecife utilizando materiales exóticos. Un huracán moverá virtualmente todo si la velocidad de los vientos supera los 161 Km./h, o si se desplaza muy lentamente (a 16 Km./h, o menos). Las tormentas tropicales que no alcanzan a ser huracanes, y los nortes, no desencadenan movimientos, salvo contadas excepciones.

Los atributos biológicos que más frecuentemente se toman en consideración para evaluar un procedimiento de restauración incluyen la riqueza de especies, homogeneidad, cobertura biológica, y semejanza con las comunidades del arrecife restaurado. Al inicio, a menos que haya habido un esfuerzo mayor de transplante, los componentes de restauración estructural tendrán un aspecto yermo. En un período que puede durar de un mes a un año, la recuperación se caracteriza por el crecimiento de colonias de algas sobre las rocas. Las esponjas suceden a las algas. Tras un período de dos a cinco años, el asentamiento de los corales empieza a avanzar, y se hace común la presencia de pequeñas colonias.

La evaluación típica compara los atributos biológicos y ecológicos del sitio restaurado con los de los sitios de referencia. El desempeño del programa de restauración se considera satisfactorio si los atributos biológicos equivalen o exceden a los de los sitios de referencia.

9.2 Evaluación de la Mitigación

Una forma de intentar determinar de mejor manera la naturaleza y la magnitud con que un programa de restauración puede significar una sustitución satisfactoria de un recurso que

ha sido dañado, que ha sido empleada en los Estados Unidos de Norteamérica, es a través del Análisis de Equivalencia de Hábitat (HEA, por sus siglas en inglés)¹⁶. En términos generales, el HEA aporta un medio para determinar el monto de restauración compensatoria que se requiere para proporcionar servicios equivalentes a la pérdida (provisional) de recursos naturales tras un impacto. El HEA utiliza un procedimiento de descuento para dar cuenta de la valoración de bienes, en el que el valor total del bien es igual al valor descontado del flujo futuro de todos los servicios provenientes del recurso natural, o del recurso compensatorio. El descuento se utiliza para determinar la valoración relativa de la pérdida o ganancia de servicios ambientales del sistema a lo largo del tiempo, en relación con la duración del análisis. En tal virtud, la aproximación del HEA se encuentra particularmente adecuada al análisis, porque se puede emplear para cuantificar la cantidad de pérdidas y ganancias de recursos y servicios en el tiempo.

9.2.1 Planteamiento

La restauración de recursos naturales que han sido dañados tiene por lo menos dos componentes integrales:

- 1) la restauración de los recursos dañados, con el propósito de permitir que recuperen –lo más posible– su línea de base original, lo que se conoce como restauración primaria, y
- 2) la creación de alguna forma de restauración compensatoria de la pérdida de recursos desde el momento del impacto hasta que los recursos puedan recuperar su línea de base original (o han alcanzado un cierto estado de equilibrio). Es deseable que las acciones de restauración compensatoria aporten recursos y servicios equivalentes a los que se perdieron o los que se generaban a nivel de la línea base. La magnitud de la restauración compensatoria propuesta debe ser suficiente para proporcionar un servicio igual al nivel de servicio perdido a causa del impacto.

En vista de lo dicho, es necesario cuantificar las pérdidas, y seleccionar las necesidades de restauración (tanto primaria como compensatoria). El planteamiento del HEA aporta un

¹⁶ Milon, J. Walter and Richard E. Dodge. 2001. Applying habitat equivalency analysis for coral reef damage assessment and restoration. *Bull. Mar. Sci.* 69: 975-988; Mazzotta, MJ, Opaluch, T. Grigalunas, T (1994) Natural resource damage assessment: the role of resource restoration. *Nat. Resources J.* 34: 153-178; Kohler, K.E. and R.E. Dodge, 2006 in press, Visual_HEA: Habitat Equivalency Analysis software to calculate compensatory restoration following natural resource injury, Proceedings, 10th International Coral Reef Symposium, Okinawa 2004; Unsworth, R. and R. Bishop. 1994. Assessing natural resource damages using environmental annuities. *Ecol. Econ.* 11: 35-41.

método para determinar la cantidad de restauración compensatoria a través del cálculo de la cantidad de restauración requerida para balancear la pérdida temporal de los servicios de los recursos naturales, desde el momento del impacto hasta la recuperación total de los recursos (o cierto estado de equilibrio). El monto, o la escala, de las acciones de restauración compensatoria, dependen del nivel que se alcance mediante la restauración primaria. En este caso, se considera que la restauración primaria involucra la asignación de prioridades biológicas, la reimplantación, y la recuperación natural.

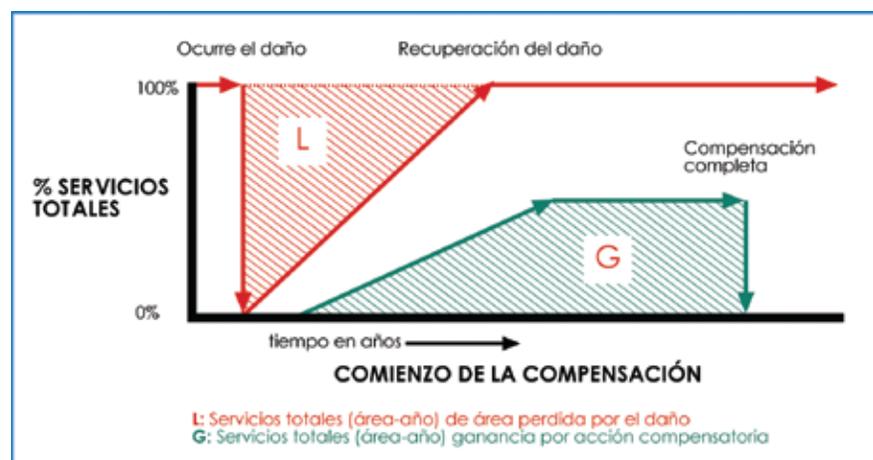
El HEA utiliza una aproximación de servicio-a-servicio para determinar la cantidad de restauración compensatoria requerida (Fig. 17). El HEA tiene la facultad de reflejar el valor relativo de los recursos en áreas dañadas y restauradas. Esta valoración relativa se verá reflejada en el cálculo de la magnitud del área sujeta a restauración compensatoria, requerida para balancear la pérdida de servicios en el área dañada. Así, el análisis de escala, o equivalencia, consiste en determinar la cantidad de restauración que proporciona una cantidad de sustitución de servicios descontados equivalente a la cantidad de servicios descontados perdidos a causa del impacto.

El planteamiento del HEA se encuentra particularmente bien adaptado para analizar la restauración compensatoria, por-

FIGURA 17

Ilustración de los daños y la restauración compensatoria. Los servicios biológicos inician en un nivel determinado, en este caso, 100%. Ocurre un impacto que los disminuye a 0%. Los daños se superan en el tiempo de manera lineal, hasta volver a alcanzar 100%. El área bajo L es la cantidad de servicios perdido en el tiempo. Con los parámetros de una acción compensatoria supuesta, el HEA calcula la cantidad de acción que se requiere para balancear los servicios perdidos. En la figura se ilustra una acción compensatoria que comienza cuando los servicios son 0%, y estos aumentan en el tiempo hasta 50%, lo que continúa durante un largo intervalo, después del cual cesa la acción compensatoria. El HEA proporciona la cantidad de acción compensatoria requerida para proveer los servicios ganados en G, que balancean los perdidos en L.

Fuente: Guidelines for Rapid Response to and Restoration of Coral Reef Injuries in Southeast Florida



que puede utilizarse para cuantificar la pérdida y la recuperación de recursos, y tiene integrado el factor tiempo. Un daño a recursos naturales involucra un componente temporal, durante el cual los servicios ambientales que esos recursos proveen se ven perdidos. Por tanto, el daño se debe cuantificar en términos de área dañada y del tiempo en el que los servicios resultarán inaccesibles. El HEA permite calcular la cantidad de restauración compensatoria que puede hacer retornar los servicios perdidos en un tiempo determinado. La aproximación del HEA requiere como insumos las dimensiones del área dañada, el tiempo de recuperación tras el daño, y el tiempo que el área sujeta a mitigación tardará en recuperarse (esto es, alcanzará a aportar la totalidad de los servicios ambientales que le corresponden). Con estos insumos, el HEA proporciona la magnitud del área que se debe sujetar a una mitigación compensatoria para reponer los servicios perdidos a causa del impacto.

En el paso siguiente, las dimensiones del programa compensatorio se calculan de modo que el incremento en servicios proporcionado por el programa de sustitución sea igual que la pérdida temporal total de servicios debida al impacto. Dado que las pérdidas y las ganancias ocurren en tiempos ligeramente distintos, las pérdidas y ganancias se descuentan de tal manera que las unidades reflejan su valor en el año en curso. "Los recursos naturales se pueden considerar como bienes naturales que proporcionan servicios a lo largo de su vida. Un principio fundamental de la valoración de bienes es que el valor total de un bien es igual al valor presente descontado del flujo futuro total de todos los servicios provenientes del recurso natural. ...De lo anterior se desprende que el valor de un recurso natural es el valor presente descontado del flujo futuro de todos los servicios que provienen del recurso natural"¹⁷. Este concepto de descuento se explica en función de la preferencia de un individuo por ciertos bienes y servicios en el tiempo. El descuento tiene en consideración que, cuanto más alejada en el futuro se encuentre la provisión de un servicio, menos se valorará en el momento actual. La tasa de descuento echa mano de las suposiciones comunes de que las personas valoran más los recursos disponibles en el presente de lo que lo harían si su disponibilidad se retarda hacia el futuro. Esto es análogo a un caso en que una persona deposita un

¹⁷ Scaling Compensatory Restoration Actions, Guidance Document for Natural Resource Damage Assessment Under the Oil Pollution Act of 1990, National Oceanic and Atmospheric Administration, Damage Assessment and Restoration Program, 1997.



Encallamiento del buque Discovery.
Parque Nacional "Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc"/CONANP

peso en el banco hoy, con una tasa de interés de 3%, tendrá \$1.03 en un año. Una persona estará dispuesta a depositar dinero a esta tasa de interés solamente si esto por lo menos igual a tener \$1.00 ahora. La literatura en economía respalda una tasa de descuento aproximada de 3%. El uso del descuento permite el cálculo algorítmico de superficies sujetas a compensación, dados tiempos específicos de recuperación.

9.2.2 Tipos de HEA

Se puede aplicar un HEA de paisaje al análisis de daños a recursos. Esto resulta útil cuando existen paisajes uniformes, que presentan pocas diferencias en cuanto a las funciones biológicas a lo largo de las áreas comparadas. En el método de paisaje se considera un organismo individual como representativo del hábitat de interés. Este puede ser, por ejemplo, una especie clave, como *Thalassia testudinum* en un hábitat de pastos marino, *Spartina alterniflora* en un humedal, o *Palaeomonetes pugio*, un camarón de pastos de mar, en una ciénega. Sin embargo, en otros casos, como cuando una comunidad arrecifal sufre un impacto, puede haber un conjunto de tipos de organismos indicadores (p. ej., corales duros, corales blandos, y esponjas) que coexisten en el mismo hábitat. Así, resultaría poco apropiado emplear la aproximación de paisaje, dado que los daños que sufre cada categoría de organismos no se pueden tomar como un indicador representativo de los daños a la totalidad del hábitat. En estos casos, la aproximación de paisaje puede no ser siempre la que dé mejor cuenta de los diversos arreglos de organismos presentes, cada uno de los cuales puede tener una tasa de recuperación diferente. En lugar de esto, se puede utilizar una aproximación poblacional del HEA, asignando el área dañada total en contribuciones iguales a cada categoría de organismo presente. Entonces, se calculan los HEA individuales para cada categoría.

9.2.3 Parámetros del Área Dañada

Los parámetros de daño que se enumeran a continuación son necesarios para elaborar un HEA simple:

- Nivel básico de servicios ambientales en las áreas dañadas antes y después del impacto.
- Extensión y naturaleza de los daños: la extensión espacial de los daños, y la reducción inicial del nivel de servicios, a partir de la línea de base en el área dañada (caracterizada como porcentaje de la línea de base de servicios). Estos parámetros se pueden combinar para medir las "hectáreas efectivas" de un impacto.
- Función natural de recuperación (mediante recuperación natural): la tasa de recuperación y el nivel de servicios que se pretende alcanzar, como porcentaje de la línea de base de servicios.
- Período de recuperación para los recursos dañados: la fecha en que comienza la recuperación, y cuándo se alcanzará el nivel máximo de servicios.

9.2.4 Parámetros del Área Compensatoria (o de Substitución)

A continuación se enumera la serie de parámetros de área que resultan necesarios para completar un HEA sencillo.

- 1) Nivel inicial de servicios aportados por el proyecto compensatorio en el proyecto de substitución (como porcentaje de los servicios básicos en un sitio impactado).
- 2) Función de madurez del proyecto de substitución: la tasa (incremental) de crecimiento de los servicios y el nivel máximo de servicios en el sitio de substitución (como porcentaje de la línea basal de servicios en un sitio dañado).
- 3) Período de maduración para los recursos de substitución: las fechas en que los servicios comienzan a aumentar, y cuándo se alcanzará el nivel máximo de servicios.



■ Encallamiento del buque Discovery. Parque Nacional "Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc"/CONANP



Fragmentos inmersos en el cemento.
Parque Nacional "Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc"/CONANP

- 4) Duración del proyecto de sustitución/creación: el tiempo de vida de los servicios incrementados.
- 5) Tasa de descuento (suele utilizarse la tasa anual de descuento real de 3%, sugerida por la NOAA, pero esto no es universal, ni obligatorio. Se debe tener cuidado en el momento de elegir una tasa de descuento).

9.3 Mitigación Compensatoria

El propósito de la mitigación compensatoria es compensar la pérdida de recursos dañados, de tal manera que se beneficie el tipo de recurso impactado. Hay muchas acciones que pueden aportar una mitigación compensatoria para los daños a los arrecifes de coral. Algunas de ellas incluyen estudios especializados, proyectos especiales, y adquisiciones de equipo que puedan beneficiar directamente a los recursos arrecifales dañados, mejorando las actividades de protección y conservación.

9.4 Restauración Compensatoria

La restauración primaria se esfuerza por retornar los recursos naturales a su condición de línea de base (la condición que tenían antes del impacto). La restauración compensatoria retribuye al público la pérdida temporal de servicios ambientales desde el momento del impacto, hasta que la recuperación natural regrese los recursos a su línea de base. Después del impacto, la restauración primaria puede tratarse de salvar organismos, especialmente corales escleractíneos, reimplantar organismos, retirar escombros y pedacería de las áreas arrecifales, y utilizar rocas de gran tamaño generadas por el

impacto para restaurar la estructura arrecifal. Sin embargo, la restauración primaria no siempre alcanza un retorno a la situación basal. El siguiente paso indicado por la lógica consiste en seguir con la restauración compensatoria para proporcionar servicios ambientales que compensen los que se perdieron a causa del impacto.

Hay una literatura considerable que trata de cómo llevar a cabo estos procedimientos (Sheppard, Hoppe, Yoshioka y Yoshioka, Mazzotta et al., Jaap, Gilliam et al., Milon and Dodge, Dodge, Moyer et al., Dodge and Kohler, y Jaap, et al)¹⁸. El proceso entraña alcanzar una concurrencia entre todas las áreas dañadas, establecer el tiempo de recuperación para cada una de las categorías de daño, y determinar qué proyectos deben emprenderse para llevar a cabo una restauración compensatoria.

Los datos de daño se usan para determinar la pérdida de servicios ambientales. Los insumos del HEA incluyen la superficie dañada, que puede dividirse en sub-unidades de recursos, el año en que ocurrió el daño, el nivel de los servicios en equilibrio, las características de los cambios en los servicios en función del tiempo, y la tasa de descuento.

El HEA aporta un marco de referencia analítico estructurado para que los científicos dedicados a la restauración, y los responsables del manejo de áreas marinas, especifiquen cuáles son los parámetros de recuperación esperados, y puedan comparar entre sí las diferentes alternativas de restauración. La recuperación natural de áreas severamente dañadas (enterradas y trituradas) dependerá del asentamiento de larvas y su posterior crecimiento. El tiempo estimado para la recuperación de esponja, octocorales, y corales duros, hasta que alcancen el estado que tenía previo al daño abarca de años a siglo, dependiendo de la magnitud del impacto y el tipo de organismo.

Organismos determinados, o alguna comunidad de organismos, pueden emplearse como un representante de la recuperación de un arrecife. Debe cuidarse que las unidades seleccionadas para medir la recuperación representativa de un arrecife reflejen adecuadamente las funciones y valores de

¹⁸ Sheppard, C (1982) Coral population on reef slopes and their major controls. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 7, 83-115. Hoppe, WF (1988) Growth, regeneration and predation in three species of large coral reef sponges. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 50 (1-2): 117-125. Yoshioka, PM, Yoshioka, BB (1991) A comparison of the survivorship and growth of shallow-water gorgonian species of Puerto Rico. *Mar. Ecol. Prog. Series.* 69, 253-260. Mazzotta, M.J., Opaluch, T., Grigalunas, T. (1994). Natural resource damage assessment: the role of resource restoration. *Nat. Res. J.* 34: 153-178. Fonseca, M., Julius, B., Kenworthy, W. (2000). Integrating biology and economics into seagrass restoration: how much is enough and why? *Environ. Eng.* 15: 227-237. Jaap, W.C. (2000). Coral Reef Restoration. *Ecol. Eng.* 15: 345-364. Gilliam, D.S., Thornton, S.L., and Dodge, R.E. 2001. One-Year Post-Baseline Monitoring and Assessment of Coral Reattachment Success and Coral Recruitment, at the C/V Hind Grounding Site, Broward County Florida. Report submitted to the Florida Fish and Wildlife Commission, Florida Marine Research Institute, 38 pp. Milon, J.W., Dodge, R.E. (2001). Applying habitat equivalency analysis for coral reef damage assessment and restoration. *Bull. Mar. Sci.* 69(2): 975-988. Dodge, R.E. (2002). An application for calculating Broward near-shore mitigation amount. Technical report. National Coral Reef Institute, Nova Southeastern University Oceanographic Center. 9 pp. Moyer RP, Riegl B, Banks K, Dodge RE (2003) Spatial patterns and ecology of benthic communities on a high-latitude South Florida (Broward County, USA) reef system. *Coral Reefs* 22(4):447-464. Dodge, RE, Kohler, K (2004). Visual_HEA-Habitat Equivalency Software Visual_HEA: Habitat Equivalency Analysis Software to Facilitate Calculation of Compensatory Restoration following Natural Resource Injury National Coral Reef Institute, Nova Southeastern University Oceanographic Center. 7 pp. Jaap, W.C., Hudson, J. H., Dodge, R.E., Gilliam, D.S., and Shaul, R. (2006). Coral Reef Restoration with Case Studies from Florida. Pgs 478-514, In: *Coral Reef Conservation*, Cote, I.M. and Reynolds, J.D., Eds. Cambridge University press, Ny, NY, 568 pp.

los servicios perdidos debido al impacto, y la recuperación de esos servicios. Los organismos que funcionan bien como organismo representativos son generalmente aquéllos que contribuyen de manera significativa a la construcción del hábitat, o que otorgan apoyos a otras especies del arrecife. Los organismos representativos pertinentes son los creadores importantes del hábitat, que proporcionan un refugio especializado (frecuentemente simbiótico) Para muchos otros organismos. Tras la pérdida de los organismos hospederos, la recuperación de los simbioses dependerá en gran medida de la recuperación de organismos tales como las esponjas, los octocorales y los corales escleractíneos que generan sus nichos especializados.

Se supone que otras poblaciones (de crustáceos, moluscos, equinodermos, etcétera) se recuperarán en rangos de tiempo semejantes a los que se reportan para los organismos representativos. La fauna móvil repoblará el área en función de su necesidad de obtener refugio y alimentos, una vez que tanto uno como los otros sean de nuevo accesibles.

9.5 Programa de Monitoreo

El monitoreo del sitio debe tener una escala temporal similar a la de la recuperación potencial completa. Por ejemplo, si se espera que el sitio se recupere en diez años, el monitoreo debe estar programado para ese período, con un muestreo más intensivo al inicio, y un esfuerzo más ligero hacia el final. El monitoreo es la única manera de medir el éxito de la restauración, documentar situaciones y tendencias, y corregir problemas. Cualquier proyecto que amerite un proceso de restauración, merece la elaboración de un componente de monitoreo que permita apreciar tendencias.

Aunque cada programa de monitoreo está “hecho a la medida” para encarar cada impacto individual, hay varios elementos que son comunes a la mayoría de los programas. Los

mapas, informes y tablas producidos durante las actividades de restauración son usados para identificar los elementos del programa de monitoreo. Comúnmente, el diseño experimental consiste en llevar a cabo mediciones repetidas de los elementos restaurados y las áreas de referencia. El principio general establece que el sitio (o los sitios) de referencia representa(n) las condiciones del sistema previas al impacto. A medida que pasa el tiempo, se asume que la calidad y cantidad de los sitios de un área impactada tenderán a mejorar y parecerse cada vez más a los sitios de referencia o control. Habrá eventos estocásticamente determinados que resulten en cambios que tendrán una influencia casi idéntica sobre los sitios impactados y los sitios de referencia. Se supone que las condiciones ambientales en ambos tipos de sitio son equivalentes.

Se debe desarrollar una programación de muestreo que contemple el tiempo estimado de recuperación como el principal componente para determinar el final temporal del proceso. La colecta de muestras se debe cargar más hacia el monitoreo del inicio del proceso de recuperación, y menos hacia el final.

Los responsables de la conservación y manejo del área deben ser los conductores del programa de monitoreo. La responsabilidad del muestreo es comúnmente la responsabilidad del contratista de la PR; no obstante, el responsable de la conservación y manejo puede elegir llevar a cabo procesos adicionales de muestreo.



■ Fijación del fragmento.
Parque Nacional "Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc"/CONANP

9.6 Reconstrucción y Estabilidad Estructural

La principal preocupación que acompaña a todos los aspectos de la remoción de escombros, reparación de la estructura, y reconstrucción de la estructura, es que hay que



Rescate de corales.
Parque Nacional "Costa
Occidental de Isla Mujeres, Punta
Cancún y Nizuc"/CONANP

lograr que estos elementos permanezcan estables, y que no sucedan desplazamientos o derrumbes estructurales. Los métodos empleados para asegurar que se mantenga la estabilidad incluyen la realización de observaciones de los elementos restaurados y la comparación con puntos de referencia, perfiles batimétricos y sísmicos, o la comparación de imágenes fotográficas o de video a lo largo del tiempo. Cualquier cambio en la estabilidad estructural debe ser reportado de inmediato al responsable de la conservación y manejo del área.

9.7 Mediciones Biológicas

En este sentido, las áreas más interesantes son las que corresponden a la supervivencia, salud, y crecimiento de los organismos transplantados, y la supervivencia y crecimiento de las plantas y animales que son naturalmente reclutados en los sitios dañados del arrecife. En el caso de los trasplantes, se selecciona y se marca una muestra de los organismos transplantados, para monitorearlos y determinar su supervivencia, salud, y crecimiento. Es frecuente encontrarse con que hay dos o tres especies que cuentan con los individuos suficientes como para conformar una muestra robusta que permita la puesta en prueba inferencial de hipótesis: se supone que los corales transplantados se encuentran tan estables como –y que sus tasas de crecimiento son similares a- las de los corales de referencia. También habrá numerosas especies que cuenten con solamente unos cuantos especímenes en los sitios donde ha ocurrido el impacto. En este caso puede resultar posible confirmar la supervivencia y el crecimiento, pero puede ser imposible comparar estos parámetros en un formato estadísticamente significativo. Los estudios más recientes echan mano de la fotogrametría para evaluar el crecimiento. Se examina una fotografía digital utilizando la planimetría para determinar el tamaño del área. Se coloca la cámara en un tripié o punto fijo para fijar la distancia focal, y se señalan con etiquetas u otro tipo de señales las distancias entre la

cámara y el coral. Una serie de fotografías y mediciones del mismo coral deben arrojar estimaciones acerca de su crecimiento. Además, las fotografías aportan información acerca del blanqueamiento, enfermedades competidores y condiciones generales del coral.

9.8 Preparación de Informes

Normalmente, la toma de muestras para un monitoreo de largo plazo incluye un censo de los parámetros biológicos y de una selección de parámetros ambientales, en el sitio restaurado y el de referencia. A medida que pasa el tiempo, cambiará la abundancia, diversidad, densidad y frecuencia en la ocurrencia de especies de flora y fauna en el sitio impactado. Parámetros ambientales como la rugosidad y la complejidad también pueden cambiar. Las diferencias de estos parámetros entre el sitio restaurado y el de referencia determinarán el grado de éxito de los esfuerzos de restauración.

Los datos se obtienen según un itinerario previamente acordado, y después se analizan. Comúnmente, el análisis incluye una comparación estadísticamente válida entre los parámetros del sitio restaurado, y los del sitio de referencia, y con una perspectiva temporal. Se debe preparar un informe después de cada muestreo. El responsable de la conservación y manejo del área puede convocar reuniones y acudir a visitas de campo para verificar los hallazgos del monitoreo. Los informes deben incluir un resumen de todos los hallazgos, además de copias de todos los datos relacionados con el trabajo de monitoreo, incluyendo documentación fotográfica y videográfica.

Recomendaciones

La autoridad encargada de la conservación y manejo de los arrecifes de coral debe desarrollar un procedimiento normativo para la valoración de sanciones, de tal forma que dote explícitamente de autoridad a cualquier oficial de las dependencias que comparten jurisdicción en estos ecosistemas para ejecutar las previsiones jurídicas del caso.

9.9 Valoración de la Sanción

La valoración de las sanciones se puede dividir en cuatro partes:

- 1) la existencia de leyes y reglamentos que establezcan con claridad qué infracciones son punibles,
- 2) la existencia de leyes y reglamentos que establezcan las penas para esas infracciones,
- 3) la capacidad de imponer sanciones mediante la actuación de oficiales de las dependencias que comparten jurisdicción sobre los ecosistemas arrecifales, y
- 4) la seguridad de que los responsables de la conservación y manejo de las áreas con arrecifes de coral tengan la capacidad de cobrar las sanciones de tal manera que resulten suficientes para reparar el daño generado por el incidente o impacto.

Una de las opciones para encarar los efectos de los impactos en áreas arrecifales consiste en utilizar técnicas de restauración para acelerar su recuperación. Entre las diferentes técnicas existentes se encuentra la del trasplante de corales, y particularmente la fijación de las colonias fragmentadas por algún accidente o fenómeno natural, como las tormentas. Los programas de trasplantes tienen varios beneficios, entre los cuales se pueden mencionar el incremento en la cobertura de tejido vivo, un posible incremento de larvas de coral en la temporada de reproducción debido a la mayor cantidad de colonias de coral, la recuperación acelerada de los microhábitats para diferentes especies que viven en el arrecife, rehabilitación de áreas utilizadas por el turismo, recuperación de la rugosidad y refugio para especies del arrecife. Estos programas deben contar, además, con un seguimiento basado en un programa de monitoreo, de manera que se pueda evaluar el éxito del trasplante y los cambios en el área afectada.



Fragmentación de una colonia donadora.
Parque Nacional "Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Nizuc"/CONANP

En el Anexo 3 se presenta una discusión a detalle de la propuesta de protocolo para la valoración económica derivada de los daños ambientales que causan los encallamientos o varamientos en arrecifes de coral, que permite contar con una metodología estandarizada para determinar la magnitud de las sanciones o de los costos de reparación o compensación de los daños, de modo que se cuente con un sustento sólido que reste incertidumbre y discrecionalidad, y aporte transparencia a los procesos jurídicos y administrativos consecuentes a los impactos.

**AQUI VA DIAGRAMA DE
FLUJO DESPLEGABLE**

Anexo 2

FORMATOS Y EJEMPLOS PARA LA PREPARACIÓN DE INFORMES Y REPORTES

PRIMER REPORTE DE EVENTO DE DAÑO

1) En el caso de incidentes que involucren la pérdida de vidas, daños mayores, o pérdidas económicas significativas, se debe comenzar por una declaración empática: _____

2) Datos clarificadores (reporte únicamente hechos VERIFICADOS, no los incluya si no tiene plena certidumbre de su veracidad).

Quién (nombre de la embarcación y el patrón): _____

Qué sucedió: _____

Dónde: _____

Cuándo: _____

Por qué: _____

Cómo: _____

3) Lo que no se conoce: _____

4) Lo que se hizo para obtener respuestas: _____

5) Declaración de la disposición de la parte responsable para contribuir a la reparación del daño: _____

Referencias (De contar con ellas, omítalo si no se encuentran disponibles): _____

Datos para obtener información adicional (información de contacto de la parte responsable):

Fecha de la próxima reunión de acuerdos con la parte responsable: _____

Por último, revise su reporte para verificar que cuenta con las siguientes características:

- Propone acciones concretas.
- Está escrito de una manera abierta y honesta.
- Se informa en primera persona del plural ("nosotros", en lugar de "yo").
- Sea cauteloso con las promesas precipitadas (¿de verdad puede hacer lo que propone?).
- Evite utilizar jerga técnica o científica oscura.
- Evite utilizar enunciados que emitan juicios morales o de valor.
- Evite el humor.
- Evite las especulaciones exageradas.

Entregado: _____

Hora _____ Fecha _____

REGIÓN: <input type="checkbox"/> ESTADO <input type="checkbox"/> MUNICIPIO <input type="checkbox"/> ANP <input type="checkbox"/> OTRA		REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA PARA INVESTIGACIÓN MARINA		FOLIO NOMBRE DEL LUGAR	
		FECHA DE COLECTA O REQUISA (día/mes/año):			
		HORA DE COLECTA O REQUISA (formato de 24 horas):			
		MUESTRA/EVIDENCIA/PROPIEDAD COLECTADA/REQUISADA POR:			
NOMBRE DEL CASO Y COMENTARIOS GENERALES		ORIGEN DE LA MUESTRA/EVIDENCIA/PROPIEDAD (persona y/o lugar) <input type="checkbox"/> COLECTADA EN: <input type="checkbox"/> TOMADA DE: <input type="checkbox"/> RECIBIDA DE: <input type="checkbox"/> ENCONTRADA EN: <input type="checkbox"/> OTRO:			
GPS DE RUTA (cuando resulte aplicable):			PROFUNDIDAD:		
POSICIÓN GPS:			NÚMERO DE INMERSIÓN(O NÚMERO DE TRANSECTO):		
ARTÍCULO NÚMERO:	DESCRIPCIÓN DE LA EVIDENCIA/PROPIEDAD/MUESTRAS (incluyendo el número de etiqueta, etc.)				
ARTÍCULO NÚMERO:	DE: (nombre y dependencia)	FIRMA DE ENTREGA:	FECHA DE ENTREGA:	ENTREGADO MEDIANTE:	
	PARA: (nombre y dependencia)	FIRMA DE RECEPCIÓN:	FECHA DE RECEPCIÓN:	<input type="checkbox"/> SERVICIO DE MENSAJERÍA <input type="checkbox"/> ENTREGA PERSONAL <input type="checkbox"/> OTRO:	

DEPENDENCIAS PRESENTES EN EL LUGAR: _____ _____ _____	FORMATO DE DIAGRAMA DE LA ESCENA DE IMPACTO EN ARRECIFE DE CORAL		NOMBRE DEL LUGAR:
			FOLIO:
NOMBRE DEL CASO:	FECHA (día/mes/año):	ARRECIFE:	
	HORA DEL INCIDENTE (formato 24 horas):	DIAGRAMA ELABORADO POR:	
LOCALIZACIÓN DEL EVENTO:			
			DIRECCIÓN EN EL COMPÁS:
EL DIAGRAMA NO ESTÁ ELABORADO A ESCALA			
LISTA DE VERIFICACIÓN:		LEYENDA:	
<input type="checkbox"/> DIRECCIÓN EN EL COMPÁS <input type="checkbox"/> ÁREAS DAÑADAS <input type="checkbox"/> REFERENCIAS FISIGRÁFICAS <input type="checkbox"/> RECURSOS AMENAZADOS			

Reporte elaborado por:		FORMATO DE REPORTE INICIAL DE UN INCIDENTE EN ARRECIFE DE CORAL		REGIÓN:	
NOMBRE:	FECHA:			FOLIO:	
DEPENDENCIA: HORA:		FECHA DEL INCIDENTE (día/mes/año):		NOMBRE DEL LUGAR:	
Vía de reporte:		HORA DEL INCIDENTE (formato 24 horas):		UBICACIÓN DEL INCIDENTE:	
<input type="checkbox"/> TELÉFONO <input type="checkbox"/> CORREO DE VOZ <input type="checkbox"/> RADIO <input type="checkbox"/> CORREO ELECTRÓNICO <input type="checkbox"/> OTRO _____		Áreas afectadas:			
PERSONA QUE REPORTA			PERSONA U ORGANIZACIÓN PRESUNTAMENTE RESPONSABLE		
NOMBRE:		TELÉFONO:		NOMBRE:	
		TELÉFONO CELULAR:			
ORGANIZACIÓN:					
DIRECCIÓN:		CORREO ELECTRÓNICO:		TIPO DE ORGANIZACIÓN:	
CONDICIONES METEOROLÓGICAS EN EL LUGAR:			DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO:		
CONDICIONES DEL AGUA EN EL LUGAR:			CONDICIONES DEL OLEAJE:		
MATERIAL DERRAMADO		CANTIDAD		Descripción del incidente:	
<input type="checkbox"/> ACEITE (TIPO):					
<input type="checkbox"/> QUÍMICOS:					
<input type="checkbox"/> MATERIA ORGÁNICA: a) Tipo b) Tipo					
<input type="checkbox"/> SEDIMENTO: <input type="checkbox"/> TERRESTRE <input type="checkbox"/> MARINO					
<input type="checkbox"/> OTRO:					
EMBARCACIÓN					
NOMBRE:					
TIPO:		AÑO:			
MARCA:		ESLORA:		COLOR:	
MATRÍCULA:					
MOTOR:		CANTIDAD DE COMBUSTIBLE:			
		OTRAS CANTIDADES:			
PROPIETARIO:		TELÉFONO:			
DIRECCIÓN:					
Disposición (de la parte responsable):					CASO #:
FECHA DE ASIGNACIÓN:		HORA DE ASIGNACIÓN:		OFICIAL ASIGNADO:	
DEPENDENCIA QUE RESPONDE INICIALMENTE:					
CITATORIO/ARRESTO #:			OTRAS ACCIONES:		FECHA DE CIERRE DEL CASO:
FECHA DEL CITATORIO/ARRESTO:					

Anexo 3

Método para la valoración económica de los arrecifes de coral para el establecimiento de compensaciones por daños ambientales

1 Introducción

1.1 Elementos para una Economía de las Áreas

Naturales

El entorno natural que sustenta nuestras actividades productivas puede entenderse como capital natural o capital ecológico, que ofrece un flujo de bienes y servicios ambientales proporcional a su acervo y calidad. Si el consumo o el daño que se provoca a este capital natural supera las tasas de renovación realizadas por la propia naturaleza, se provoca entonces una dinámica de degradación ambiental creciente, que puede resultar muy costosa e incluso imposible de revertir o compensar. Esto último por supuesto, en la medida en que estas funciones no puedan sustituirse por procesos artificiales. Este supuesto de no sustitución implícito en estos razonamientos, significa que, para mantener el acervo de capital o riqueza natural, la sociedad sólo debe consumir aquella parte de este capital natural que garantice un flujo de ingreso constante a través del tiempo (Daly, 1994), lo que en otras palabras conocemos como aprovechamiento sustentable.

En una economía formal, la presencia de organismos de flora y fauna silvestres ("diversidad biológica") caería bajo el rubro de un bien público. Para mantener este bien público, resulta indispensable proteger extensiones suficientemente grandes de hábitat crítico para asegurar la viabilidad genética de sus poblaciones, evitando así una posible endogamia es decir, la reproducción entre miembros de una misma familia. Por lo tanto, la diversidad biológica no es un bien público per se, sino los Parques, Reservas o áreas naturales lo suficientemente extensas que permitan la evolución continua de las especies allí existentes (Therborg, 1992, Whitmore, 1990).

Los arrecifes de coral es uno de los capitales naturales más valiosos de México y de una región aún más extensa hacia el Caribe, la cual genera un caudal estratégico de bienes y servicios (beneficios) ambientales. Sin embargo, dada la estructura de propiedad, de los mercados y del sistema de precios vigentes, estos beneficios fluyen básicamente en forma de externalidades positivas y bienes públicos.

En el primer caso (externalidades positivas), se trata de consecuencias socialmente benéficas pero no deliberadas de ciertas conductas o procesos que tienen otros fines, y que no son remunerados explícitamente. En la segunda forma, su carácter de bien público, hace imposible en gran parte una apropiación privada o exclusiva de ellos y los servicios ambientales que recibe un individuo no privan a otros del mismo; por lo tanto no es atractivo para individuos o corporaciones invertir lo necesario en su producción o mantenimiento. Ambas circunstancias se traducen en una oferta social de áreas naturales y de los beneficios ambientales que generan por debajo de su nivel óptimo.

Puesto en otras palabras, si concebimos a los arrecifes de coral como unidades productoras de bienes y servicios ambientales, encontraremos que enfrenta limitaciones formidables y desventajas críticas con respecto a los servicios de una empresa convencional que genera beneficios, fundamentalmente debido a esa tensión entre lo público y lo privado, donde los beneficios de la conservación son en gran medida colectivos, mientras que en la estructura de propiedad, son en su mayoría beneficios privados. Un efecto adicional de complejidad

es el hecho de que los efectos positivos de la conservación sólo se perciben en el largo plazo, lo que debilita aún más los incentivos en su favor. Todo ello presiona hacia la destrucción del capital natural y establece dificultades extraordinarias para su conservación y manejo, obligándonos a pensar en nuevas modalidades de contrato social, y en esquemas de financiamiento donde se compartan o internalicen de manera más equilibrada los beneficios y costos de inversión en el capital natural.

1.2 Valoración de la Diversidad Biológica y los Servicios Ambientales

El economista Henry Vogel en un análisis sobre los instrumentos económicos de la política ambiental, afirma que el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas no necesita justificarse en términos de cuantos ingresos generan ni en términos de costos de oportunidad por el desarrollo de actividades que degradarán los hábitats y amenazarán la diversidad biológica, ya que los análisis costo - beneficio no pueden resolver el valor de la diversidad biológica, y cualquier cálculo de esta naturaleza puede ser un número sin significado. Esta es la conclusión derivada de intentar aplicar la economía ortodoxa al estudio o análisis de la diversidad biológica, ya que esta economía no contempla los siguientes aspectos de esta biodiversidad:

- La complejidad biológica, es decir, nuestra inmensa ignorancia sobre el conocimiento biológico del planeta, desde el nivel macro que incluye las relaciones complejas entre decenas de millones de especies de flora y fauna, hasta el nivel micro con mil millones de pares secuenciales de información genética en cada especie.
- Lo difuso de las externalidades negativas que resultan de la destrucción de los hábitats naturales. Es decir, cuando se afecta el ambiente de una zona, el daño se vuelve mucho más extenso a la simple zona que se destruye.

- La irreversibilidad de la extinción. La extinción de una especie significa que jamás volverá a aparecer. En este sentido, se conoce la inmensa crisis en la escala actual de extinción en masa de especies alrededor de todo el mundo.
- La inestabilidad de las preferencias humanas a través de las generaciones. La duración de las preferencias humanas o modas puede ser medida en cientos de días, mientras que la duración de una especie es medida en cientos de miles de años. Basado en este antecedente, de que la evolución biológica es muy lenta, la rápida evolución cultural de las preferencias se vuelve inestable, sin embargo, si se observa a través de las diversas etapas del desarrollo económico, se puede observar un patrón de preferencias hacia la conservación del ambiente.

Ante este panorama, el reconocido naturalista Edward O. Wilson nos presenta una alternativa más modesta, él la llama "patrón seguro mínimo", que trata a cada especie como un recurso insustituible para la humanidad, mismo que hay que preservar a menos que los costos para lograrlo sean insoportablemente elevados".

Los científicos afirman que la humanidad ha más que excedido lo que sería la tasa regular u óptima de extinción de las especies. Por ende, la solución en el corto plazo es conservar cualquier diversidad biológica restante, y generar beneficios económicos del uso sustentable de los hábitats, para aliviar las presiones de un desarrollo destructivo. Esta humilde aproximación establecerá de inmediato restricciones en lo que se puede hacer en el corto plazo y aprobaría solamente aquellos proyectos o instrumentos económicos de la política ambiental que den como resultado un uso sustentable de la diversidad biológica existente (Vogel, 1996). No obstante, este enfoque no es definitivo: este reconoce que la información referente a las complejidades biológicas se tornará eventualmente disponible y reconoce la necesidad de revisar y aplicar las nuevas condiciones para la provisión óptima de los bienes públicos.

Otros autores señalan que no es suficiente saber que existen los beneficios públicos que genera la conservación ecológica. En una estrategia viable de mantenimiento y ampliación del capital natural del país, resulta indispensable aproximar su valor económico, cuando esto sea posible y señalan que el negarse a valorar la diversidad biológica o los ecosistemas en unidades que puedan compararse con bienes y servicios comercializables, es equivalente en la práctica, a considerar los bienes y servicios ecológicos como gratuitos, lo que distorsiona la toma de decisiones pública y privada.

No obstante la dificultad de estos análisis económicos y con el fin de aliviar presiones políticas, algunas aproximaciones generalizadas indican que la riqueza biológica del planeta representa para la humanidad el 5 % del Producto Interno Bruto de todos los países, lo que implica la necesidad de mantener fuertes los controles de protección.

1.3 Beneficios Públicos que Genera la Conservación de los Arrecifes de Coral

Los beneficios públicos que genera la conservación ecológica pueden identificarse con cierta precisión por medio de las funciones ambientales con que cumple el capital natural. Una función ambiental es un proceso natural capaz de proporcionar bienes y servicios que satisfacen necesidades humanas (Groot, 1992 en INE 1995).

Algunas de estas funciones de los arrecifes de coral son:

- Hábitats para especies de flora y fauna
- Regulación en la composición química de la atmósfera
- Regulación del clima

- Protección de playas y línea de costa
- Reducción de erosión de playas
- Formación de playas islas y cayos
- Generación de biomasa y de nutrientes para actividades productivas (pesca).
- Producción peces e invertebrados marinos para acuarios
- Productos Farmacéuticos
- Materiales de construcción
- Joyería y otra decoración.
- Hábitat de crianza y reproducción de cientos de especies
- Mantenimiento de la diversidad biológica y del patrimonio genético de la nación
- Recreación y turismo.
- Campos para la investigación científica y tecnológica.

Estas y otras funciones más se pueden agrupar como:

- 1) **Valores de uso directo.** Se refiere a aquellos bienes y servicios que se relacionan evidentemente con la satisfacción de las necesidades económicas. Estos bienes y servicios

pueden ser consumibles, valores agregados al uso turístico y recreativo. No obstante los bienes consumibles por lo general tienen un precio explícito en el mercado, dicho precio no refleja el uso sustentable del recurso. Los bienes no consumibles son aquellos que pueden satisfacer las necesidades de numerosos individuos simultáneamente y cuya utilidad no disminuye con su uso.

2) Valores de uso indirecto. Comprende servicios ecológicos prestados por la naturaleza, tales como el control de inundaciones, calidad de agua, control del clima, control de erosión, costo de disponibilidad de agua no contaminada, secuestro de carbono, valores de investigación aplicada al manejo de los recursos naturales, a usos biomédicos, e investigación aplicada al monitoreo ambiental; valor académico (tal vez no tenga ningún significado el cuantificar el valor del conocimiento ganado solamente al obtener un mejor entendimiento de la vida, sin embargo la información obtenida puede significar un importante papel en las actividades de investigación aplicada, por lo que su valor podría incorporarse teóricamente en este último); valores escénicos y paisajísticos. Valdría la pena hacer un análisis de la diferencia en el costo de terrenos con una mejor vista hacia algún paisaje ambientalmente sano y aquel que mire hacia un paisaje pobre, un basurero o una construcción que limite dicho atractivo, algunos hoteles cobran más por ofrecer una vista espectacular o por encontrarse en un mejor sitio hablando en términos ambientales); valor educativo formal los arrecifes de coral pueden actuar como un laboratorio natural proveyendo invaluable oportunidades a los estudiantes para observar ejemplos vivos de principios obtenidos en escuelas; valor educativo no formal (el público en general que visita las playas y arrecifes puede recibir educación no formal a través de la extensión de programas educativos. La infraestructura disponible puede incluir senderos interpretativos autoguiados, exposiciones museográficas y guías capacitados para tal fin; un valor adicional no cuantificable, sería el efecto de esta educación en las acciones futuras del visitante. La sensibilidad ambiental que un visitante puede obtener de una visita, promoverá una mayor conciencia de la importancia del recurso natural y reforzará la conservación.

3) Otros Valores

- a) Valor de opción. Es el beneficio recibido por retardar la posibilidad de usar un recurso en algún tiempo futuro preservándolo ahora.
- b) Valor de Existencia. Es el beneficio obtenido por el simple conocimiento de que algo existe.
- c) Valor de Herencia. Es el beneficio que recibe esta generación al otorgar un recurso para el uso y disfrute de las futuras generaciones.

Si bien estos valores son reconocidos, no existen métodos para evaluar sus beneficios ya que carecen de mercado (Giles, 1992). Estos últimos implican valores morales donde se reconoce el derecho de otras especies o sistemas biológicos a persistir y a seguir su camino evolutivo.

1.4 Situación Actual de los Arrecifes de Coral

Datos generales de la condición de los arrecifes de coral

- Solo el 0.09% del mar esta cubierto por arrecifes de coral, que es similar al área que ocupa Arizona o Inglaterra (285,000 km²).
- Sin contar la superficie de arrecifes de los Estados Unidos de América, en el Caribe la cubierta de arrecife abarca una extensión de 19,000 Km².
- En 2005 el 70% de los arrecifes del mundo estaban bajo un inminente riesgo de colapso, el 58% mas que en el 2002.
- En el año 2006, cerca del 30% de los arrecifes en el mundo estaban seriamente dañados y con el actual ritmo de destrucción se estima que el 60% del total desaparecería para el 2030.
- El 80% de los arrecifes del Caribe están clasificados como en grave riesgo.

- En el Caribe, el 80% de las especie *Acropora* sp. se ha perdido en los últimos 30 años. Este género es uno de los principales constructores del arrecife

Principales usos

Farmacología

- El 50% de los medicamentos para el cáncer, son generados a partir de derivados de organismos marinos, en el 85% de arrecife.

Pesca

- Para un billón de personas la pesca es la principal fuente de proteínas y en el 40% de ellas, la única.
- 30 millones de pescadores artesanales dependen del arrecife para su subsistencia.
- El 60% de la sobrepesca se realiza en arrecifes.
- La pesca en los arrecifes del Caribe genera ganancias anuales por \$310 millones USD.(Burke and Maidens, 2004).
- Para el arrecife mesoamericano la captura anual sustentable (pesca artesanal), varía de entre 0.2 y 30 toneladas/km², con un promedio de 5 ton/km². (Jennings and Polunin, 1995). Dependiendo del valor del producto, se valuó la pesca entre \$15,000 y \$150,000 USD/km² por año, basado en un valor de entre \$1 y \$10 USD/kg. (Talbot and Wilkinson, 2001).

Turismo

- El turismo es la principal fuente de empleos en el mundo (255 millones), que representa el 10.7% de la fuerza de trabajo global. Los Cruceros incrementaron su visitación en los últimos 12 años para México (200%). Y arriba del 600% para Belice en 5 años. Unos 25 millones de turistas recibe por año el Caribe y recibe el 60% del turismo mundial de buceo. Dando empleo directo al 25% de la población local.

- Los buzos son solo el 10% de los visitantes del Caribe, pero contribuyen con el 17% de las ganancias totales, mismas que cada año representan \$1.2 billones USD.
- El promedio de gasto por buzo es de \$2,100 USD por viaje, comparado con \$1,200 USD de los no buzos. Los buzos en promedio gastan 60-80% más que otros turistas.
- El turismo a destinos con arrecifes como punto principal genera ganancias por \$ 385 billones USD y representa el 85% del turismo mundial, 27 veces más que las pesquerías.
- En el Caribe, el turismo aporta beneficios por \$663 millones por año.
- La Gran Barrera de Arrecifes de Australia genera anualmente por concepto de pesca más de \$3500 millones USD. La Florida \$ 2500 millones USD. y en el resto del Caribe \$ 390 millones USD.

1.5 Valoración Económica del Arrecife con Base en la Producción y Costos de Amortización por Acciones de Restauración y Compensación

Cuando se hace uso de recursos naturales o causamos accidentes en los que se reduce la calidad de los mismos y con ello se pierde parte del patrimonio natural, por lo general no se aplica ninguna depreciación (una amortización que compense su pérdida); aparece por el contrario, una disminución del patrimonio como si fuese un ingreso neto o un activo depreciado. Tal vez entre los únicos casos de excepción en México, se encuentran en los artículos 190 y 190 bis de la Ley Federal de Derechos relacionados al aprovechamiento de los elementos naturales de las Áreas Naturales Protegidas.

Existe ampliamente distribuída en México, esta curiosa percepción de la naturaleza como fuente inagotable, como si el

gasto de recursos naturales no tuviese costos de compensación y en el caso de los arrecifes, solo se suponga que deban de abrirse y utilizarse sin restricciones o límites.

Usar términos económicos para referirse a los recursos naturales debe prevalecer por el interés de mostrar un tratamiento distinto que se da, a la pérdida de recursos, tanto los naturales como los producidos por la mano del hombre y no necesariamente a un deseo de mercadeo de la naturaleza, como algo que solo tiene valor en la medida que se rentabiliza como recurso productivo. Usar los mismos criterios económicos también demuestra la importancia de su apropiado manejo y conservación.

Algunas estimaciones de esta valoración que provee la literatura a nivel mundial y en la región ayuda a entender mejor su importancia.

El valor económico total por año de los arrecifes de coral a nivel global, ha sido estimado en diversas ocasiones y sus diferencias dependen de muchas variables, principalmente locales, sobresalen:

■ \$ 100,000 (\$USD/Km²)¹⁸

■ \$ 600,000 (\$USD/Km²)¹⁹

Las valoraciones económicas en el nivel local, también han sido muy diferentes ya que no han utilizado las mismas variables.

■ Sri Lanka \$140,000 (\$USD/Km²) Berg et al, 1998

■ Samoa \$14,300 (\$USD/Km²) Spurgeon et al, 2005

Algunas de las variaciones pueden ser explicadas por la ubicación de los arrecifes:

■ Arrecife adyacente a áreas pobladas donde la agricultura es la principal actividad: 829 (\$USD/Km²)

- Arrecife adyacente a áreas densamente pobladas donde la protección costera se ha perdido: 50,000 (\$USD/Km²)
- Arrecife adyacente a áreas donde el turismo es la principal actividad y basado en el costo del mantenimiento de la arena de playas: 1'000,000 (\$USD/Km²)²⁰

Valores similares han sido obtenidos para el Caribe, variando de \$2,000 a \$1 millón USD/km² para los sitios con alto desarrollo turístico. (Burke and Maidens, 2004)

El valor total productivo de los arrecifes de coral en el Caribe se han calculado en \$50 billones anuales y se proyecta un crecimiento anual de 5.5% para los siguientes 10 años (2005-2015). En esta región, el arrecife y el manglar contribuyen significativamente en la economía de pequeños países insulares, ciudades y comunidades. Se le atribuye al arrecife una contribución al PIB local aproximada hasta del 90 % .

No obstante de las cifras anteriormente señaladas la inversión anual mundial para vigilancia, investigación y monitoreo en arrecifes es menor a \$100 millones USD. En la región del Caribe, sin incluir a los Estados Unidos, la inversión no ha sido mayor de \$8.5 millones USD, promedio por año desde 2002.

Se estima que el costo promedio operacional de manejo de una Área Marina Protegida es de \$775 USD/Km², que corresponde a menos del 0.2% de lo que genera por ganancias por Km² de arrecife y manglar

La metodología propuesta parte del conocimiento de que es prácticamente imposible el determinar con exactitud la cantidad que refleje el beneficio o servicio ambiental del arrecife, pero la idea dentro del concepto aquí planteado, es desarrollar en términos económicos los ingresos netos y los estándares de restauración para la conservación; calcular experimentalmente estos costos, ya que al no existir mercados para todas las especies o los servicios, los precios tienen que estimarse.

¹⁸ Cesar et al, 2003

¹⁹ Constanza et al, 1997

²⁰ Indonesia, Cesar, et al 1996

Normalmente el gasto de la administración pública se dedica en menor escala a obtener bienes y en mayor a corregir o evitar los "males" causados, pero esos gastos de mantenimiento

o compensatorios se contabilizan como producción. Por el contrario, en una empresa convencional, esos gastos aumentarían los costos.

Consideramos que los gastos de amortización se pueden dividir en:

- Valorar primeramente la pérdida proporcional del recurso, como la pérdida del bien obtenido o ingreso. Se convierte en un equivalente monetario el mal que se provoca.
- Valorarlo como costo de "restauración", es decir como el costo monetario que representa el reparar el impacto una vez producido.
- Valorarlo como costos de "prevención" de los impactos.

Esta propuesta de valoración se basa en los ejercicios realizados en los arrecifes de coral, parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano. Esta fue realizada en cuatro Áreas Marinas Protegidas;

- Cayos Cochinos en las Islas de la Bahía en Honduras, como un caso de aprovechamiento de los más bajos en la región y una excelente conservación.
- Hol Chan Marine Reserve, en Belice, como una área con alta intensidad y aceptable conservación.
- Reserva de la Biosfera Sian Ka'an como un sitio de mediana intensidad de aprovechamiento y buena conservación.
- Parque Nacional Arrecifes de Cozumel como área con una de las mayores intensidades de aprovechamiento de la región y una conservación aceptable.

2 Hipótesis

- Los costos de restauración son menores a los beneficios económicos derivados del uso del arrecife, por lo tanto la restauración se justifica.
- Las sanciones que en este momento se aplican en los responsables de los impactos ambientales a los arrecifes de coral, no concuerdan o no son proporcionales a los daños que estas causan en las actividades de turismo, recreación y pesca en Áreas Naturales Protegidas y sus comunidades afectadas.

3 Objetivos

- Comprobar, que la existencia y mantenimiento de arrecifes de coral, es una buena y vital inversión, así como demostrar que los proyectos de manejo y restauración de arrecifes dañados o degradados, pueden aumentar la producción e ingresos en las comunidades costeras.
- Crear la capacidad para evaluar los daños con un criterio económico sustentado en datos técnicos; biológicos y económicos que den fortaleza jurídica a las sanciones impuestas, que sean suficientes para realizar la restauración y/o rehabilitación, así como sustentar la compensación.

4 Metodología

Herramientas de mercado a aplicar.

- Para establecer valores de uso para el turismo, utilizar el método de costo de viaje.

- Para establecer el valor de la pesca utilizar el método de cambios en la productividad; determinando función dosis-respuesta para arrecife-pesca.

Actividades

- 1) Cálculo de la productividad económica directa (turismo y pesca), por cada ANP.
- 2) Cálculo del área arrecifal de las ANP en Km², o en su caso de la unidad arrecifal de interés.
- 3) Calcular los costos de restauración por m².
- 4) Calcular costo de proyectos productivos como alternativas económicas. En el estudio de caso se calcularon únicamente los beneficios económicos directos producidos a los pobladores locales por el aprovechamiento del arrecife en pesca de langosta y turismo. Actualmente todos esos ingresos o bienes obtenidos van al consumo y, por tanto, la inversión "bruta" (suma de amortización y de inversión neta) es cero, entonces esta economía se está descapitalizando y no soportara de forma indefinida el nivel de consumo. Por tanto, se vuelve necesario que exista una amortización que compense la depreciación y la economía pueda mantener ese nivel de consumo, pero aumentando el número de medios de producción (arrecife/hábitat) y creciendo en el futuro.

La amortización dependerá según lo que costo adquirir los medios de producción o bien, en este caso el mantenerlos. Y el costo de restauración y/o reposición.

Consideramos que los gastos de amortización se pueden dividir en:

- Valorar primeramente la pérdida proporcional del recurso, como la pérdida de bien obtenido o ingreso. Se convierte en un equivalente monetario el mal que se provoca.

- Valorarlo como costo de “restauración”, es decir como el costo monetario que representa el reparar el impacto una vez producido.
- Valorarlo como costos de “prevención” de los impactos.

Promedio anual de beneficios económicos de las ANP (Be)

Uso de recurso	Rango de Producción	Beneficios (USD)
Pesca	150 - 230 ton	\$23,000
Turismo	310,000 – 580,000 pax	\$98,000
	Total	\$121,000

Para establecer el valor de pérdida por m² dañado, se establece una relación de proporcionalidad entre los valores involucrados.

Valor de pérdida = $Be \times m^2 \text{ dañado} / m^2 \text{ totales de arrecife (594 km}^2\text{)}$

Costo promedio de restauración por m² en USD

Evaluación de daños	\$ 158.00
Rescate de coral	\$ 560.00
Acciones de restauración	\$ 1,200.00
Programa de restauración	\$ 350.00
Total	\$ 2,268.00

Costo promedio por compensación productiva por m²

Proyecto productivo temporal (3 a 5 años, daños reversibles)	\$ 258.00
---	-----------

Proyecto productivo permanentes \$ 730.00
(largo plazo, perdida total)

Valor de perdida + Costo promedio de restauración por m² +
Costo promedio por compensación productiva por m² = Can-
tidad reclamada

Análisis de Equivalencia de Hábitat (AEH)

Ante los impactos de encallamientos de embarcaciones u otros generados por el hombre en los arrecifes de coral, la pregunta es:

¿Qué escala de acción de restauración permitirá compensar por la pérdida de recursos naturales y de servicios, desde el momento del incidente hasta que los recursos se recuperen totalmente?. La escala de compensación está condicionada a las opciones de la restauración primaria, por consiguiente, para cada alternativa que se considere, se deberán definir desde el principio, el tipo y escala de las acciones de restauración primaria y, como paso siguiente, los componentes de compensación para las alternativas de restauración de daños pueden, de esta forma, ser dimensionados.

El proceso de dimensionar un proyecto requiere ajustar el tamaño de las acciones de restauración para asegurar que el valor neto de descuento presente, iguala el valor de descuento presente de las pérdidas intermedias. De esta manera existen dos formas principales de evaluación: a) la aproximación de valuación y b) el método simplificado de servicio a servicio, que aplica bajo condiciones específicas.

El Análisis de equivalencia de hábitat (AEH) es un método de servicio a servicio utilizado para dimensionar un proyecto. El principal supuesto de esta metodología es que el público en general está dispuesto a aceptar o cambiar en una relación - uno a uno - una unidad de servicios de hábitat perdidos por una unidad en un proyecto de de restauración de servicios, de tal forma que le da el mismo valor a una unidad de servicios en el lugar del accidente (El público valúa de la misma forma una unidad de servicios en el sitio del accidente y el sitio de la restauración).

Cabe mencionar que esta metodología no necesariamente asume la relación uno a uno en recursos, pero sí en los servicios que proveen.

Por lo anterior, es bien importante definir los recursos que se van a restaurar o rehabilitar y los servicios que proveen. El análisis de equivalencia de hábitat es aplicable en la medida que los servicios que provee el sitio del daño sean comparables con los daños.

Utilizando el AEH se deben cuantificar los m² equivalentes por compensar, bajo los siguientes supuestos (se expone aquí el caso práctico del encallamiento del buque "Cembay" de 129 m de eslora, matrícula IMO 9146120 con bandera de Bahamas, encalló alrededor de las 7:30 a.m. el domingo 6 de abril de 2008 en la zona arrecifal de barracudas y sábalo, situado frente al parque Xcaret y en las proximidades del Muelle de Calica en Punta Venado, al sur de Playa del Carmen en el Municipio de Solidaridad, Quintana Roo, México).

Evaluación de daños

Dos fueron las áreas afectadas. Corresponden a los sitios donde estuvieron asentadas la proa y la popa de la embarcación. Los daños ambientales se observaron sobre dos superficies impactadas, una de 127.5 m² y la otra de 1,426.9 m². En conjunto, ambas superficies suman 1,554.48 m². Para determinar el área de daño del encallamiento se utilizó el siguiente método: Se delimitó mediante buceo libre con un GPS Garmin GPS Map 76, siguiendo el perímetro del área donde se observó el 100% de daño, marcando las coordenadas geográficas; de esta forma se generó el polígono de daño y se obtuvo el área total en m².

Condiciones:

- 1) Que la restauración primaria tiene un efecto mínimo, ya que sólo va consistir en la limpieza y consolidación de restos

y pedacería de coral y estabilización y llenado de grietas y hendiduras. Por lo que si la afectación es considerada del 100% en el área de impacto y con nulo efecto en lo que toca a la restauración primaria, su restauración quedaría en "manos de la naturaleza" y del tiempo.

- 2) Que dada la experiencia con que se cuenta el tiempo de restauración para retornar a la condiciones pre-encallamiento se consideran en 20 años.
- 3) Que la superficie impactada al 100% es de 1,554.48 m²,
- 4) La Tasa de retorno fue considerada al 3%
- 5) Que a nivel del Sistema Arrecifal Mesoamericano se tiene un valor de restauración estándar estimado en \$2,861 dólares americanos por m² (se encuentra dentro del rango señalado anteriormente) y, que dada la complejidad diferente del arrecife que fue dañado por el buque Cembay y su recuperación más temprana con relación a otro tipo de arrecifes o formaciones arrecifales se considera que el valor estándar pudiera ser reducido a la mitad.
- 6) Que como se observa en la Tabla 1, el valor de equivalencia se tiene como: 6.02 años por cada m² restaurado, por lo que al final se pueden conocer los m² que se requieren compensar, y asignarles un valor de compensación.
- 7) Que el valor de compensación se consideró en \$1,430.50 dólares americanos por cada m² de hábitat equivalente.

De esta manera se hicieron los cálculos y se obtuvieron los resultados que se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del Análisis de Hábitat Equivalente (AHE) tomando como base la superficie de impacto y los servicios perdidos por el encallamiento y las acciones en la restauración primaria.

Área impactada (m ²)	Totales (m ²)	Totales (m ²)	Habitat requerido para compensación (m ²)	
		Años perdidos	Años ganados	
			por cada m ² restaurado	Para llegar a condiciones pre-encallamiento
Superficie impactada al 100%	1,554.48	13,074.07	6.02	2,172.44
TOTAL	1,554.48	13,074.07		2,172.44

* Como se explica en la Sección 9.2 del Manual, en la tabla se muestra que al realizar las acciones de "Restauración Primaria" cada m² que se restaure equivale a 6.02 m², lo que acelera grandemente el proceso a las condiciones de línea base o condiciones de pre-encallamiento; de tal forma que del impacto estimado en 13,074.07 m² a través de la Metodología de HEA, la restauración primaria hace descender el valor estimado hasta 2,172.44 m². Esto implica una reducción del 87%, quedando por restaurar a través del tiempo el 13% de hábitat equivalente en el tiempo posterior a las acciones de restauración. Valor que debe cuantificarse y manejarse para aspectos de compensación. Lo anterior, tomando en cuenta que la restauración se realiza sobre aquellas especies que contribuyen de manera significativa a la construcción del hábitat, ya que los organismos representativos pertinentes son los creadores importantes del hábitat.

Con los resultados de los incisos anteriores se llegó a los siguientes resultados:

- 1) Que para poder realizar las labores de restauración primaria que se describieron anteriormente se requerirá de un costo de \$20,000.00 dólares americanos.
- 2) Que los costos de la multa serán estimados y establecidos por la PROFEPA, de acuerdo a los indicadores, artículos e incisos que se manejen para este tipo de faltas o accidentes.
- 3) Que el costo de Monitoreo para evaluar el proceso de restauración del sitio en los siguientes 10 años se estableció en \$130,000.00 dólares americanos.
- 4) Que el monto por medidas compensatorias, dado que son pocas las acciones que se pueden hacer dentro de la restauración primaria, dejando la misma al tiempo y a la restauración natural del sitio, ésta asciende a \$3'107,676.57 dólares americanos (Tres millones ciento siete mil seiscientos setenta y seis dólares con 57 centavos).
- 5) Los costos totales sin considerar los de la multa son: \$3'257,676.57 dólares americanos.

5 Conclusiones

Tratando de sintetizar las ideas anteriores, conviene decir ahora que, para avanzar hacia una verdadera economía de los arrecifes de coral, es preciso asumirlas en cierta forma como unidades productivas estratégicas, generadoras de un corriente vital de beneficios sociales y patrimoniales que deben ser reconocidos y valorizados, y cuyo mantenimiento está sujeto a costos considerables de inversión y de operación. Estos requieren ser cubiertos a través de mecanismos de financia-

miento, captados y asimilados mediante arreglos institucionales internos eficientes en las áreas naturales, que las hagan viables y capaces de cumplir con sus funciones.

El economista Henry Vogel señala que el capital natural debe ser asegurado tal como si este fuera hecho por el hombre. Una fuente para pagar tal seguro es a través de cargos juiciosos por el uso de áreas protegidas y por los daños ocasionados al mismo.

Esta lógica sugiere que la conservación de los arrecifes de coral, debe ser costeadada por los sectores o actividades que la usufructúan directa o indirectamente y compensadas por quienes atentan o le causan impactos directos o indirectos. Lo anterior no quiere decir que sea posible cobrar por dichos servicios en todos los casos, pero sí apunta en la dirección de corresponsabilizar a quienes tienen intereses en ellas o las afectan de algún modo.

Bibliografía

- 1) Cesar et al. 2003
- 2) Daly, Herman (1994). Operationalizing Sustainable Development by Investing in Natural Capital.
- 3) Department of Justice, US Government, 2000, Draft Guidance on Investigating Vessel Groundings, US Govt, Washington, D.C
- 4) Dodge, R.E., 2002, An application for calculating Broward near-shore mitigation amount, Technical report. National Coral Reef Institute, Nova Southeastern University Oceanographic Center. 9 pp.
- 5) Dodge, R.E. & Kohler, K., 2004, Visual HEA-Habitat Equivalency Software Visual HEA: Habitat Equivalency Analysis Software to Facilitate Calculation of Compensatory Restoration following Natural Resource Injury, National Coral Reef Institute, Nova Southeastern University Oceanographic Center. 7 pp.
- 6) Fonseca, M., Julius, B., & Kenworthy, W., 2000, Integrating biology and economics into seagrass restoration: how much is enough and why?, *Environ. Eng.* 15: 227-237.
- 7) García, M. A. & G. Nava, 2006, Guía de Procedimientos en Eventos de impacto en Arrecifes Coralinos: Manual de referencia, Oceanus, A.C., PNUMA, SAM, CONANP, Veracruz (documento interno).
- 8) García, M.A. & G. Nava, 2006, Técnicas de Restauración y Monitoreo en Arrecifes Coralinos: Manual de referencia, Oceanus, A.C., PNUMA, SAM, CONANP, Veracruz (documento interno)
- 9) Gilliam, D.S., Thornton, S.L., & Dodge, R.E., 2001, One-Year Post-Baseline Monitoring and Assessment of Coral Reattachment Success and Coral Recruitment, at the C/V Hind Grounding Site, Broward County Florida. Report submitted to the Florida Fish and Wildlife Commission, Florida Marine Research Institute, 38 pp.
- 10) Goenaqa, C., 1986, Los Arrecifes Costaneros en Puerto Rico: Estado actual e implicaciones sociales, *Science-Ciencia, Boletín Científico del Sur* Vol. 13 No 2.
- 11) Gulko et al, 2007
- 12) Gulko y Ramírez, 2008
- 13) Hoppe, W.F., 1988, Growth, regeneration and predation in three species of large coral reef sponges. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 50 (1-2): 117-125.
- 14) INE. (1995). Áreas Naturales: Economía e Instituciones. SEMARNAP, México, 51 pp
- 15) Jaap, W.C., 2000, Coral Reef Restoration. *Ecol. Eng.* 15: 345-364.
- 16) Jaap, W.C., Hudson, J. H., Dodge, R.E., Gilliam, D.S., & Shaul, R., 2006, Coral Reef Restoration with Case Studies from Florida Pgs 478-514, In: *Coral Reef Conservation*, Cote, I.M. and Reynolds, J.D., Eds. Cambridge University press, Ny, NY, 568 pp.
- 17) Kohler, K.E. and R.E. Dodge, 2006 in press, Visual_HEA: Habitat Equivalency Analysis software to calculate compensatory restoration following natural resource injury, *Proceedings, 10th International Coral Reef Symposium, Okinawa 2004*
- 18) Marshall y Schuttemberg, 2006

- 19) Mazzotta, M.J., Opaluch, T., & Grigalunas, T., 1994, Natural resource damage assessment: the role of resource restoration. *Nat. Resources J.* 34: 153-178
- 20) Milon, J. Walter and Richard E. Dodge, 2001, Applying habitat equivalency analysis for coral reef damage assessment and restoration. *Bull. Mar. Sci.* 69. 975-988
- 21) Moyer R.P., Riegl B., Banks K., & Dodge R.E., 2003, Spatial patterns and ecology of benthic communities on a high-latitude South Florida (Broward County, USA) reef system, *Coral Reefs* 22(4):447-464.
- 22) National Oceanic and Atmospheric Administration, 1997, Scaling Compensatory Restoration Actions, Guidance Document for Natural Resource Damage Assessment Under the Oil Pollution Act of 1990, Damage Assessment and Restoration Program.
- 23) NOAA, 2001, Oil Spills in Coral Reefs: Planning and Response Considerations, U.S. Department of Commerce, Washington D.C.
- 24) NOAA, 2008
- 25) Osenberg, C.W., R.J. Schmitt, 1996. Detecting ecological impacts caused by human activities. Pp. 3-16, in R.J. Schmitt and C.W. Osenberg (eds). *Detecting ecological impacts: concepts and applications in coastal habitats*. Academic Press San Diego.
- 26) Saedler, 1988, *Sustaining Tomorrow and Endless Summer: On Linking Tourism and Environmentally Sound Tourism in the Caribbean*, University of Calgary Press, Calgary, Alberta, Canadá.
- 27) Santin Blasco A., 1997, Establecimiento de un Mercado para el Desarrollo Económico y la Protección Ambiental: El caso de un área natural protegida. ITAM. Tesis Licenciatura en Economía. México, D.F. 109 pp.
- 28) SEMAR, 1998, Plan Nacional de Contingencias para Combatir y Controlar Derrames de Hidrocarburos y Otras Substancias Nocivas en el Mar, SEMAR, México
- 29) SEMARNAP, 1998
- 30) Sheppard, C., 1982, Coral population on reef slopes and their major controls. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 7, 83-115.
- 31) Spaldin, M.D., Raviolus, C. & Green E.P., 2001, *World Atlas of Coral Reefs*, UNEP-WCMC.
- 32) Spurgeon, Giles, J.P., 1992, A Total Economic Valuation of Coral Reefs. A Dissertation Submitted to the Department of Marine Science and Coastal Management. University of Newcastle upon Tyne. 113 pp.
- 33) University of California Press. 424 pp. Unsworth, R. and R. Bishop, 1994, Assessing natural resource damages using environmental annuities. *Ecol. Econ.* 11: 35-41.
- 34) Vargas-Hernández et al, 2001
- 35) Veron, J.E.N., 2000, *Corals of the World*, Stafford-Smith, M. (ed). Australian Institute of Marine Science. Volumen I. 463 p.
- 36) Vogel, J.H., 1997, El Uso Exitoso de Instrumentos Económicos para Fomentar el Uso Sustentable de la Biodiversidad: Seis estudios de caso de América Latina y el Caribe. *Biopolicy Journal* (2)5. 47 pp
- 37) Yoshioka, P.M., Yoshioka, B.B., 1991, A comparison of the survivorship and growth of shallow-water gorgonian species of Puerto Rico, *Mar. Ecol. Prog. Series.* 69, 253-260.
- 38) Guidelines for Rapid Response to and Restoration of Coral Reef Injuries in Southeast Florida. Millennium Ecosystem Assessment, 2005

Tabla de Contenidos

CRÉDITOS	3
1. INTRODUCCIÓN	7
2. ALGUNAS CONSIDERACIONES GENERALES ACERCA DE LOS ARRECIFES DE CORAL	11
2.1 Elementos de biología y ecología de los corales	12
2.2 Reproducción de los Corales	13
2.3 Crecimiento y Longevidad	15
2.4 Corales duros, colonias y formación de arrecifes	15
2.5 Biodiversidad Arrecifal	21
2.6 Hábitats Asociados: pastos marinos y manglares	23
2.7 Usos por el Hombre	23
3. MORTALIDAD, ENFERMEDADES, E IMPACTOS GLOBALES Y LOCALES	23
3.1 Pesca y Otras Perturbaciones en el Ecosistema	27
3.2 Sedimentación y Aumento de Nutrientes	28
3.3 Especies Invasoras	29
3.4 Perturbaciones Físicas	30
3.5 Impactos a los Arrecifes	30
3.5.1 Encallamientos y Varamientos	31
3.5.2 Contaminación	32
3.5.3 Blanqueamiento	34
3.5.4 Desarrollo Turístico	36
3.6 Encallamientos en México	37
3.7 Impactos Acumulativos	44
4. RESPUESTA DE LA AUTORIDAD ANTE LOS IMPACTOS A ARRECIFES	47
4.1 Respuesta Inicial	48
4.1.1 Informe del Incidente	50
4.1.2 Primeras acciones	51
4.1.3 Coordinación entre dependencias	54
4.2 Periodo de respuesta	56
4.2.1 Determinación del escenario	56
4.2.2 Establecimiento de los Perímetros del Evento y el Impacto	57
4.2.2.1 Establecimiento del perímetro del evento	59
4.2.2.2 Establecimiento del perímetro del impacto	60
4.2.3 Colecta de evidencias	61
4.3 Determinación de las acciones inmediatas	63
4.3.1 Desarrollo en campo	64
4.3.2 Asignación de Prioridades Biológicas (Triage)	65
4.3.3 Consejos de Investigación de la Escena del crimen (CSI por sus siglas en inglés)	67
4.3.3.1 Colecta subacuática de objetos hechos por el hombre	68
4.3.3.2 Colecta subacuática de recursos naturales impactados o de referencia	69
4.3.3.3 Colección de evidencia física y de otro tipo	74
4.3.3.4 Algunas consideraciones para asegurar una buena colecta de evidencias	77

4.4	Secuencia típica de acciones coordinadas, emprendidas por las autoridades competentes	79
4.5	Acciones de aplicación de la normatividad	83
5.	RESPONSABILIDADES DE LA PARTE CAUSANTE DEL IMPACTO	85
5.1	Selección de Contratistas	85
5.2	Obtención de Permisos y Autorizaciones	88
5.3	Salvataje de la Embarcación	89
5.4	Remoción y Disposición Final de la Pintura	90
5.5	Restauración Primaria	91
5.5.1	Financiamiento	91
5.5.2	No-Acción	92
6.	DETERMINACIÓN DEL IMPACTO Y LOS DAÑOS EN EL ARRECIFE	93
6.1	Evaluación de la Comunidad Biológica Afectada	94
6.2	Evaluaciones Rápidas	95
6.2.1	AGRRA (mgg.rsmas.miami.edu/agrra)	95
6.2.2	Reef Check (www.reefcheck.org)	96
6.2.3	SAM (www.mbrs.org.bz)	97
7.	EVALUACIÓN	99
7.1	Evaluación del Daño	99
7.1.1	Fotografía Aérea	100
7.1.2	Inspecciones Batimétricas y Sísmicas	101
7.1.3	Adquisición de Datos in situ Mediante Buceo	101
7.1.4	Sistemas Integrados de Imágenes Geográficas	102
7.2	Evaluación de Daños y Efectos Secundarios	106
7.3	Elaboración del Reporte de Evaluación y la Denuncia	106
7.4	Acciones Emprendidas por Dependencias Distintas de la SEMARNAT, CONANP y PROFEPA	107
8.	RESTAURACIÓN PRIMARIA	109
8.1	Amarre Temporal	112
8.2	Remoción de Escombros	112
8.3	Disposición Final de Escombros	113
8.4	Reparación de la Estructura Arrecifal	113
8.5	Estabilización de la Pedacería	114
8.6	Remoción de la Pedacería	115
8.7	Reimplantación de Organismos	115
8.7.1	Corales Duros (Escleractíneos)	116
8.7.2	Octocorales (Gorgonáceos)	117
8.7.3	Esponjas (Porífera)	117
8.8	Elaboración de Mapas	118
8.9	Elaboración de Itinerarios	119
8.10	Elaboración de Informes	119
9.	PERÍODO POSTERIOR A LA RESPUESTA	121
9.1	Evaluación de la Restauración	121



9.2 Evaluación de la Mitigación	122
9.2.1 Planteamiento	123
9.2.2 Tipos de HEA	126
9.2.3 Parámetros del Área Dañada	126
9.2.4 Parámetros del Área Compensatoria (o de Substitución)	127
9.3 Mitigación Compensatoria	128
9.4 Restauración Compensatoria	128
9.5 Programa de Monitoreo	130
9.6 Reconstrucción y Estabilidad Estructural	131
9.7 Mediciones Biológicas	132
9.8 Preparación de Informes	133
9.9 Valoración de la Sanción	134
ANEXO 1. Diagrama de flujo	137
ANEXO 2. Formatos y ejemplos para la preparación de informes y reportes	139
ANEXO 3. Método para la valoración económica de los arrecifes de coral para el establecimiento de compensaciones por daños ambientales.	145



Esta edición se terminó de imprimir
el 31 de julio de 2009
en los talleres de Quick Print, S. de R.L.,
calle 56-A num. 345, Mérida, Yucatán.

La edición consta de 1000 ejemplares.