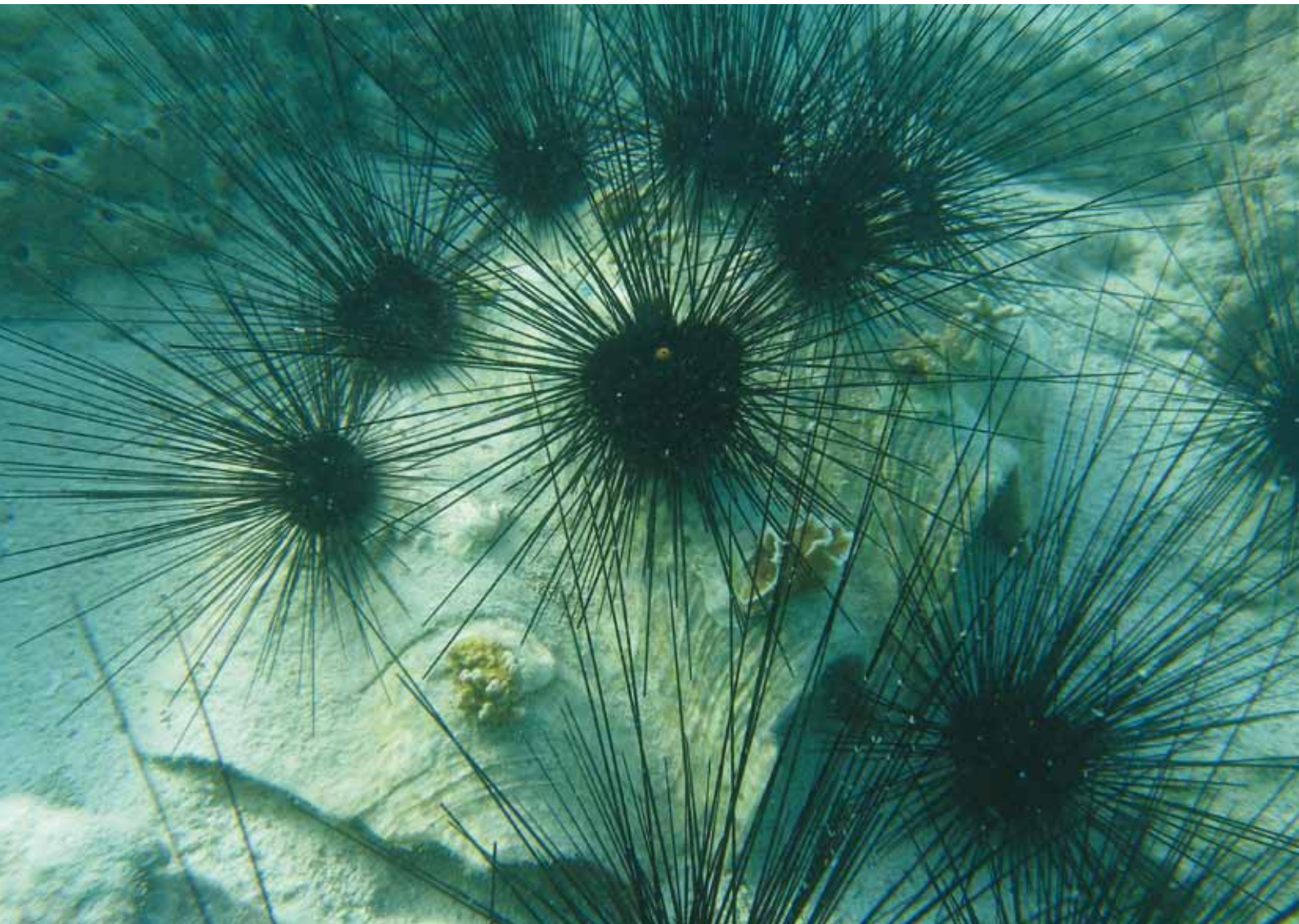




Restauración Arrecifal

Conceptos y recomendaciones:

Tomando decisiones de gestión sensatas ante la incertidumbre.



Por Alasdair Edwards y Edgardo Gomez

www.gefcoral.org

Alasdair J. Edwards¹ y Edgardo D. Gomez²

¹ Division of Biology, Newcastle University, Newcastle upon Tyne NE1 7RU, United Kingdom

² Marine Science Institute, University of the Philippines, 1101 Quezon City, Philippines

La visión de este documento es la de los autores quienes manifiestan su deuda de gratitud con otros miembros del grupo de restauración y remediación "Restoration and Remediation working group (RRWG)" del proyecto de investigación "Coral Reef Targeted Research and Management" por sus ideas, información y discusión activa sobre conceptos, temáticas y técnicas para la restauración arrecifal. Agradecemos a Richard Dodge, Andrew Heyward, Tadashi Kimura, Chou Loke Ming, Aileen Morse, Makoto Omori y Buki Rinkevich por su desinteresado intercambio de opiniones. Agradecemos también a Marea Hatzioios, Andy Hooten, James Guest y Chris Muhando por sus invaluable comentarios sobre el texto. Finalmente, agradecemos a CRISP "Coral Reef Initiative for the South Pacific", Eric Clua, Sandrine Job y Michel Porcher por proveer los detalles de los proyectos de restauración para la sección "Aprendiendo lecciones a partir de proyectos de restauración".

Datos de publicación: Edwards A.J., Gomez E.D. (2007). *Reef Restoration Concepts & Guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty*. Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management program: St. Lucia, Australia. iv + 38pp.

Publicado por: The Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management program

Dirección: Project Executing Agency
Centre for Marine Studies
Level 7 Gerhmann Building
The University of Queensland
St Lucia QLD 4072 Australia

Teléfono: +61 7 3346 9942

Fax: +61 7 3346 9987

Correo electrónico: info@gefcoral.org

Sitio web: www.gefcoral.org

El programa "Reef Targeted Research & Capacity Building for Management (CRTR)" es una iniciativa de liderazgo internacional en la investigación de los arrecifes de coral, la cual provee un acercamiento al conocimiento creíble, basado en hechos y comprobado científicamente para un mejor manejo de los arrecifes de coral.

El programa CRTR es una asociación entre el "Global Environment Facility", el Banco Mundial, la Universidad de Queensland (Australia), la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA) y aproximadamente 40 institutos de investigación y terceros alrededor del mundo.

Traducción: Isabel Porto Morales y María Catalina Reyes-Nivia

ISBN: 978-1-921317-00-2

Código del producto: CRTR 001/2007

Diseño y tipografía: The Drawing Room, Newcastle upon Tyne, United Kingdom. www.thedrawingroom.net

Impreso por: AT&M-Sprinta, Launceston, Tasmania, Australia.

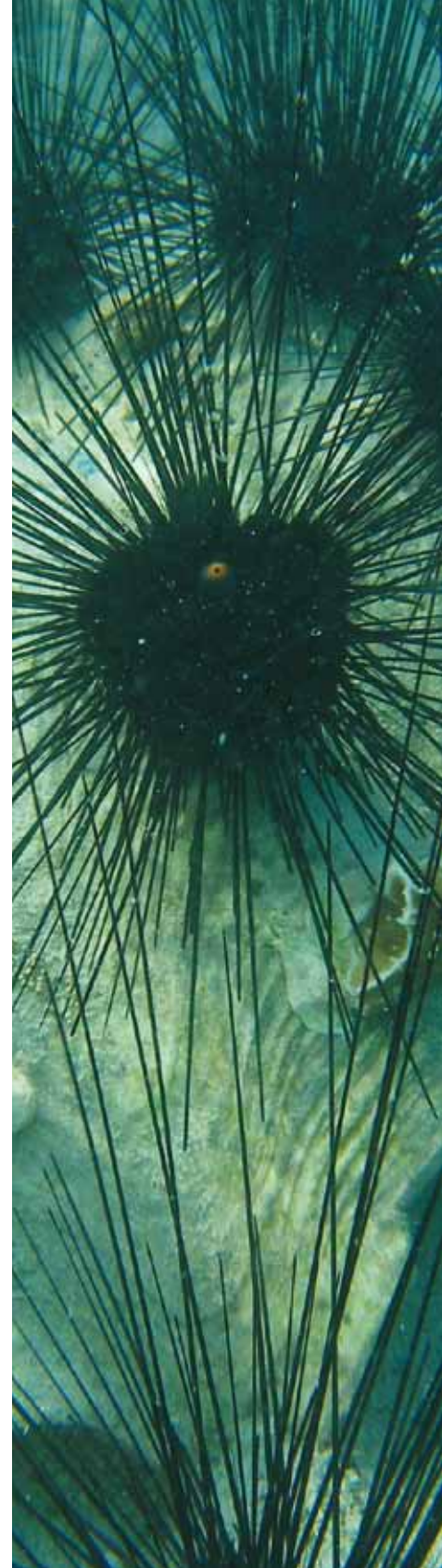
Enero 2007

© Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program, 2007



Tabla de Contenido

1 Antecedentes	1
1.1 Por qué los arrecifes de coral son importantes?	1
1.2 Cuáles son las amenazas para los arrecifes de coral?	1
1.3 Cuáles son los objetivos de la restauración?	3
1.3.1 Estableciendo metas y criterios adecuados para proyectos de restauración	4
1.4 Por qué llevar a cabo restauración de los arrecifes?	6
1.5 Qué pueden lograr realmente las intervenciones de restauración de arrecifes?	8
1.6 Es la restauración activa la opción correcta?	9
2 Restauración Física	10
2.1 Clasificación de los daños y reparación de los arrecifes deteriorados	10
2.2 Creación de arrecifes artificiales	12
3 Restauración Biológica	13
3.1 Por qué concentrarse en los corales?	14
3.2 Obtención de trasplantes de coral	14
3.3 Cultivos de corales	15
3.3.1 Propagación asexual de corales	15
3.3.2 Propagación sexual de corales para la siembra de arrecifes	16
3.4 Fijación de los trasplantes de coral	18
3.5 Cuáles especies?	20
3.6 Tamaño de los trasplantes	21
3.7 Diversidad y densidad de los trasplantes	21
3.8 Cuando trasplantar?	23
3.9 Monitoreo y mantenimiento	24
4 Cuánto cuesta la restauración arrecifal?	26
5 Aprendiendo lecciones a partir de proyectos de restauración	28
Casos de estudio	
1: Restauración de un arrecife afectado por la extracción de arena y la creación de un jardín de coral, Polinesia francesa.	29
2: Restauración de un arrecife frangeante impactado por un ciclón tropical, La Réunion	31
3: Trasplante de corales del puerto Longoni, Mayotte	32
4: Restauración de un arrecife afectado por eventos de blanqueamiento, Fiji	34
5: Trasplante de corales del puerto Goro Nickel, Nueva Caledonia.	36
6 Bibliografía	37



Dos advertencias importantes:

“Aunque la restauración puede fortalecer los esfuerzos de conservación, la restauración siempre ocupará un pobre y segundo lugar en la preservación de los hábitats naturales.”

El uso de la ‘restauración’ ex situ (mitigación) como un reemplazo equivalente por la destrucción o degradación (‘toma’) de un hábitat o una población, es en lo mejor generalmente no apoyado por evidencia fuerte y en lo peor una fuerza degradante e irresponsable en su propio derecho.”

Young, T.P. (2000). Restoration Ecology and Conservation Biology. Biological Conservation – 92: 73-83

Cómo hacer uso de esta guía



Esta guía contiene consejos simples sobre la restauración de los arrecifes de coral para administradores de áreas costeras, gestores de decisiones, consejeros técnicos y otras personas que estén involucradas en los esfuerzos de restauración arrecifal basados en el trabajo comunitario. Aquellos que intentan restaurar los arrecifes deben tener en cuenta que todavía existe una gran incertidumbre en el soporte científico de la restauración, debido a la gran complejidad de los ecosistemas arrecifales.

Actualmente, gran parte de la investigación de los arrecifes de coral alrededor del mundo está en marcha para abordar estos vacíos en nuestro conocimiento e incrementar nuestro entendimiento sobre lo que las intervenciones de restauración arrecifal pueden o no lograr. A pesar de la incertidumbre hay muchas lecciones útiles de trabajos precursores que pueden enseñarnos en términos de lo que funciona y lo que no funciona.

La siguiente guía intenta resumir esas lecciones de una forma breve, para que quienes pongan en práctica la restauración arrecifal puedan tener una clara idea de lo que se puede y no se puede lograr y puedan establecer objetivos y expectativas acordes con las limitaciones.

Una gran cantidad de la literatura disponible detalla la diversidad de métodos que pueden o que han sido aplicados en proyectos de restauración, pero no consideran su uso en un contexto de manejo, ni ofrecen consejos sobre la ejecución técnica necesaria, la probabilidad de éxito y los riesgos o posibles costos. También existe una prevención para difundir la información sobre el fracaso de la restauración, y para analizar las causas y comunicar las lecciones aprendidas. Usualmente, un consejo a cerca de lo que no funciona es tan valioso como un consejo acerca de lo que funciona y puede prevenir que las personas repitan los errores cometidos en el pasado. A veces este puede ser todo el consejo que se debe dar. A pesar de todas las incertidumbres, nosotros mantenemos nuestra determinación e intentamos ofrecer una diversidad de consejos hasta donde nos sea posible para que los gestores tengan alguna idea sobre hacia donde sus acciones podrían conducirlos.

Esta guía no tiene la intención de proporcionar un consejo práctico detallado sobre cómo llevar a cabo la restauración de los arrecifes, pero los autores sí pretenden preparar un Manual de Restauración de Arrecifes que cubra estos aspectos y el cual se basará en varios manuales ya existentes (por ejemplo, Clark 2002; Harriot and Fisk 1995; Heeger and Sotto 2000; Miller *et al.* 1993; Omori and Fujiwara 2004; Porcher *et al.* 2003- mirar bibliografía para detalles). Además, se planea sintetizar los resultados de varios proyectos internacionales que actualmente realizan investigaciones sobre la restauración de los arrecifes.

Mientras tanto, para más información detallada, los practicantes son referidos a los manuales mencionados anteriormente y a las 363 páginas del *Coral Reef Restoration Handbook* editado por William F. Precht y publicado en 2006 por CRC Press (ISBN 0-8493-2073-9). Este fue el primer libro dedicado a la ciencia de la restauración de los arrecifes de

coral y sus 20 capítulos, escritos por muchos de los líderes en el campo, resumen la numerosa literatura disponible hasta la fecha. El libro está diseñado para guiar a los científicos y administradores de los recursos durante el proceso de toma de decisiones, desde la evaluación inicial, a través del diseño conceptual de restauración, implementación y monitoreo, y es una fuente esencial para aquellos que desean profundizar en el conocimiento científico, legal y socioeconómico de la restauración arrecifal. Si bien alrededor de un tercio de los capítulos tienen un fuerte énfasis en la perspectiva de los Estados Unidos, los asuntos internacionales más generales también son cubiertos.

Para una visión general de la restauración ecológica el practicante es referido a *The SER International Primer on Ecological Restoration* (versión 2; octubre 2004) el cual está disponible en la página web de "Society for Ecological Restoration International" www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp. Este documento ofrece una visión útil y concisa de las bases conceptuales para la restauración con un fuerte enfoque práctico.

Esta guía es más de consulta rápida y no necesita ser leída de principio a fin. Las secciones 1, 2, 3.1 y 4 proveen un consejo importante para los administradores costeros y los gestores de decisiones quienes estén considerando la restauración arrecifal. Las secciones 3.2 a la 3.9 y la sección 5 están dirigidas hacia consejeros técnicos (quienes son biólogos marinos profesionales con buenos conocimientos en el tema, pero que no tienen la especialización en restauración ecológica de los arrecifes). Cada proyecto de restauración necesita por lo menos una persona que lo dirija.

Para aquellos que solo necesitan una mirada rápida, los puntos clave de los textos están resumidos como "Cuadro de Mensajes" y "Lista de Buenas Prácticas"

Mensajes claves



La restauración ecológica es el proceso de *asistir* la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido.



La restauración de los arrecifes está en sus inicios. No podemos crear arrecifes completamente funcionales.



Aunque la restauración puede fortalecer los esfuerzos de conservación, la restauración siempre ocupará un pobre y segundo lugar en la preservación de los hábitats naturales.



Los arrecifes de coral que no están sometidos a fuertes impactos de tipo antrópico, a menudo pueden recuperarse naturalmente de tales perturbaciones sin la intervención humana.



La restauración activa de los arrecifes que se ha llevado a cabo con algún éxito, ha sido a escalas de hasta unos cientos de hectáreas.



La restauración incluye medidas pasivas o indirectas de manejo para remover los obstáculos en la recuperación natural, así como intervenciones activas o directas como el trasplante.



La restauración activa no es una píldora mágica. La clave es un mejor manejo de las áreas arrecifales.



Los objetivos de la restauración arrecifal están dictados por limitaciones económicas, legales, sociales y políticas así como por realidades ecológicas. Sin embargo, ignorar el aspecto ecológico significa un alto riesgo de fracaso.



Los objetivos de los proyectos de restauración se deben formular desde un principio con la mayor precisión posible y se deben considerar las diferentes formas de alcanzarlos dentro un contexto amplio de planeación del manejo costero.



Las metas o indicadores cuantificables deben ser establecidos de manera que permitan tanto la evaluación temporal del progreso de los objetivos de restauración, así como un manejo adaptativo del proyecto de restauración.



El monitoreo del progreso en el cumplimiento de las metas debe realizarse en intervalos regulares de tiempo durante varios años.



Los éxitos, fracasos y lecciones aprendidas deben ser ampliamente difundidas para que otros pueden beneficiarse de dichas experiencias.



La restauración física de los arrecifes es solamente para expertos. Se debe buscar asesoramiento de expertos en ingeniería civil.



Cualquier tipo de restauración física puede ser un prerrequisito para obtener alguna probabilidad de éxito en la restauración biológica.



Existen alrededor de 300,000 km² de arrecifes de coral en el mundo. La falta de sustrato duro no es una cuestión crítica. El manejo de la degradación de los arrecifes naturales es la cuestión crítica.



El uso de arrecifes artificiales para la restauración necesita ser considerado cuidadosa y críticamente en términos de necesidad, impacto ecológico, relación costo-beneficio y estética.



Considerar la restauración no como un evento aislado, sino como un proceso continuo sobre una escala temporal de años en la que probablemente se necesitará un manejo adaptativo.



Es probable que la restauración física de los arrecifes tenga un costo de alrededor de US\$100,000-1,000,000 por hectárea.



Los trasplantes de bajo costo parecen estar alrededor de US\$2000-13,000 por hectárea. Con objetivos más ambiciosos este valor aumenta a aproximadamente \$40,000 por hectárea.



Como comparación, una estimación aproximada del valor promedio anual de los bienes y servicios de los arrecifes de coral es de US\$6,075 por hectárea.

1. Antecedentes

El objetivo de esta sección es proporcionar un contexto de manejo para la restauración arrecifal, asumiendo cierta familiaridad con los arrecifes de coral. Un punto clave para mencionar, es que la restauración de los arrecifes debe ser considerada solo como una opción dentro de un plan de manejo integrado de las zonas costeras. A menudo, entusiastas que proponen la restauración activa olvidan considerar el contexto más amplio y los factores que están fuera de su control los cuales ponen en riesgo sus esfuerzos.

1.1 Por qué los arrecifes de coral son importantes?

Los arrecifes de coral no solo previenen la erosión de las costas sino que proveen alimento y sustento para cientos de millones de personas en las zonas costeras de más de 100 países por medio de la explotación de sus recursos marinos y a través del turismo atraído por su belleza, biodiversidad y las playas blancas que ellos sustentan y protegen. Se considera que por lo menos medio billón de personas alrededor del mundo dependen parcial o completamente de los recursos de los arrecifes de coral para su sustento. Este sustento incluye la pesca, rebusca, maricultura, el comercio con acuarios marinos y una amplia gama de empleos y oportunidades comerciales asociadas al turismo. Los arrecifes también son una fuente prometedora de nuevos productos farmacéuticos que pueden tratar enfermedades como el cáncer y el sida. En términos de biodiversidad, alrededor de 100,000 especies descritas, representando del 94% de los phyla del planeta, han sido reportadas en los arrecifes de coral y algunos científicos estiman que puede haber cinco o más veces ese número aún sin describir.

A escala global, se ha estimado que el valor de todos los bienes y servicios económicos que los arrecifes de coral proveen es de aproximadamente US\$375 billones por año, la mayoría provenientes de la recreación, servicios de protección costera y producción de alimentos. Esto equivale a un valor promedio de alrededor US\$6,075 por hectárea de arrecife de coral por año. En las Filipinas que tiene un estimado de 27,000 Km² de arrecife de coral (aunque solo el 5% están en excelentes condiciones), se piensa que los arrecifes contribuyen con al menos US\$1,35 billones por año a la economía nacional por los valores combinados de la pesca, el turismo y la protección de las costas.

La degradación de los arrecifes significa la pérdida de estos bienes y servicios económicos y la seguridad alimentaria y de empleo para los habitantes de las costas, la mayoría viviendo en los países en vía de desarrollo y en condiciones de pobreza.

1.2 Cuáles son las amenazas para los arrecifes de coral?

El reporte "*Status of Coral Reefs of the World*" 2004, estima que el 20% de los arrecifes del mundo han sido efectivamente destruidos y no muestran probabilidades inmediatas de recuperarse, el 24% se encuentran bajo inminente riesgo de colapsar por las presiones humanas y otro 26% están bajo una amenaza de colapso a largo plazo.

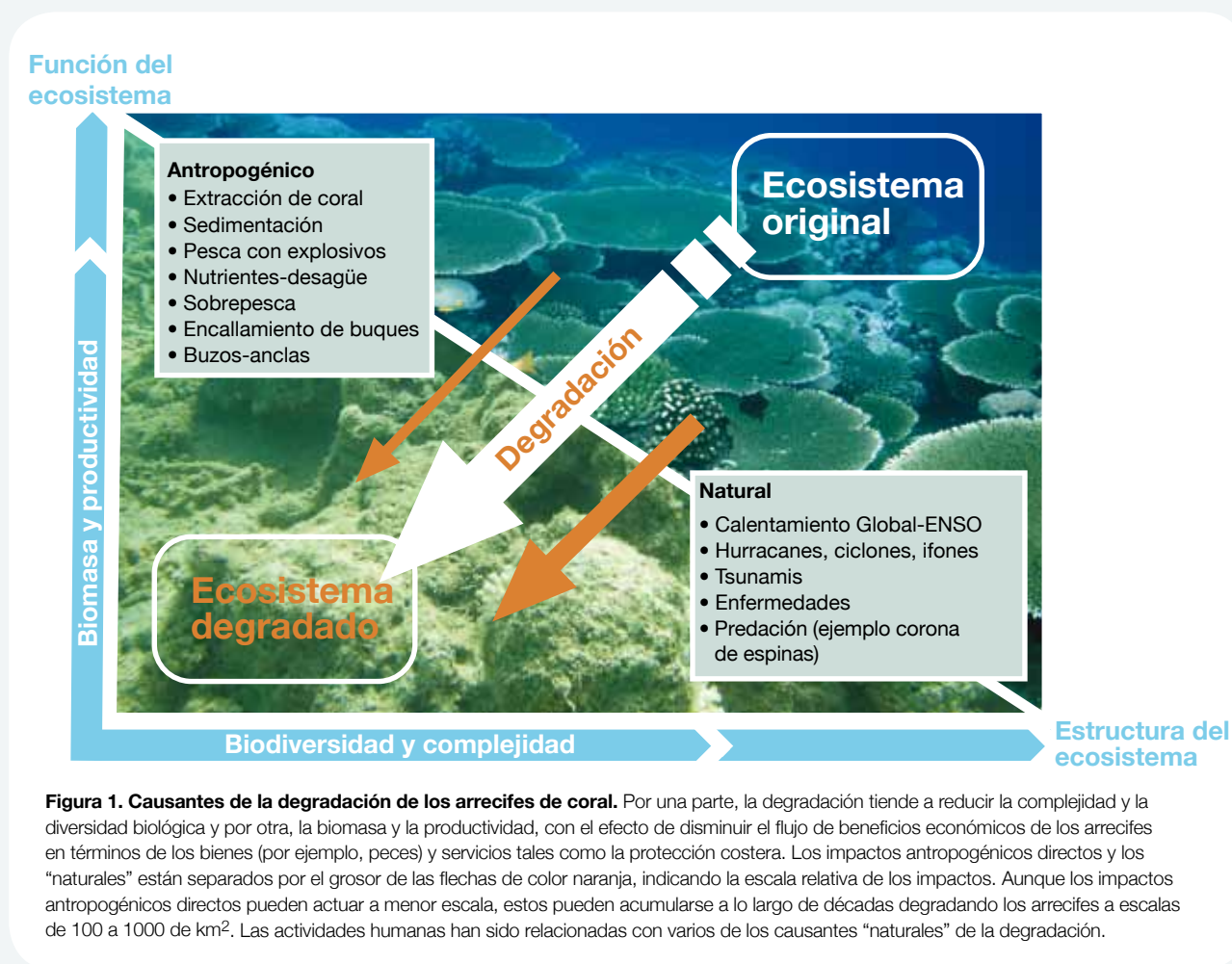
Unos 20 años atrás, parecía que la amenaza más grande para los arrecifes de coral eran las perturbaciones crónicas de tipo humano como el incremento en la sedimentación debido al cambio de uso del suelo y el pobre manejo de las cuencas hidrográficas, la descarga de aguas residuales, la carga de nutrientes y eutroficación debida al cambio en las prácticas agrícolas, la extracción de coral y la sobrepesca (Figura 1). Sin embargo, en años recientes el cambio climático global por un lado incrementado los eventos de blanqueamiento coralino y la subsecuente mortandad de los corales y por el otro la acidificación de los océanos- ha emergido quizás como la mayor amenaza para la supervivencia de los arrecifes de coral. Sin duda alguna, la habilidad de los arrecifes para recuperarse de eventos anormales de calentamiento, tormentas tropicales y otras perturbaciones fuertes, es profundamente afectada por el nivel de los impactos crónicos antropogénicos. Cuando los arrecifes son saludables y no están estresados, pueden a menudo recuperarse rápidamente (algunas veces entre 5-10 años). Estos arrecifes pueden ser descritos como "resilientes" en cuanto a que "regresan" a un estado similar al estado pre-disturbio después del impacto. A diferencia, los arrecifes que ya se encuentran perturbados por las actividades humanas, a menudo muestran una pobre habilidad para recuperarse (por ejemplo, carecen de resiliencia). Las perturbaciones naturales han afectado a los arrecifes de coral por milenios antes que los humanos provocaran impactos y los arrecifes se recuperaban naturalmente. Inclusive ahora, los arrecifes saludables pueden, y se recuperan de perturbaciones mayores. Se estima que aproximadamente 40% del 16% de los arrecifes del mundo que fueron seriamente afectados por el inusual calentamiento de los océanos durante el fenómeno del Niño (ENSO) en 1998 se están recuperando o ya se recuperaron.

En el contexto de la restauración es importante distinguir entre perturbaciones agudas y crónicas. Las intervenciones de restauración tienen pocas posibilidades de éxito en los arrecifes que están bajo estrés crónico. Las medidas de gestión deben ser llevadas a cabo primero para mejorar o eliminar los agentes crónicos de perturbación antropogénica (por ejemplo, la escorrentía de sedimentos, aguas residuales o sobrepesca). Por otro lado, es poco lo que los administradores de recursos pueden hacer frente a los causantes "naturales" de degradación como el blanqueamiento masivo relacionado al cambio climático global, las tormentas, tsunamis y la proliferación de enfermedades. Sin embargo, estos factores estocásticos no deben ser ignorados en la restauración y deben ser tenidos en cuenta durante el diseño de proyectos de restauración incluyendo esfuerzos para minimizar los riesgos provocados por tales acontecimientos.

El aspecto económico para una mejor gestión es importante. Por ejemplo, en Indonesia se estima que para los individuos, el beneficio neto procedente de la pesca con explosivos es de US\$15.000 por km², mientras que la pérdida neta cuantificable para la sociedad debida a esta actividad es de US\$98,000-761,000 por km². Ejemplos en Indonesia, de esta y otras amenazas se muestran en la Tabla 1. Utilizando cifras de rango medio uno encuentra que las pérdidas en promedio neto para la sociedad son casi diez veces los beneficios netos para los individuos.

Tabla 1. Beneficios netos totales y pérdidas cuantificables debido a las amenazas para los arrecifes de coral en Indonesia (valor actual; tasa de descuento del 10%; periodo de tiempo de 25 años). Adaptado de Cesar (2000).

Amenaza	Beneficios netos totales para Individuos	Pérdidas netas totales para la sociedad
Pesca con veneno	US\$33,000 por km ²	US\$43,000-476,000 por km ²
Pesca con explosivos	US\$15,000 por km ²	US \$98,000-761,000 por km ²
Extracción de coral	US\$121,000 por km ²	US \$176,000-903,000 por km ²
Sedimentación por deforestación	US\$98,000 por km ²	US \$273,000 por km ²
Sobrepesca	US\$39,000 por km ²	US \$109,000 por km ²



La escala sobre la cual actúan los diferentes causantes de la degradación de los arrecifes de coral, es importante en términos de lo que la restauración puede lograr (ver sección 1.5). Las perturbaciones de gran escala tales como la mortalidad masiva inducida por el Fenómeno del Niño, los ciclones tropicales (huracanes, tifones) y la explosión masiva de la estrella de mar corona de espinas (*Acanthaster planci*), pueden causar daños a escalas de órdenes de magnitud superiores que aquellos en los que la restauración se podría intentar. Sin embargo, las áreas que suelen deteriorarse como consecuencia de embarcaciones encalladas, descargas de aguas residuales, pesca con explosivos, buzos o anclaje de embarcaciones son de un tamaño similar a aquellas en donde la restauración se ha efectuado con cierto éxito.

En resumen, si los arrecifes están estresados debido a las actividades antropogénicas (por ejemplo sobrepesca, sedimentos y escorrentía de nutrientes), van a tener menos posibilidad de recuperarse de las perturbaciones que ocurren a gran escala. No es posible que la restauración activa pueda ayudar a dicha recuperación debido al enorme desfase de escalas, pero un buen manejo costero (referido por algunos como "restauración pasiva") puede darles una probabilidad de luchar. Si se intenta una gestión sobre aquellas amenazas que pueden ser potencialmente manejables, entonces la restauración de los arrecifes a menores escalas puede ayudar a la gestión.

1.2 Cuáles son los objetivos de la restauración?

Antes de considerar los objetivos de proyectos específicos de restauración de arrecifes, vale la pena preguntarse qué se entiende por restauración ecológica. La Asociación para la Restauración Ecológica Internacional (The Society for Ecological Restoration International) ofrece la siguiente definición:

“La restauración ecológica es el proceso de *asistir* la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido”

La letra cursiva es idea de los autores y enfatiza que las intervenciones de restauración están diseñadas para ayudar a los procesos de recuperación natural. Si estos procesos son gravemente afectados, es probable que otras medidas de manejo sean necesarias antes de que las intervenciones de restauración puedan tener alguna posibilidad de éxito. Nuestra “ayuda” en la recuperación natural puede ser tanto en la forma de medidas pasivas o indirectas o en forma de medidas activas o intervenciones directas. La primera forma, generalmente involucra un mejoramiento del manejo de las actividades antropogénicas que dificultan los procesos de recuperación natural. La segunda forma, generalmente involucra una activa restauración física y / o intervenciones de restauración biológicas (por ejemplo el trasplante de corales y otros componentes de la biota a las zonas degradadas).

La restauración de los arrecifes de coral se encuentra todavía en sus inicios y no es prudente sobreestimar lo que esta actividad puede lograr. Si quienes toman las decisiones son

llevados a creer que arrecifes funcionales pueden ser creados por las intervenciones de restauración (por ejemplo, trasplantando organismos arrecifales desde sitios que se sacrifican, deseados para el desarrollo, a un área fuera de la zona de impacto), ellos actuarán acorde. Se debe enfatizar a quienes toman las decisiones, que nos encontramos muy lejos de poder recrear ecosistemas arrecifales completamente funcionales (y posiblemente nunca podremos hacerlo!) y por tanto, las decisiones que se basan en la mitigación compensatoria están promocionando efectivamente la pérdida neta del arrecife.

Posiblemente es muy útil definir lo que significa restauración, rehabilitación y remediación:

Restauración: es el acto de retornar un ecosistema degradado, tanto como sea posible, hacia a su condición original.

Rehabilitación: es el acto de reemplazar parcial, o rara vez completamente, las características estructurales o funcionales de un ecosistema que se ha reducido o perdido, o la sustitución de cualidades o características alternativas a aquellas que se presentaban originalmente, con la condición de que tengan un valor social, económico o ecológico mayor al que existía en el área perturbada o degradada.

Remediación: es el acto o proceso de remediar o reparar un ecosistema deteriorado.

Función del ecosistema

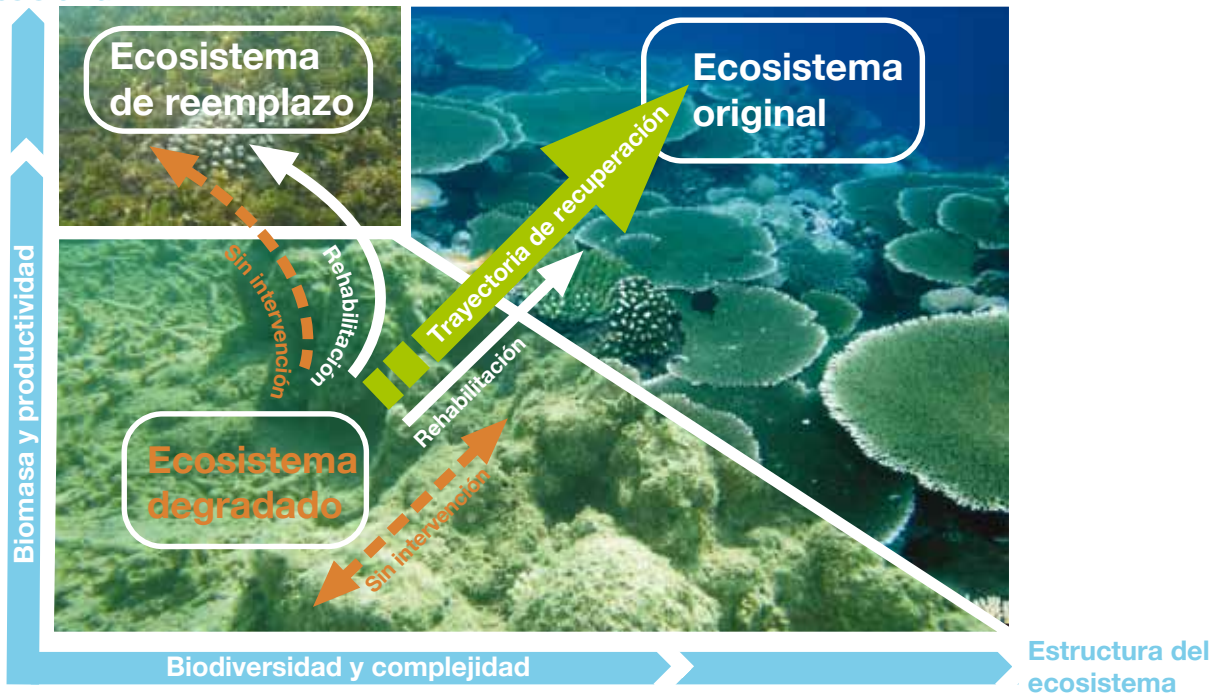


Figura 2. Posibles trayectorias de recuperación o cambio de estado de un ecosistema degradado con o sin intervenciones de restauración activa. Revisar el texto a continuación para mayor explicación. (Diagrama basado en la figura 5.2 en Bradshaw, A.D. (1987). The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems. In: Jordan III, W.R., Gilpin, M.E. and Aber, J.D.(eds). *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*. Cambridge University Press.)

El principal objetivo de la restauración es regenerar el arrecife degradado en términos de la estructura y función del ecosistema. Los atributos que deben ser considerados son, por un lado la diversidad biológica y la complejidad y por otro la biomasa y la productividad (Figura 2). En un sistema arrecifal sano que no ha sido físicamente afectado, se puede esperar que el área afectada se recupere naturalmente y vuelva a su estado anterior a la perturbación a lo largo de una trayectoria de sucesión (flecha gruesa verde). En tal caso el “abandono” (dejar que la naturaleza siga su curso) y la espera pueden lograr la restauración. Sin embargo, si la degradación es lo suficientemente severa o espacialmente extensa, o el sistema arrecifal está sujeto a un estrés crónico adicional inducido por el hombre (como la pesca excesiva, descarga de nutrientes, sedimentación), entonces, el “abandono” (no hacer nada) puede traer un mayor declive o posiblemente un cambio a un estado alterno, quizá no deseable para los usuarios de los recursos locales (por ejemplo, un arrecife dominado por macroalgas). En tal caso, si se desea que el arrecife se recupere a un estado deseable, probablemente será necesaria la restauración activa en combinación con acciones de gestión para reducir el estrés antropogénico. A pesar de las medidas de restauración activa, la recuperación puede progresar hacia un estado diferente del ecosistema original. Este puede ser un estado muy similar (por ejemplo, los corales dominan pero las especies dominantes cambian), en tal caso, una “rehabilitación” (mejoramiento de la función del ecosistema y la estructura) se ha logrado, pero no una restauración por completo. Alternativamente, la restauración activa puede fracasar y dar lugar a un estado del ecosistema diferente (sistema “sustituto”), en el cual la percepción deseable dependerá de los objetivos de la intervención de restauración. Decidir si se necesitan medidas activas y cuáles, es tal vez la cuestión más difícil de resolver. Vamos a tratar de dar algunas orientaciones en las siguientes secciones sobre cómo aproximarse a este tema.

En los párrafos anteriores, nos hemos concentrado en los objetivos biológicos de la restauración de los arrecifes y sus posibles resultados. Sin embargo, en el mundo real, los objetivos de la restauración probablemente están dictados por restricciones económicas, jurídicas, sociales y políticas. Estas limitaciones pueden conducir los objetivos ecológicos de un proyecto, y lo peor, pueden entrar en conflicto con las mejores prácticas ecológicas. Los proyectos que no tienen en cuenta las realidades ecológicas tienen un alto riesgo de fracasar, tienen una pobre relación costo-beneficio y pueden traer más daños que beneficios.

No todos los proyectos de restauración de los arrecifes encajan en el esquema anterior. A menudo, en el sector turístico existe un deseo de promover un fácil acceso a los parches de arrecife para que cualquier persona en el complejo hotelero pueda ver los corales y los coloridos peces arrecifales en un ambiente somero, seguro y protegido. Para ello, los parches de arrecife pueden ser (re) creados en una laguna, de sustrato natural o artificial. Generalmente, el trasplante de corales y otras técnicas de “restauración” están involucrados. Estos proyectos también pueden ocurrir en áreas de parques marinos y pueden claramente tener un valor educativo y de sensibilización del público. Estos proyectos pueden no ser estrictamente de restauración sino de sustitución o creación de hábitat. No obstante, estos son a menudo considerados como actividades de restauración y están sujetos a las

mismas limitaciones ecológicas. Aquí los objetivos son simples, crear un hábitat arrecifal coralino de fácil acceso y estéticamente agradable (ojalá auto sostenible) para los turistas o visitantes de los parques que no son buzos expertos.

Un segundo tipo de proyecto de restauración que no se ajusta realmente al esquema, es cuando un área arrecifal es destruida por el desarrollo (por ejemplo, la recuperación de tierras, una central eléctrica o el desarrollo de un puerto) y el coral vivo u otros organismos arrecifales - que morirán si se dejan *in situ*- son trasplantados a un lugar fuera del arrecife donde no corran peligro. Las decisiones de manejo han sido tomadas considerando que va a haber una pérdida neta de hábitat; el principal objetivo de los proyectos de mitigación es salvar la mayor cantidad posible de organismos sésiles de la zona de impacto. Como un subproducto, las áreas receptoras pueden beneficiarse si el proyecto está bien planeado y ejecutado. Nuevamente, el trasplante y otras técnicas de restauración de los arrecifes están involucrados, y esos proyectos pueden ser útilmente considerados dentro de un contexto de restauración, inclusive si el principal promotor es la mitigación y no una necesidad de restauración.

1.3.1 Estableciendo metas y criterios adecuados para proyectos de restauración

Antes de iniciar cualquier proyecto de restauración, los objetivos del trabajo deben ser cuidadosamente considerados y descritos con la mayor precisión posible. Sorprendentemente, esto rara vez se hace, y como consecuencia los objetivos son a menudo pobremente definidos o no adecuadamente planteados y pueden ser poco realistas en términos ecológicos, de manera que el proyecto se condena desde el principio. Sin objetivos, tampoco es posible evaluar el éxito y es difícil aprender las lecciones. Una vez que los objetivos son acordados y están claros para todos los interesados, un conjunto de indicadores objetivamente verificables y cuantificables (o metas), deben ser establecidos de tal manera que permitan evaluar el éxito (o fracaso) del proyecto de restauración. Los indicadores deben coincidir con los objetivos, de manera que si las metas son alcanzadas, los objetivos se habrán logrado con éxito. Las metas deben ser realistas y fácilmente evaluadas y se debe definir el plazo dentro del cual deben ser alcanzadas. Un plazo explícito con las metas permite monitorear el progreso de la restauración en el tiempo y permite tomar medidas correctivas (manejo adaptativo) en caso de ser necesarias; por ejemplo cuando fracasa la ejecución de los indicadores dentro del plazo previsto. Los indicadores pueden ser medidos como el porcentaje de cobertura de coral vivo o evidencia de la restauración de los procesos claves del ecosistema como reclutamiento de corales o pastoreo de peces.

Decidir sobre los criterios que demuestran el éxito de la restauración, escoger los indicadores y el valor de los objetivos no es fácil. El cronograma esperado para la recuperación puede ser incierto, y el “estado del ecosistema de referencia” esperado puede no ser obvio a no ser que el área degradada sea pequeña y que el arrecife de comparación se encuentre cerca y en buenas condiciones y que sirva de “guía”. Se deben buscar datos históricos o de lugares distantes pero de aspecto similar, profundidad, exposición etc. para proveer un indicio sobre el estado al que se está tratando de restaurar el arrecife.

Ante el cambio climático global, el “estado del ecosistema de referencia” estará también probablemente cambiando, por lo tanto un enfoque pragmático es necesario. Dada esta incertidumbre, se debe ser sensato al establecer los objetivos e indicadores para que muestren si la recuperación va en la trayectoria correcta en términos de la dirección del cambio, pero que no sean muy explícitos en cuanto a la cantidad de cambio esperado.

Para la restauración activa, puede ser fácil medir el éxito si se establecen un número de áreas “ control” en los sitios degradados donde no se han llevado a cabo intervenciones activas (Figura 3). Así, usted podrá luego comparar lo que sucede a través del tiempo en las áreas donde se han apoyado activamente los procesos de recuperación natural y lo que sucede en las áreas aleatorias donde se ha dejado que la recuperación natural (si ocurre) siga su curso. Los costos

son lo que se ha invertido y los beneficios son cualquier mejoramiento de los indicadores (por ejemplo, porcentaje de cobertura de coral vivo, número de peces herbívoros, tasas de reclutamiento de corales) en las áreas restauradas por encima de los de las zonas de control. Dado el incremento en la degradación de los arrecifes, los altos costos de restauración activa y los potenciales beneficios en términos de aprendizaje a partir de la experiencia de los proyectos que incluyen un elemento de diseño experimental, se recomienda fuertemente esta aproximación cuando sea posible. El período de tiempo durante el cual los cambios son evaluados debe ser por lo menos de varios años para que coincida con el tiempo en el que se espera que la recuperación ocurra. Los estudios muestran que la recuperación natural toma por lo menos 5-10 años. El objetivo es la restauración a largo (5-10 + años) y no a corto plazo ya que a menudo son mejoras efímeras de los indicadores.

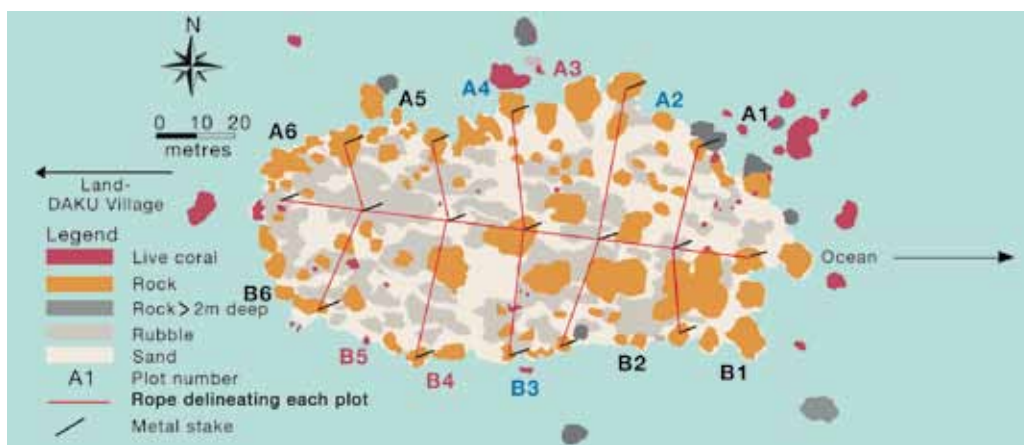









Figura 3. Mapa de un área de restauración en Fiji que muestra cómo un área arrecifal degradada fue dividida en 12 subáreas, de las cuales tres fueron seleccionadas para restauración (A3, B4 y B5) y tres fueron seleccionadas para monitoreo como controles (A2, A4 y B3). (Tomado de Job, S., Bowden-Kerby, A., Fisk, D., Khan, Z and Nainoca, F. (2006). Reporte de progresos en trabajos de restauración y monitoreo. Moturiki Island- Fiji. Reporte técnico. Coral Reef Initiative for the South Pacific.)

Cuadro de Mensajes

-  La restauración ecológica es el proceso de *asistir* la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido.
-  La restauración incluye medidas pasivas o indirectas de manejo para remover los obstáculos en la recuperación natural, así como intervenciones activas o directas como el trasplante.
-  Los objetivos de la restauración arrecifal están dictados por restricciones económicas, legales, sociales y políticas así como por realidades ecológicas. Sin embargo, ignorar lo último significa un alto riesgo de fracaso.
-  Los objetivos de los proyectos de restauración deben ser formulados desde un principio con la mayor precisión posible, y las diferentes formas de alcanzarlos deben ser consideradas dentro un contexto de planeación y manejo costero integrado.
-  Las metas o indicadores cuantificables deben ser establecidos de manera tal que se pueda evaluar tanto el progreso hacia el alcance de los objetivos de restauración en el tiempo, así como permitir el manejo adaptativo del proyecto de restauración.
-  El monitoreo sobre el progreso hacia el cumplimiento de las metas debe ser llevado a cabo a intervalos regulares de tiempo durante varios años.
-  Los éxitos, fracasos y lecciones aprendidas deben ser ampliamente difundidos para que así otros pueden beneficiarse de anteriores experiencias. Cuando poco se sabe, cada pequeño conocimiento ayuda.

1.4 Por qué llevar a cabo restauración de los arrecifes?

Los sistemas de arrecifes de coral han evolucionado para afrontar las perturbaciones naturales, y de hecho éstas pueden ser importantes en la estructuración de las comunidades arrecifales. En general (si se encuentran saludables y sin estrés debido a las actividades antropogénicas), los arrecifes tienden a recuperarse de perturbaciones severas, sin embargo, la recuperación completa puede tomar décadas – un breve período en la escala evolutiva o ecológica, pero extenso en nuestra escala de tiempo.

Los impactos antropogénicos son a menudo crónicos (a largo plazo) e incluso cuando son agudos, por ejemplo cuando un buque encalla, pueden causar daños físicos que pueden comprometer los procesos de recuperación natural. Para permitir cualquier posibilidad de recuperación en lugares donde ocurren impactos humanos crónicos, puede ser requerido implementar medidas de restauración pasivas o indirectas, como el tratamiento de aguas residuales, manejo de cuencas, control sobre las pesquerías, etc., las cuales son necesarias para permitir que los procesos de recuperación natural operen, seguidas por intervenciones de restauración activas o directas como el trasplante de corales o la estabilización del sustrato. Cuando la recuperación se ve impedida debido a daños físicos, la restauración física activa se convierte en un requisito para la recuperación. Por lo tanto, es principalmente sobre los arrecifes perturbados por los humanos donde la restauración (pasiva o activa) es necesaria. La principal razón socio-económica para restaurar, es restablecer el flujo de los bienes y servicios que los arrecifes de coral sanos proporcionan (ver sección 1.1).

Nuevamente, las decisiones sobre la restauración de los arrecifes son a menudo impulsadas por el entorno económico, jurídico, social y político. Por lo tanto uno se encuentra con que una gran parte de la restauración de los arrecifes se asocia con la reparación de daños causados por el encallamiento de embarcaciones. En tales casos, el seguro que cubre a las compañías de transporte marítimo (conocido como “partes responsables” en términos jurídicos) de la responsabilidad, constituye una fuente de financiación. En países como los EE.UU. también existe un marco jurídico que apoya la restauración compensatoria para sustituir la pérdida de los recursos y servicios del arrecife. La escala de los daños (en el orden 100-1000 por m² por incidente de hundimiento) coincide con la escala de lo que puede ser intentado por las técnicas actuales de restauración. Como resultado de esto, los proyectos de restauración de los encallamientos de

embarcaciones en áreas como el Santuario Marino Nacional de los Cayos de la Florida, han proporcionado muchas lecciones útiles. Una lección importante de los estudios sobre el encallamiento de embarcaciones, es que inclusive tales impactos antropogénicos localizados no retornan al estado anterior a la perturbación sino que pueden “tornarse” hacia un estado dominado por macroalgas o a comunidades de fondos duros que son diferentes al arrecife antes de la perturbación.

Un alentador desarrollo en la restauración de los arrecifes es el creciente interés por parte de las comunidades locales de países en desarrollo para mejorar la calidad y la productividad de los recursos arrecifales que han sido degradados por la pesca con explosivos, la sobrepesca mantenida a largo plazo, sedimentación, descarga de nutrientes u otros impactos. En tales casos, las comunidades tienden a utilizar una combinación de medidas de manejo (por ejemplo, declaración de áreas marinas protegidas o zonas de no-pesca) y restauración localizada para intentar restablecer el flujo de los recursos marinos (especialmente de peces) de los cuales la comunidad solía subsistir. En tales casos, la restauración activa es sólo una herramienta del arsenal que los administradores costeros tienen y debe considerarse solo como un componente de un plan de gestión integrado más amplio y no como un “píldora mágica”. Estas actividades también pueden tener efectos relacionados con el turismo (ver Sotto y Heeger, 2000).

Dos tipos de proyectos que involucran técnicas de restauración arrecifal y que pueden resultar en la restauración de áreas arrecifales son, la creación de parches de arrecife de fácil acceso para el turismo y la educación y la preservación de organismos arrecifales por su traslado ya que de otra manera iban a morir debido al desarrollo. Los motivos están claros en ambos casos.

Otro argumento a favor de la restauración está relacionado con el riesgo de que los sistemas dominados por coral sean “desviados” hacia otros estados alternos y estables debido a las perturbaciones (ver recuadro 1). La restauración de los arrecifes es muy costosa, más que la restauración de manglar o pastos marinos. Intentar restaurar parches de hábitat que han sido llevados aun estado alterno y estable puede ser aún más costoso y limitado. Sin embargo, una combinación de medidas de gestión (para reducir agentes crónicos de estrés antropogénicos) y la restauración activa en un sistema arrecifal degradado pueden mejorar la resiliencia y reducir el riesgo de que el ecosistema caiga en un estado alterno.

Recuadro 1. Caso histórico de Jamaica

Los peligros planteados por una combinación de impactos antropogénicos crónicos y las perturbaciones naturales para los arrecifes son un ejemplo de lo que ha ocurrido en Jamaica en las últimas décadas. A continuación un breve relato. En la década de los 70's, los arrecifes en Jamaica estaban dominados por coral con alrededor del 45-75% de cobertura viva dependiendo de la profundidad y la ubicación. Desde la década de los 60's la pesca ya era intensa con una clara evidencia de sobrepesca. En los arrecifes más accesibles se estima que la biomasa de peces fue reducida hasta un 80%. Así, los grandes depredadores como tiburones y pargos grandes, jureles, peces ballesta y meros seguidos por los grandes herbívoros, como algunos peces loro habían sido pescados casi hasta su agotamiento. Como la presión por la pesca continuó hacia abajo en la cadena alimenticia, la abundancia y tamaño de otros peces herbívoros se redujo. Sin embargo, el ecosistema tenía cierta redundancia debido a los erizos de mar (*Diadema antillarum*) los cuales se hicieron cargo de la mayor parte de la herbivoría que los peces proporcionaban.

La pesca redujo la abundancia tanto de los peces que se alimentan de erizos (por ejemplo, pez ballesta) como de los peces que compiten con los erizos por las algas. Como resultado, las poblaciones del erizo *Diadema* se expandieron.

El pastoreo de algas es importante porque si las macroalgas se vuelven dominantes, pueden ocupar la mayor parte del sustrato disponible en el arrecife e impiden que los corales u otros invertebrados se asienten. Generalmente hay un balance de la biomasa de las algas controlado por los herbívoros que se alimentan de ellas continuamente creando pequeños parches de sustrato disponible donde los invertebrados pueden asentarse. Sin embargo, en la ausencia de suficiente herbivoría, las macroalgas (las cuales cuando han crecido lo suficiente pueden ser desagradables para la mayoría de los herbívoros) pueden tomar el control. Cuando esto ocurre, se obtiene un cambio drástico hacia un estado alterno del ecosistema dominado por macroalgas.

Junto con la sobrepesca hubo cambios en el uso de la tierra, lo cual probablemente llevó a un incremento en la carga de nutrientes y la sedimentación en algunos de los arrecifes costeros y también incrementó la prevalencia de enfermedades coralinas. Luego, en 1980 el huracán Allen azotó. Esta gran perturbación causó una pérdida enorme de la cobertura de coral en aguas someras y una proliferación de algas de vida corta. Sin embargo, los arrecifes fueron resilientes por la capacidad de los erizos *Diadema* de controlar el crecimiento de las algas de tal manera que hubo un considerable reclutamiento y la cobertura coralina se fue recuperando lentamente. Tres años más tarde en 1983, hubo una mortalidad masiva de los erizos *Diadema* debido a una enfermedad; su densidad disminuyó un 99%. En este punto, la última defensa de control de los herbívoros se rompió y así inicialmente los arrecifes de aguas someras y luego los de aguas más profundas fueron invadidos por macroalgas. A finales de los años 80's los arrecifes habían cambiado considerablemente hacia un estado alterno y estable con una cobertura de algas del 70-90%.

Desde el punto de vista de la restauración, este estado alterno es probablemente más difícil de restaurar que cualquier sistema dominado por corales pero ya degradado y que existió antes de la mortalidad de *Diadema*. Para volver al estado original, no solo se necesitan medidas

de manejo (restauración pasiva) para pasar de un estado C2 hacia C1, en figura 4 (gestión de las pesquerías y/o cultivos de erizos para restaurar la herbivoría), sino que probablemente existirá la necesidad de implementar grandes actividades de restauración para remover las macroalgas y para adicionar corales antes de que el sistema tenga una posibilidad de retornar.

Las lecciones aprendidas son por ejemplo que los impactos antropogénicos crónicos acumulados por décadas van fracturando la resiliencia de los ecosistemas y muestran pocas señales de que el ecosistema está en riesgo. Después del huracán Allen, los arrecifes todavía parecían resilientes y mostraron signos de recuperación. Luego, una perturbación más se convirtió en la gota que derramó la copa y el sistema colapsó hacia un estado alterno.

Con el cambio climático global, las perturbaciones parecen ser más severas y frecuentes, y a menos que aquellos arrecifes que están sometidos a presiones antropogénicas logren ser manejados de una forma más adecuada, posiblemente en muchos lugares veremos que los arrecifes se desplomen como fichas de dominó hacia estados alternos.

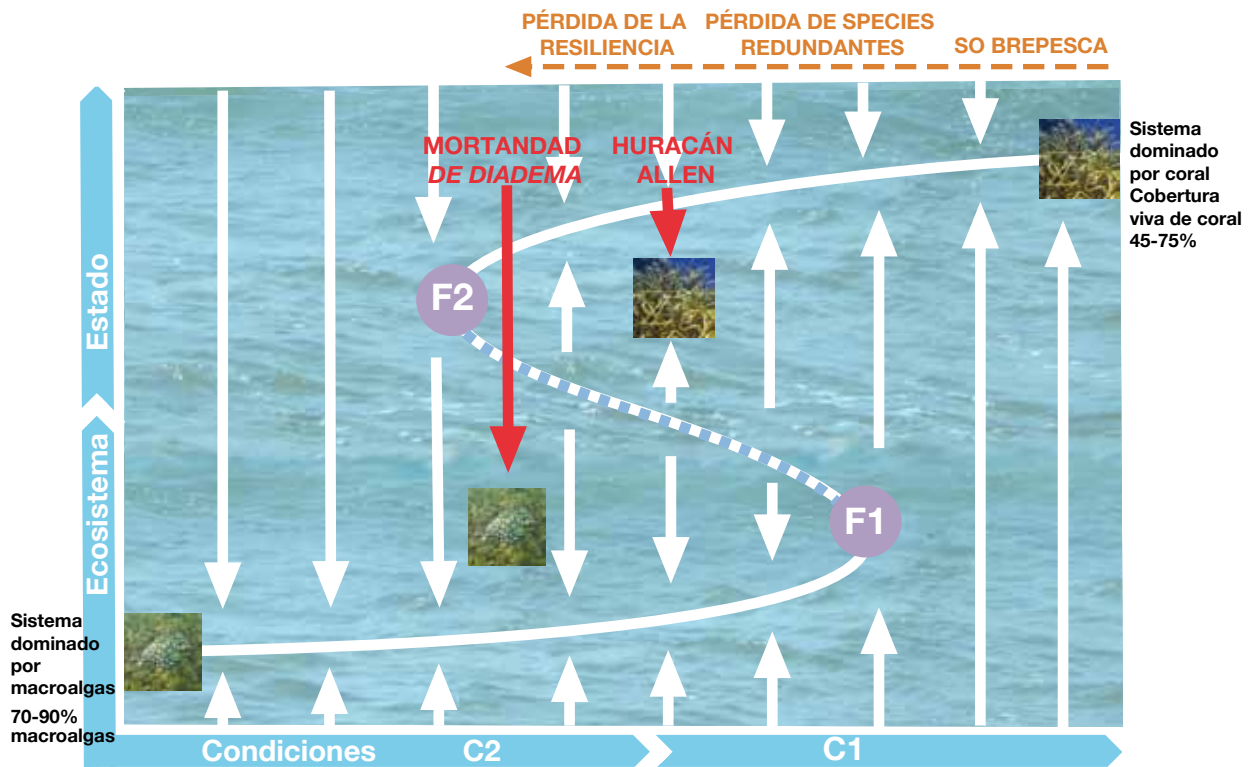


Figura 4. Transición a un estado alterno. Las curvas blancas sólidas representan "puntos de atracción" para dos estados estables, uno dominado por corales (arriba derecha) y otro dominado por macroalgas (abajo izquierda). Cuando el estado del ecosistema está cerca a cualquiera de los dos "punto de atracción" varios procesos de retroalimentación tienden a mantener la estabilidad, atrayéndolo hacia dicho estado. Si las condiciones en el ecosistema dominado por corales se deterioran de C1 a C2, este estado se mueve hacia el punto de bifurcación F2 y su resiliencia (dificultad mediante la cual las perturbaciones pueden moverse hacia un estado inestable o un estado estable alterno) disminuye. La curva azul punteada entre F2 y F1 es un "repelente" donde el estado del ecosistema es inestable y puede cambiar a un estado estable. Cuando las condiciones cambian puede haber menos cambio evidente en el estado del ecosistema pero el sistema puede volverse menos y menos capaz de responder a mayores perturbaciones. En el caso de Jamaica, los arrecifes parecían estar recuperándose del huracán Allen, y retornando hacia dicho "punto de atracción", pero luego la mortalidad de *Didema*, hizo que el sistema virara hacia un estado estable alterno. Para restaurar el sistema, la gestión no es lo único necesario para retornar las condiciones a C1 sino que se necesitarán mayores disturbios o intervenciones de restauración activa para superar el "punto de atracción" del estado de macroalgas. (Hughes, T.P. (1994). Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science*, 265: 1547-1551; Suding, K.N., Gross, K.L. and Houseman, G.R. (2004). Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 19 (1): 46-53.).

1.5 Qué pueden realmente lograr las intervenciones de restauración de arrecifes?

Como se aclaró en las secciones anteriores, la restauración arrecifal se encuentra todavía en sus inicios. El sistema que pretendemos restaurar es muy complejo y no tenemos un conocimiento suficiente para estar seguros de los resultados de los intentos de restauración. Todavía estamos aprendiendo de manera empírica aquello que funciona y que no funciona.

Como enfatizamos anteriormente, esto significa que el limitado potencial de la restauración no debe ser utilizado como excusa por quienes toman las decisiones para aprobar proyectos que degradarán los arrecifes que están sanos.

La restauración de los arrecifes nunca debe sobre estimarse y se deben entender claramente sus limitaciones (Richmond, 2005). Es vergonzoso y de algún modo hasta deprimente comparar la escala relativa de los intentos de restauración hasta la fecha, con la escala de la degradación de los arrecifes (Figura 5). La restauración se ha llevado a cabo con

Claramente hay un desajuste (de varios órdenes de magnitud) entre la escala a la cual la restauración de los arrecifes puede actualmente llevarse a cabo y la escala a la cual los mayores impactos pueden degradar los arrecifes. Las perturbaciones naturales (posiblemente exacerbados por el hombre) y agudas de gran escala no son necesariamente un problema ya que los arrecifes de coral sanos son resilientes y en gran medida deberían recuperarse por sus propios medios mientras no estén bajo condiciones de estrés.

Un tema clave para la investigación es determinar si la restauración localizada a escalas de hectáreas puede producir beneficios en cascada a escalas de decenas de hectáreas o kilómetros cuadrados. Otro punto es determinar si proyectos pequeños de restauración basados en el trabajo comunitario pueden producir áreas arrecifales funcionales y viables y si existe un tamaño mínimo requerido para su sostenibilidad. Esto se relaciona estrechamente con el tema en discusión acerca del tamaño mínimo necesario para que las áreas marinas protegidas sean efectivas.

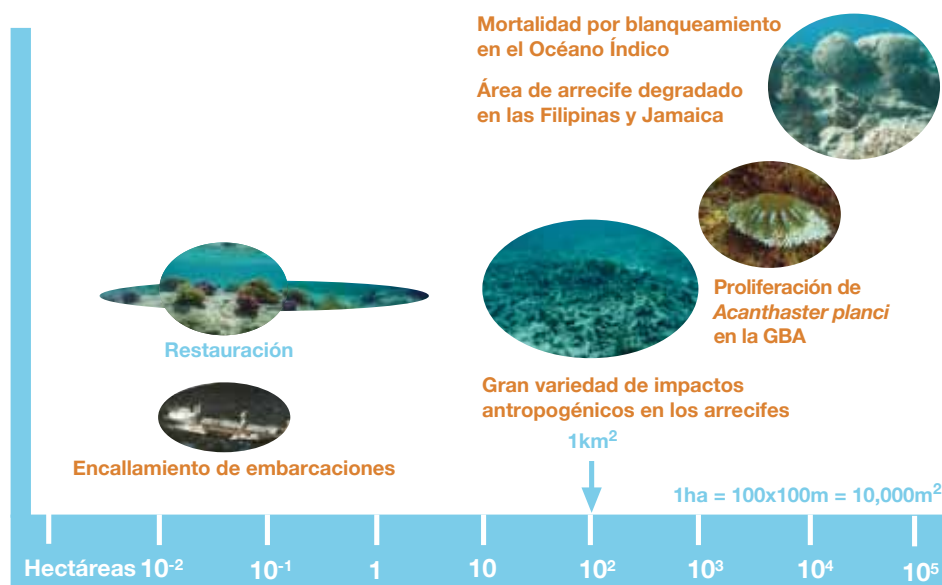


Figura 5. La escala de degradación vs la escala de restauración. Comparación de las escalas aproximadas de degradación resultado de diferentes causas con la escala a la cual se ha llevado a cabo la restauración arrecifal con algún grado de éxito. La medida de "gran variedad de impactos antropogénicos" es quizá conservadora y estos impactos pueden acumularse abarcando enormes áreas como se observó en Filipinas y Jamaica.

cierto éxito a escalas de decenas de metros cuadrados hasta varias hectáreas. No obstante, un amplio rango de impactos humanos locales sobre los arrecifes actúan a escalas de varios kilómetros cuadrados y el impacto humano acumulado por décadas ha llevado a estimaciones de 100-1000's de kilómetros cuadrados de arrecifes degradados en países como Jamaica y las Filipinas. A una escala similar, varias áreas arrecifales en el Océano Índico fueron afectadas por la mortalidad masiva de corales debido a un evento de blanqueamiento durante el Fenómeno del Niño en 1998. A una escala intermedia, eventos como la proliferación de la estrella de mar corona de espinas (*Acanthaster planci*) en la Gran Barrera Arrecifal, puede afectar severamente 100's de kilómetros cuadrados de arrecife en un mal año.

Cuadro de Mensajes

- La restauración de los arrecifes está en sus inicios. No es posible crear arrecifes completamente funcionales.
- La restauración activa de los arrecifes que se ha llevado a cabo con algún éxito, ha sido a escalas de hasta unas pocas hectáreas.
- Las perturbaciones naturales y los impactos antropogénicos sobre los arrecifes pueden tener un efecto a escalas de 10's a 100's de km^2 .
- La restauración activa no es una píldora mágica. La clave es un mejor manejo de las áreas arrecifales.



Arrecife severamente degradado con poca cobertura de coral vivo. Las algas y el sedimento cubren las colonias de coral muertas.

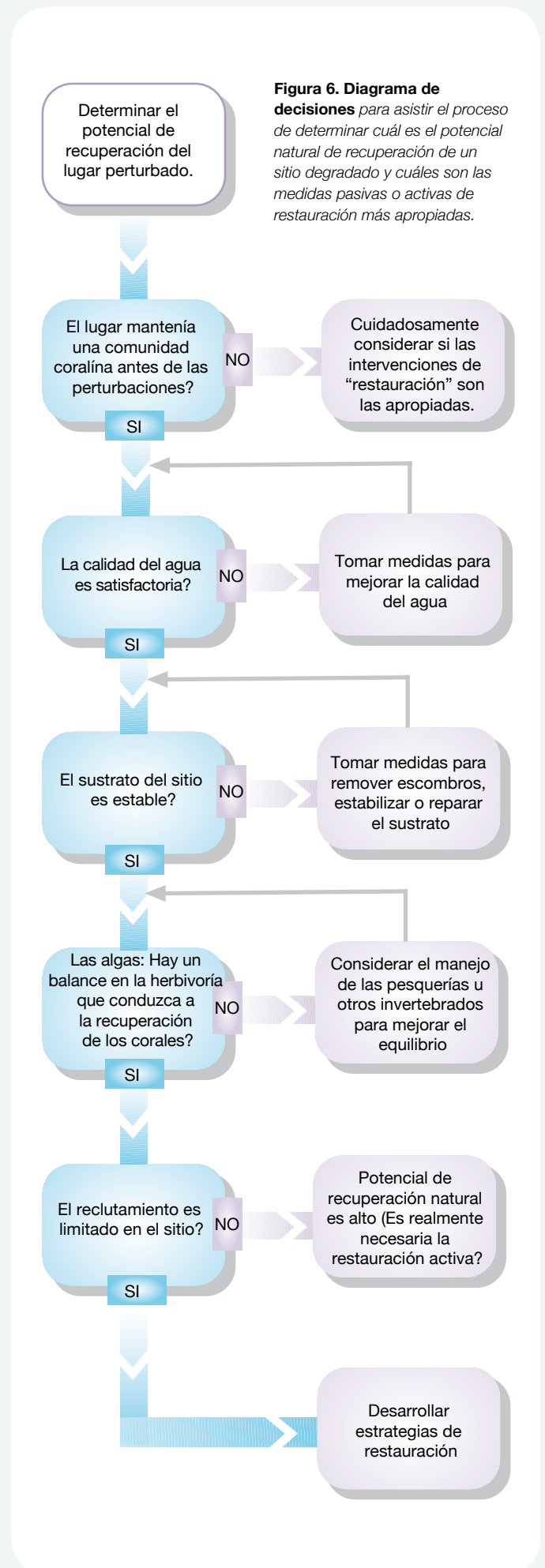
1.6 Es la restauración activa la opción correcta?

La restauración debe considerarse como una opción dentro de un amplio contexto de manejo integrado de las zonas costeras. Un factor clave para determinar si se debe intentar realizar restauración activa es el estado del medio ambiente local. Por un lado, si las condiciones ambientales locales son buenas, la zona degradada es pequeña y no hay limitantes físicos que impidan la recuperación (por ejemplo, cascajo suelto), el parche degradado puede recuperarse naturalmente dentro de 5-10 años. En tal caso, la restauración activa puede tener beneficios bastante limitados. En caso extremo, es decir si las condiciones ambientales locales son pobres (gran aporte de nutrientes, sedimentación, pesca excesiva, etc.), las posibilidades de establecer una población sostenible de coral pueden ser mínimas. En este caso, es necesario primero considerar mayores iniciativas de manejo (de restauración pasiva o indirecta) antes que intentar cualquier actividad de restauración. Es en cierta medida es el arte de decidir en qué momento entre los dos extremos, la restauración activa será probablemente eficaz y qué otras medidas de gestión habrá que considerar antes de intentar la restauración.

Para ayudar en este proceso, se presenta un diagrama de decisiones en la Figura 6, el cual plantea varias de las preguntas claves que deben ser formuladas. Revisaremos estas preguntas con mayor detalle a continuación.

La primera pregunta ("El lugar escogido tenía una comunidad de corales antes de las perturbaciones?") no necesita ser formulada por verdaderos proyectos de restauración pero sí puede ser pertinente para algunos proyectos de desarrollo turístico donde se pretende crear parches de arrecife en lugares protegidos y seguros. Que tipo de corales pueden sobrevivir donde el empresario del hotel desea ubicarlos? En última instancia, las limitaciones ecológicas determinarán esto, no el dinero ni los deseos humanos.

Aun cuando en el pasado un lugar pudo haber mantenido una comunidad de arrecifes de coral saludable, la calidad del agua puede haberse deteriorado y en la actualidad solo podrá sostener algunas especies tolerantes. Si el objetivo de restaurar es llegar un estado anterior de mayor diversidad, entonces se necesitará primero mejorar la calidad del agua utilizando medidas de gestión ya que de lo contrario los intentos de restauración activa pueden fracasar.



La siguiente pregunta se refiere a si algún tipo de restauración física debe ser ejecutado inicialmente. Cuando la respuesta es sí, esto puede ser muy costoso. Cuando no se puede financiar pero es necesario, entonces los intentos de restauración biológica pueden fracasar. En esta situación es posible que solo una parte del lugar pueda ser restaurada con los fondos disponibles.

La siguiente pregunta es quizá la más difícil de responder y se refiere a la probabilidad de sostenibilidad de los corales que pueden ser trasplantados al sitio. El objetivo de la restauración es rehabilitar una comunidad autosostenible. Si no hay suficiente herbivoría debido a la sobrepesca y/o pérdida de invertebrados pastoreadores por enfermedades y las macroalgas dominan, entonces hay poca probabilidad de reclutamiento de corales para establecer la siguiente generación. Las colonias trasplantadas pueden sobrevivir, pero si no se garantizan los procesos ecológicos que permitan producir las generaciones futuras de corales jóvenes, entonces en últimas la población no es sostenible. Sin medidas de gestión para restaurar las funciones ecológicas, la restauración activa puede ser inútil. En la actualidad no se conoce el nivel de herbivoría necesario, pero una evaluación puede revelar si hay muchos herbívoros (por ejemplo, peces loros, cirujanos, zorros, erizos), puede mostrar el porcentaje de cobertura de macroalgas y si hay corales de tamaño pequeño (< 5 cm). Por ejemplo, si los herbívoros son escasos, las macroalgas son abundantes y no

hay señales de corales juveniles, esto sugiere que el trasplante por si solo va a lograr poco a largo plazo. Por lo tanto, otras medidas de restauración (por ejemplo, regulación pesquera, reducción en los aportes de nutrientes) se necesitarán primero.

Finalmente se llega a la cuestión de si el sitio presenta "reclutamiento limitado", o en otras palabras es preguntarse si el suministro de larvas de coral es escaso. Debido a las corrientes e inclusive en arrecifes sanos, algunas áreas pueden recibir pocas larvas de coral u otros invertebrados y por lo tanto recuperarse más lentamente de las perturbaciones que las zonas que tienen un mejor abastecimiento. En tales casos, la utilización de trasplantes para establecer una población de coral viable puede acelerar la recuperación. Sin embargo, en arrecifes sanos con un buen suministro natural de larvas de coral (en particular en el Indo-Pacífico) es probable que la necesidad ecológica de la restauración activa sea poca. A pesar de esto, es posible que otros motivos tales como el cumplimiento de la mitigación, la necesidad política de intentar un esfuerzo de restauración (por ejemplo, la opinión pública, preocupación o insistencia para que una injusticia ambiental sea corregida), o simplemente la impaciencia humana sobre la tasa de recuperación natural, impulsen la restauración activa. En tales casos y dado los grandes costos, el dinero disponible para la restauración activa probablemente será mejor gastado en la prevención de los impactos humanos o en medidas de restauración pasivas (por ejemplo, un mejor manejo de las zonas costeras).

2. Restauración Física

Algunas veces es útil distinguir entre "restauración física", la cual se centra en la reparación del medio ambiente arrecifal con un enfoque de ingeniería, y una "restauración biológica", la cual se centra en restaurar la biota y los procesos naturales. La primera puede ser varias órdenes de magnitud más costosa que la segunda. Los corales, las almejas gigantes y las grandes esponjas pueden proveer componentes tanto de estructura como de biota, por lo tanto la diferencia puede no ser clara. Para algunos impactos, solo la restauración biológica (ya sea activa o pasiva) es necesaria; para otros, una combinación de restauración física y biológica activa puede ser requerida. Esto algunas veces puede ser llamado "restauración doble". Cuando se planea la restauración ecológica se deben considerar los dos componentes juntos.

Algunos impactos como el encallamiento de embarcaciones, la extracción de coral y la pesca con explosivos pueden causar importantes daños físicos sobre la estructura de los arrecifes de coral o crear áreas inestables de cascajo de coral y arena, las cuales, a menos que una restauración física se lleve a cabo, tienen pocas probabilidades de recuperación, inclusive a lo largo de varias décadas. La restauración física involucra por lo general operaciones de ingeniería muy costosas (en el orden de US\$100.000-1.000.000 por hectárea) que requieren recomendaciones de expertos. Por tal motivo, esta guía se concentra principalmente en la restauración

biológica. Reparaciones menores del arrecife y una clasificación de emergencias están, sin embargo, dentro del ámbito de los proyectos basados en el trabajo comunitario.

2.1 Clasificación de los daños y reparación de los arrecifes deteriorados

Donde los impactos agudos han agrietado, volcado, desplazado y fragmentado colonias de coral y otros organismos sésiles, o depositado objetos externos en el arrecife, una clasificación de la emergencia en el corto plazo puede ser de gran ayuda para la recuperación. Esto puede involucrar la utilización de cemento o de una solución adherente sobre las grandes grietas de la estructura arrecifal para corregir y fijar los corales, las esponjas y otros organismos arrecifales, o por lo menos almacenar los organismos que se han desprendido en un ambiente seguro hasta que puedan ser fijados nuevamente.



Buzo tailandés y volteando una colonia de Porites después del tsunami de 2004

Las tareas deben organizarse dada su prioridad bajo criterios tales como tamaño, edad, dificultad de sustitución y la contribución a la diversidad topográfica, determinando qué componentes de los arrecifes deben recibir los primeros auxilios. Los objetos externos al arrecife que puedan ser arrastrados por la acción de las olas (por ejemplo, los troncos de los árboles) o que contengan sustancias contaminantes (por ejemplo, automóviles, tales como los depositados en los arrecifes después del tsunami de 2004), deben ser removidos de los arrecifes ya que amenazan las zonas intactas .

Después del encallamiento de una embarcación, a menudo la integridad estructural del arrecife es amenazada – con grandes cráteres, huecos y fracturas en el esqueleto calcáreo, que probablemente se agravan durante las tormentas. Bajo estas circunstancias se acude a la restauración física y es esencial buscar asesoramiento de expertos. Cuando hay una pérdida importante de la complejidad topográfica, existe el riesgo de que la zona se recupere hacia un estado alternativo, a menos que la complejidad sea restaurada. Para restaurar la complejidad, es probable que sea requiera de una significativa restauración física; de nuevo, el asesoramiento de expertos debe buscarse.

Es poco probable que las áreas inestables cubiertas de cascajo muestren recuperación a lo largo de muchas décadas, salvo que sean pequeñas. Cualquier coral logre asentarse, será volcado, deteriorado, cubierto o enterrado. Las áreas de cascajo son llamadas “campos de muerte” para los corales ya que la supervivencia es muy baja. Además, los parches de cascajo y sedimento creados por las perturbaciones pueden extenderse a través del arrecife durante las tormentas y causar daños a zonas aledañas que no estaban deterioradas. El cascajo puede ser eliminado o estabilizado. La estabilización del cascajo en ambientes de alta energía es muy costosa y difícil. Se ha logrado un éxito parcial mediante el uso de placas de concreto flexibles o colocando el cemento sobre el cascajo, pero a un costo elevado y con evidencias de deterioro y perforaciones después de las tormentas. Este trabajo debería considerarse como una restauración física mayor y se debe buscar asesoramiento de un ingeniero experto.

Bajo condiciones algo menos expuestas, se han logrado resultados prometedores (y de menor costo) cubriendo el cascajo suelto con parches de grandes bloques de piedra

caliza. Los bloques deben tener un tamaño apto para que se mantengan estables en el ambiente, inclusive durante las tormentas. El sedimento fino resultante de los impactos y el cual deposita sobre la superficie del arrecife, debe ser removido si éste no se elimina mediante los procesos naturales ya que puede inhibir el establecimiento de larvas de coral e impedir el crecimiento de los corales. Si la arena ha sepultado áreas de coral y otra biota arrecifal durante una perturbación y hay altas posibilidades de que ésta continúe sepultando los organismos sobrevivientes, entonces la arena debe ser removida dentro de los siguientes días. Las zonas de cascajo en ambientes de baja energía (por ejemplo lagunas o aguas profundas) pueden ser lo suficientemente estables para permitir la recolonización de corales y otra biota sésil y consolidarse a través del tiempo mediante la ayuda de las esponjas, algas coralinas y otros organismos que unen los fragmentos de cascajo.

Es importante recordar que los arrecifes de coral son un mosaico de hábitats que incluyen zonas arenosas, áreas de cascajo, arrecifes de algas coralinas, áreas dominadas por macroalgas, jardines de gorgonáceos, así como también áreas con alta cobertura de coral. Si los parches de arena y cascajo resultantes de un impacto no son una amenaza para los corales sanos en zonas aledañas y si no hay una financiación sustancial para la restauración física, entonces dejarlos en su proceso natural y más bien concentrar los esfuerzos en otro lugar es la mejor manera de utilizar fondos limitados.

Antes que la restauración biológica se lleve a cabo, se debe evaluar la necesidad de signos de la restauración física (ver sección 1.6). Si en un área es necesario hacer una considerable restauración física, pero los fondos no están disponibles, entonces es probable que los intentos de restauración biológica en el área no sean exitosos.








Tronco de un árbol que fue descargado sobre un arrecife en Tailandia por el tsunami de 2004



Colonia de Acropora dañada por el barrido de escombros sobre un arrecife en Tailandia por el tsunami de 2004.

Cuadro de Mensajes

-  Es probable que la restauración física de los arrecifes tenga un costo alrededor de US\$100,000-1,000,000's por hectárea.
-  La restauración física de los arrecifes es solamente para expertos. Buscar asesoramiento de expertos en ingeniería civil.
-  Alguna restauración física puede ser prerrequisito para obtener alguna probabilidad de éxito en la restauración biológica.
-  La rápida clasificación de un arrecife después de una perturbación puede ser muy efectiva en términos de costos y puede ser llevada a cabo por buzos capacitados bajo experta supervisión.
-  La utilización de grandes bloques de piedra caliza puede ser una forma efectiva y de costo relativamente bajo para restaurar la estabilidad y la complejidad topográfica de las áreas de cascajo en ambientes poco expuestos.

2.2 Creación de arrecifes artificiales

Dentro del ámbito de la restauración física está el uso de arrecifes artificiales, que puede ser desde bloques de piedra caliza hasta módulos de concreto (por ejemplo, ReefBalls™) o de cerámica (por ejemplo, EcoReefs™), o minerales (brusita o aragonita) depositados electrolíticamente sobre estructuras de malla de alambre (por ejemplo, BioRock™). El uso de estas estructuras en los proyectos de restauración debe ser considerado cuidadosa y críticamente. Existe el peligro de que la introducción de sustratos artificiales se convierta en una actividad de desplazamiento lo cual evade el asunto central sobre el manejo de los arrecifes naturales al tiempo que sugiere que algunas acciones útiles se están tomando mediante un intento de restauración. Un ejemplo es el uso de arrecifes artificiales por algunos países como dispositivos de agregación de peces para crear “arrecifes de pesca”, a raíz de una falta de gestión y manejo de la sobrepesca. También está el interrogante sobre la relatividad de escalas. Se ha estimado que existe en exceso 500,000 “bolas arrecifales” de diversos tamaños depositados por todo el planeta. Esto proporciona máximo un par de kilómetros cuadrados de sustrato topográficamente complejo, a un costo de decenas de millones de dólares. Se ha estimado que existen 300.000 km² de arrecifes de coral someros en el mundo de manera que existe suficiente sustrato arrecifal disponible. El principal problema es que para una gran porción de los arrecifes, el manejo es deficiente o están degradados.

Teniendo en cuenta estas salvedades, hay también casos especiales donde los arrecifes artificiales tienen un papel útil en la restauración. La introducción de estructuras artificiales provee:

- (1) un aumento inmediato de la complejidad topográfica
- (2) un sustrato estable para el asentamiento de larvas de coral y otros invertebrados (o para el trasplante de corales)
- (3) estructuras duras que obstaculizan diversas formas de pesca con redes (incluida la pesca de arrastre y la pesca con redes de cerco), que causan daños al arrecife
- (4) sitios alternativos de buceo en zonas donde la presión de esta actividad es alta sobre los arrecifes naturales
- 5) aumenta la posibilidad de atraer peces. Esto supone que las estructuras artificiales están bien construidas y ubicadas de manera que permanezcan estables en condiciones de tormentas. Para la restauración, la estética y la “aparición natural” de las estructuras artificiales, debe ser considerada

tanto al inicio como después de la colonización por corales y otros organismos arrecifales. Las diferentes marcas mencionadas anteriormente afirman que algunos niveles de estética y naturalidad se alcanzan y quienes intentan utilizar estas estructuras pueden juzgarlo a través de los sitios web de las empresas involucradas. No se recomienda por razones estructurales y estéticas, el uso de llantas u otros objetos que se consideren basura en la construcción de arrecifes artificiales para la restauración.

Las posibles funciones de los arrecifes artificiales en la restauración son:

Establecer y restaurar la complejidad topográfica de áreas degradadas cubiertas de cascajo que pueden ser producto de la pesca con explosivos, atrayendo peces y corales a las zonas que tienen poca posibilidad de recuperarse.

Turismo o educación en parques marinos y sensibilización del público, donde es necesario un acceso fácil y seguro a un fragmento de hábitat “arrecifal”. Varios hoteles en el mundo han utilizado estructuras artificiales como plataforma para el trasplante de coral.

Reducir la presión de los buzos sobre los arrecifes naturales en áreas donde el buceo recreativo es alto. Unos pocos complejos turísticos han creado arrecifes artificiales atractivos para los buzos con el fin de concentrar el impacto de los principiantes que tienen mala flotabilidad sobre estas estructuras y así reducir la presión de buceo sobre los arrecifes naturales (quizá un 10% si cada buzo visita el lugar por lo menos una vez durante una semana de vacaciones).

Los módulos apropiados de arrecifes artificiales (diseñados especialmente para la protección costera) pueden ser útiles donde se han perdido los servicios del arrecife en la protección costera. Esto servicios pueden costar desde US\$1 millón- 10 millones por kilómetro que debe ser reemplazado dependiendo de la línea costera.

Las superficies artificiales regulares y estándares suministradas por algunos módulos de arrecife artificial son también utilizadas por biólogos que realizan investigaciones sobre restauración para estandarizar los experimentos. Esto no significa que ellos apoyen su uso para proyectos reales de restauración. Se debe tener en cuenta que aunque en algunos lugares casi cualquier sustrato artificial (hormigón, PVC, neumáticos o un barco) será colonizado rápidamente por corales, en otros lugares, las estructuras de arrecifes artificiales pueden carecer completamente de reclutas de coral y no tener mucho uso.

Cuadro de Mensajes

- Existen alrededor de 300,000 km² de arrecifes de coral en el mundo. La falta de sustrato duro no es la cuestión crítica. El manejo de la degradación de los arrecifes naturales es la cuestión crítica.
- El uso de arrecifes artificiales para la restauración necesita ser considerado cuidadosa y críticamente en términos de necesidad, impacto ecológico, relación costo-beneficio y estética.
- Si los arrecifes artificiales están bien diseñados y construidos pueden proveer: (1) un aumento inmediato de la complejidad topográfica, (2) un sustrato estable para el asentamiento o trasplante de corales (3) agregación de peces (4) protección costera (5) estructuras duras que obstaculizan la pesca con redes en áreas arrecifales (pesca de arrastre, con redes de cerco), (6) sitios para buceo en zonas donde la presión sobre los arrecifes naturales es alta.

3. Restauración biológica

La restauración biológica siempre debe considerarse dentro del contexto del entorno general del sitio que se está restaurando; el medioambiente físico, biótico, humano y de manejo. Como se señaló en la sección 1.3, “La restauración ecológica es el proceso de *ayudar* en la recuperación de un ecosistema que ha sido perturbado, dañado o destruido”. Esta ayuda puede ser en forma de medidas de gestión indirectas que remueven los obstáculos que no permiten la recuperación natural, o en forma de restauración biológica activa directa, como el trasplante de corales y otros organismos. Ejemplos de la primera serían las acciones de manejo para reducir la presión de la pesca, la escorrentía de sedimentos o el vertimiento de aguas residuales. Así la restauración biológica pasiva puede llevarse a cabo a través de un conjunto de acciones de manejo costero que reducen las presiones antropogénicas sobre los sistemas de arrecifes de coral.

La intervención activa de restauración más frecuente es el trasplante de corales (y otros componentes de la biota) a un sitio degradado. Es muy importante reducir cualquier daño a los arrecifes “donantes” que están saludables (o menos degradados) que es de donde los trasplantes son obtenidos, y maximizar la supervivencia de los trasplantes

en el arrecife que se está restaurando. En últimas, un proyecto de restauración sólo tendrá éxito en el largo plazo, si se establece una comunidad arrecifal auto-sostenible y funcional.

La siguiente sección examina los aspectos de la restauración biológica activa y discute los principales temas. Dada la prevalencia del trasplante de corales en los proyectos de restauración, la mayor parte de la discusión estará enfocada sobre esta actividad. En la actualidad existen una serie de opciones prometedoras que permiten minimizar los daños colaterales relacionados con la generación de trasplantes y maximizar la eficiencia del material coralino utilizado. Esto va desde el cuidado en la obtención de los trasplantes, hasta la propagación sexual y asexual de los corales tanto *ex situ* (en acuarios) como *in situ* (en el mar) (Figura 7). A continuación se discuten ampliamente estas opciones para los administradores de los recursos.



Figura 7. Propagación directa de corales vs. indirecta. La ruta menos costosa es coleccionar corales directamente del arrecife y trasplantarlos al área degradada. Sin embargo, para obtener una supervivencia alta, los trasplantes individuales necesitan ser grandes (>5-10 cm). Fragmentos más pequeños (2-3 cm) pueden cultivarse exitosamente en el mar a media agua o en criaderos bentónicos o hasta que sean lo suficientemente grandes para que sobrevivan. Esto trae ciertos costos pero hace un mejor uso del material coralino. Fragmentos muy pequeños, no sobreviven en cultivos *in situ* pero pueden sobrevivir y crecer en cultivos *ex situ*. De este modo, por un mayor costo y un proceso de cultivo de dos fases, existe el potencial de crear decenas de miles de pequeñas colonias de números similares de fragmentos de tamaño diminuto (10 mm en tamaño). Entre más largo sea el periodo de cultivo, mayor será el costo de producción del trasplante. Los cultivos *ex situ* tienen un mayor costo en el montaje que los cultivos *in situ*. Las larvas de coral planctónicas pueden cultivarse también, asentándose sobre trozos de substrato y dejándolas crecer en cajas a media agua por 6-12 meses hasta que sean lo suficientemente grandes para tener una posibilidad razonable de sobrevivir en el arrecife.

3.1 Por qué concentrarse en los corales?

Una crítica frecuente a los proyectos de restauración de los arrecifes de coral, es que se concentran en los corales. Los críticos señalan un punto válido ya que al trasplantar corales e ignorar la diversidad de otros grupos importantes de organismos vivos, no se logra restaurar el complejo ecosistema de arrecifes de coral. Sin embargo, como se explicó en la sección 1.3, quien restaura no está tratando de reconstruir un ecosistema pieza por pieza, pero está tratando de ayudar en los procesos de recuperación natural. En la actualidad poco se sabe acerca de la estructura, el funcionamiento y los patrones del ensamblaje de los ecosistemas arrecifales como para que la restauración intente algo más ambicioso. Además, la restauración es costosa y los recursos deben centrarse donde más se necesiten.

Los corales son especies claves del ecosistema arrecifal de la misma manera que los árboles son claves para los bosques. Los corales parecen ser claves para la restauración de los arrecifes como los árboles son esenciales para la reforestación. Ellos están particularmente en riesgo por una serie de impactos (sección 1.2), pero también en parte debido a la estrecha relación simbiótica con las zooxantelas que los hace sensibles a pequeños aumentos en la temperatura del agua, cuando esta excede su máximo valor promedio anual.

- Los corales proveen el principal elemento de construcción y de acreción que sirve para la protección costera.
- Los corales proporcionan complejidad estructural (generalmente relacionado con la diversidad biológica) y refugio para peces e invertebrados.
- Los hábitats de coral sirven de refugio para los herbívoros que ayudan a controlar el crecimiento excesivo de algas.
- Los corales vivos son atractivos y representativos de la salud de los arrecifes desde la apreciación de los turistas.

Cuando hay una pérdida de los corales, la biodiversidad y abundancia de peces también puede disminuir, junto con los ingresos provenientes del buceo recreativo y la pesca. Si una población sostenible de coral y la complejidad estructural pueden ser establecidas, entonces es más probable que otros elementos del sistema se restablezcan naturalmente. La mayoría de los estudios sobre trasplantes se han centrado en los corales hermatípicos zooxantelados, los cuales son los principales constructores de arrecifes, pero, otros corales duros como el coral azul *Heliopora*, el coral órgano *Tubipora* (relacionados con corales blandos de la subclase Octocorallia) y los corales de fuego *Millepora* (clase Hydrozoa) pueden ser importantes en ciertos hábitats y pueden ser trasplantados con éxito.

En la restauración no se deben ignorar otros componentes del ecosistema arrecifal. Por el contrario, los corales blandos, las esponjas, almejas gigantes, los moluscos *Trochus* y los erizos entre otros grupos, han figurado frecuentemente tanto en proyectos de cultivo como de trasplante. Los corales blandos, las esponjas y almejas gigantes proveen complejidad topográfica y un individuo o colonia de individuos pueden ser de una década en edad. En proyectos de restauración como los de encallamiento de embarcaciones, estos organismos deben ser rescatados y fijados nuevamente si es necesario. Organismos pastoreadores como los erizos *Diadema* y caracoles *Trochus* pueden tener un rol en la recuperación de los procesos de herbivoría en áreas donde los peces herbívoros son escasos debido a la sobrepesca.

Arrecife topográficamente diverso y exuberante, con grandes colonias de *Porites* (*Porites needs cursive*) que proveen refugio para peces e invertebrados, Islas Similian en Tailandia.



3.2 Obtención de trasplantes de coral

Para obtener un trasplante, se deben remover algunos corales del arrecife (a menos que el coral haya sido cultivado desde su inicio). De este modo, por cada trasplante asexual que se haya producido, existe un daño colateral. Se puede minimizar este daño de varias maneras. La primera regla es hacer el mejor uso del material vivo de coral que se tenga disponible. Tenga en cuenta que la legislación local puede requerir que usted adquiera un permiso antes de obtener los trasplantes o incluso antes de introducirlos en el área degradada.

En aquellos casos donde los daños serán reparados inmediatamente después del impacto, como cuando un barco encalla, puede haber colonias de coral que estén fragmentadas y las cuales tienen mayores probabilidades de supervivencia si son fijadas in situ para nuevamente formar una colonia entera. Este procedimiento es restauración física más que biológica ya que ningún material vivo nuevo se está introduciendo. En los casos donde un arrecife está amenazado por el alto impacto del desarrollo industrial (por ejemplo, una central eléctrica), áreas completas de arrecife deben ser trasplantadas y colonias enteras son transportadas a un lugar protegido. Sin embargo, el uso de estas colonias es una excepción. Dado que el trasplante aumenta la probabilidad de mortalidad, si se utilizan colonias enteras es probable que se produzca una pérdida neta de coral. Aunque las colonias enteras se consideran menos susceptibles al estrés por el trasplante que los fragmentos, para algunas especies sensibles el 50% de sus colonias trasplantadas mueren a los dos años. Así, incluso en esos casos, la relocalización de algunos fragmentos de colonias puede ser aconsejable en un intento por equilibrar las potenciales pérdidas. Inclusive dentro de la misma especie, diferentes genotipos pueden mostrar variable susceptibilidad al estrés debido al trasplante.

Normalmente los trasplantes de coral serán obtenidos como fragmentos. Los pequeños fragmentos que fueron originalmente obtenidos de algún lugar, pueden ser cultivados en criaderos (ver sección 3.3) por un periodo de tiempo donde pueden crecer hasta formar pequeñas colonias que luego son trasplantadas.

En la mayoría de los arrecifes se pueden encontrar fragmentos de coral (a menudo ramas quebradas) que se han desprendido. Aparte de las especies que naturalmente se reproducen por fragmentación, las piezas sueltas tienen una baja probabilidad de sobrevivir a menos que sean adheridas nuevamente. A menudo parte de estos fragmentos pueden estar muriendo o ya muertos. Estos fragmentos de coral son llamados “corales de oportunidad” y en general representan una fuente de trasplantes que no es controversial. Lo más probable es que la mayoría de ellos mueran de todos modos si no se utilizan para el trasplante (excepto en aquellas especies que se reproducen naturalmente por fragmentación). Incluso se ha observado que si las ramas que están parcialmente muertas se cortan con alicates y solo se deja el tejido vivo, los fragmentos pueden proporcionar trasplantes saludables con alta supervivencia. Las especies que se ramifican tienden a suministrar la mayoría de los “corales de oportunidad” pero las especies más frágiles proporcionan más fragmentos y las especies más robustas menos fragmentos. Por lo tanto, estos “corales de oportunidad” no proporcionan una amplia gama de las especies comunes y otras fuentes son necesarias.

La poca investigación con que se cuenta sugiere que si se utilizan colonias intactas como la fuente de obtención de fragmentos para el trasplante, ya sea por trasplante directo o después de un período de cultivo, sólo una pequeña parte de la colonia (menos de c.10%) debe ser removida con el fin de reducir al mínimo el estrés sobre la colonia donante. Hasta que no desarrollen más investigaciones y se tenga un mejor entendimiento de los efectos de podar colonias coralinas, sugerimos que es mejor aplicar el principio de precaución y no cortar más del 10% de las colonias donantes. Para colonias de corales masivos parece que lo mejor es tomar fragmentos del borde de la colonia.

Listado de Buenas Prácticas

- ✓ Verificar la legislación local para asegurarse de si un permiso es necesario antes de coleccionar trasplantes o inclusive antes de introducirlos a un área degradada.
- ✓ Obtener los trasplantes de áreas similares, tanto como sea posible, a la zona que va a ser restaurada (misma profundidad, exposición, régimen de sedimentación, salinidad, sustrato, rango de temperatura).
- ✓ Considerar cuidadosamente cómo darle el mejor uso a la fuente de trasplantes de coral que se tiene disponible.
- ✓ Trate de usar “corales de oportunidad”, los cuales son fragmentos generados naturalmente en el arrecife y que tienen poca probabilidad de sobrevivir a no ser que las piezas sean reunidas nuevamente.
- ✓ Si se usan colonias intactas como donantes para obtener los fragmentos, en lo posible utilizar no más del 10% de la colonia donante para minimizar su estrés.
- ✓ Para colonias masivas, no tomar fragmentos del medio sino a lo largo de los bordes de la colonia.

3.3 Cultivo de corales

Diversos métodos para la propagación asexual y sexual de muchos corales han sido probados exitosamente. Como se verá en la discusión a continuación, la principal incógnita para la ciencia es si los corales cultivados pueden ser exitosamente introducidos en los arrecifes degradados y sobrevivir. La opción menos costosa para trasplantar es hacerlo directamente. Si bien el cultivo de coral puede hacer un mejor uso del material, este tiene un mayor costo. Entre más sofisticado sea el cultivo y entre más tiempo se cultive, mayores son los costos (Figura 7). La restauración de los arrecifes es más costosa en comparación con la restauración de pastos marinos o manglares. Por lo tanto, apuntar hacia la utilización de métodos de bajo costo y maximizar la eficiencia y rentabilidad del cultivo de coral es un desafío clave. El cultivo *ex situ* en acuarios es generalmente más costo que el cultivo *in situ*, ya sea a media agua o sobre sustratos bentónicos de cría. Sin embargo, la supervivencia de estadios tempranos o trasplantes muy pequeños (por ejemplo, fragmentos <5-10 mm de diámetro) es en general satisfactoria solo en acuarios *ex situ*. Por lo tanto, existen una serie de conexiones entre la supervivencia, el tipo de cultivo y los costos, que todavía no están bien cuantificadas.

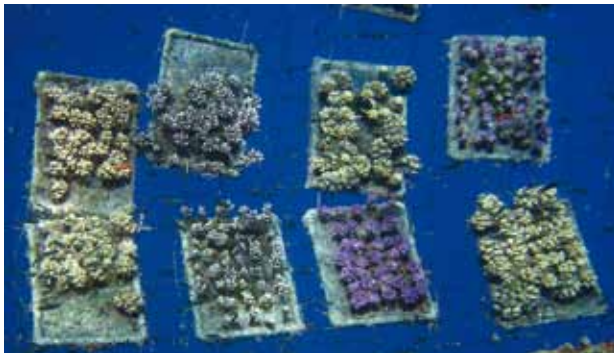
3.3.1 Propagación asexual de corales

Los corales pueden ser producidos asexualmente a partir de fragmentos (conocido como “ramets” cuando proceden de la misma colonia (clones), y cuando son muy pequeños a menudo son llamados “nubbins” o juveniles) y es la forma más común de cultivo. Inclusive, se han cultivado experimentalmente colonias a partir de pólipos extirpados en cultivos *ex situ*. Sin embargo, en la mayoría de los proyectos, los fragmentos grandes (3-10 cm de tamaño) son más comúnmente utilizados ya que pueden ser cultivados *in situ* sobre sustratos de cría bentónica o a media agua a un costo razonable. La tecnología involucrada es asequible para pequeños proyectos comunitarios que tienen acceso a una asesoría científica y que la han utilizado con éxito dentro de estos mismos proyectos. Los objetivos del cultivo asexual son: 1) maximizar los beneficios de una determinada cantidad de material y, por lo tanto, minimizar los daños causados a las zonas donantes, 2) desarrollar pequeñas colonias a partir de fragmentos de coral las cuales sobreviven mejor que los fragmentos que son trasplantados directamente al arrecife, y 3) tener bancos de pequeños corales que estén disponibles para ser trasplantados en caso de que ocurra un impacto, como el encallamiento de una embarcación.



Cultivo *in situ* de fragmentos de *Acropora muricata* en una zona de cría en aguas someras en las Filipinas.

Los beneficios potenciales de los cultivos de crías se relacionan con la producción de cientos de pequeñas colonias a partir de fragmentos provenientes de una sola colonia. Los costos se derivan del establecimiento de los sustratos para la cría, la colección de los fragmentos, la fijación a los sustratos y el cuidado hasta que se consideren listos para ser trasplantados. Este tipo de cultivos demandan tiempo ya que requieren de la eliminación de algas y otros organismos incrustantes que amenazan con crecer sobre los fragmentos cultivados o la eliminación de predadores tales como el caracol *Drupella* que se alimenta de corales. Entre más pequeños sean los fragmentos, probablemente será necesario un mayor tiempo de cultivo y un medio ambiente más benigno antes de que puedan ser trasplantados. Para las especies ramificadas, “nubbins” de unos 3 cm de tamaño requieren de 9-12 meses para desarrollar colonias del tamaño de un puño. Hasta ahora, muy poco se conoce acerca de la relación entre tamaño de las colonias y su supervivencia (ver sección 3.6) y por ello no se puede precisar por cuánto tiempo deben cultivarse. Es probable que dicha relación varíe entre especies y también dependerá del estado de la degradación del lugar.



Bandejas con fragmentos de coral que están siendo cultivados en un criadero a media agua.

Así como la zona de obtención debe coincidir con la zona de trasplante con respecto a las condiciones ambientales, las condiciones de la zona intermedia de cría también deben semejarse a las condiciones del sitio donante y de trasplante. La experiencia demuestra que si el medio ambiente de la zona de cría difiere significativamente al del sitio de obtención del material para cultivar, es muy probable que la supervivencia en los cultivos sea baja. La excepción parece ser que si las condiciones de la zona de cría son mejores (por ejemplo, menos sedimentación, mayor claridad del agua, etc.) que las del sitio de obtención, los corales pueden prosperar en el cultivo. Sin embargo, no está claro qué sucede cuando estas colonias cultivadas, son retornadas a un medio ambiente más severo en un arrecife degradado. Las zonas de cría deben estar protegidas de las corrientes fuertes y de la acción del oleaje - condiciones típicas en los arrecifes de coral - por lo tanto, estas zonas son frecuentemente trasladadas fuera del sitio arrecifal, a un lugar que debe tener las condiciones adecuadas para la supervivencia y el crecimiento de corales.

La producción de cientos de colonias clones a partir de una única colonia puede ser muy útil para trabajos experimentales. Sin embargo para proyectos reales de restauración, la diversidad genética de las crías debe ser considerada. Obtener los fragmentos que van a ser cultivados de los “corales de oportunidad” (es decir, fragmentos de coral sueltos en el arrecife) o tomar el 10% o menos de una colonia dentro de una variedad de colonias donantes apropiadas, es una

manera razonable de asegurar la diversidad genética entre los futuros trasplantes. Si fuera posible identificar las colonias resistentes al blanqueamiento o genotipos tolerantes, el cultivo asexual sería una forma prometedora de propagación de un gran número de líneas con estas características.



Fragmentos de Acropora que han crecido hasta formar pequeñas colonias en un criadero de coral a media agua.

Hasta la fecha, existen varios ejemplos de zonas de cría a media agua y bentónicas donde el cultivo asexual de miles de pequeñas colonias que se ha logrado con alta supervivencia (a menudo más 90% por 6 meses). Como tal, el cultivo asexual de corales parece tener un gran potencial para la restauración de los arrecifes en un sentido análogo a como la silvicultura en viveros apoya los proyectos de reforestación. Sin embargo, el siguiente paso, que es el trasplante exitoso de colonias provenientes de criaderos de coral a arrecifes degradados y su supervivencia a largo plazo, no se ha demostrado aún a gran escala (0.1-1.0 ha) y es el objeto de una considerable cantidad de investigación en curso.

Los estimativos del cultivo *in situ* a media agua y bentónicos sugieren que se pueden criar entre 5-10 trasplantes por dólar de los EE.UU. En un espacio de 0,5 m de arrecife degradado, esto sugeriría que los costos solo del cultivo son de US\$4000-8000 por hectárea (para los 40.000 trasplantes/ha que se necesitan).

3.3.2 Propagación sexual de corales para la siembra de arrecifes

Los corales se reproducen sexualmente por medio del desove masivo de huevos o la fecundación interna de las plánulas seguido por “planulación” (liberación de la plánula al agua circundante). Los corales por lo general producen una gran cantidad de huevos y/o larvas. En la naturaleza, la gran mayoría de estos no sobreviven, sin embargo, si las larvas producidas por planulación o por desovadore son colectadas y artificialmente criadas, entonces las tasas de mortalidad pueden ser reducidas dramáticamente y las larvas pueden tener un valioso potencial para la restauración de los arrecifes de coral.



Seguimiento de desove masivo de coral.



Cría de huevos y larvas de coral colectadas de un desove masivo en un estanque flotante.

La reproducción sexual de los corales cuenta con dos grandes ventajas sobre las la reproducción asexual. En primer lugar, son necesarias menos colonias donadoras de fragmentos, lo que reduce los daños colaterales en los arrecifes fuente. En segundo lugar, las colonias de coral producto de la reproducción sexual no son colonias clones por lo tanto, son genéticamente más diversas. Este método requiere colonias o grandes fragmentos que son retirados del arrecife y trasladados a los tanques donde desovan. Aunque las colonias pueden ser retornadas al arrecife después del desove, el estrés debido al traslado y al posterior trasplante en ocasiones puede causar la muerte de la colonia.

Las larvas producidas por planulación o por desove masivo pueden ser recolectadas y criadas por diferentes períodos de tiempo antes de asentarse, ya sea directamente en el arrecife o sobre sustratos en los acuarios. Una vez que reclutan en el acuario, los diminutos corales pueden ser cultivados hasta alcanzar el tamaño ideal que les permita sobrevivir el trasplante al arrecife. Los métodos continúan siendo examinados por los científicos y estas tecnologías para ser aplicadas exitosamente, requieren más experiencia técnica que los métodos ampliamente utilizados como el cultivo asexual y el trasplante ya mencionados.



Colonia de *Montastraea* en el proceso de desovar en las Filipinas.



Estanques de cultivo flotantes simples y económicos que proporcionan un medio de cultivo controlado de huevos de coral desovados en áreas remotas.

Aunque algunos de los corales que producen plánulas pueden hacerlo mensualmente, numerosos desovadores masivos liberan huevos y esperma sólo una o dos veces al año. El desove masivo está generalmente sincronizado ya que las colonias maduras tienden a liberar los gametos durante las mismas noches. Esto lleva a que en los eventos de desove masivo, cuando varias especies desovan en la misma época, se produzcan grandes agrupaciones de larvas de coral. El desove masivo es la forma más común de reproducción de los corales y en determinados lugares se puede predecir el momento en que los principales eventos de desove masivo ocurren. Esto significa que localmente se requiere el conocimiento sobre los patrones reproductivos de las agrupaciones de corales y que para la mayoría de las especies, el suministro de larvas está disponible sólo por un par de semanas al año.

Hay dos maneras para obtener un suministro de larvas. Las colonias maduras tanto de especies que producen plánulas o aquellas desovadoras pueden ser colectadas y mantenidas en acuarios hasta la liberación de las larvas o los huevos respectivamente. En el caso de las especies desovadoras, durante una o dos épocas definidas del año, pueden colectarse de la superficie del mar agrupaciones de millones de larvas. Estas acumulaciones pueden ser retenidas *in situ* o transferidas a acuarios *ex situ*.

En el primer caso, los huevos y las larvas pueden almacenarse por una semana en estanques de cultivo flotantes sobre el mar (incluso piscinas de plástico infantiles parecen ser adecuadas), momento en el cual las larvas están listas y son capaces de

reclutar en el arrecife (esta condición se conoce como "competente"). En este estadio, las larvas pueden ser bombeadas sobre toldos de malla ubicados en el arrecife degradado para que puedan reclutar en altas densidades. Las mallas son para impedir que las larvas sean arrastradas fuera del arrecife por las corrientes. Con esta técnica se puede obtener alrededor de 100 veces más reclutamiento de coral que el esperado naturalmente. Sin embargo, la gran incógnita es si dicha técnica hace una diferencia significativa a largo plazo debido a que muy pocos de estos nuevos reclutas de coral sobreviven hasta ser colonias reproductivamente maduras y la mortalidad puede ser dependiente de la densidad.

Mediante la transferencia de los nuevos reclutas de coral *ex situ* a los acuarios, estos pueden ser criados lejos de los riesgos del ambiente natural de los arrecifes y luego ser trasplantados al arrecife cuando tengan una mayor probabilidad de sobrevivir. La supervivencia en el arrecife aumenta drásticamente con el tamaño/edad. Por ejemplo, un estudio con la especie de coral productora de plánulas *Pocillopora damicornis*, mostró que en los acuarios la supervivencia de los nuevos reclutas fue casi 8 veces mayor después de una semana (69%) que la supervivencia en los arrecifes naturales (9%), y la supervivencia en el medio natural después de 3 semanas fue insignificante. El mismo estudio también demostró que si los corales fueron cultivados por cerca de 6 meses hasta que alcanzaron más de 10 mm de diámetro, estos tuvieron alrededor de 25-30 veces mayores probabilidades de sobrevivir durante los 5 meses después de ser trasplantados en arrecifes naturales que los trasplantados cuando estaban menores a 3 mm (alrededor de 1 mes de edad).

Utilizando las agrupaciones de huevos de especies desovadoras, miles de pólipos de coral pueden asentarse sobre placas de reclutamiento (pre-acondicionadas en agua de mar durante unos 2 meses) en acuarios *ex situ*. El reclutamiento puede ser favorecido utilizando señales derivadas de ciertas especies de algas rojas coralinas que estimulan el asentamiento de las larvas de coral y la metamorfosis de las larvas a corales juveniles.



Larva plánula de *Acropora tenuis* y juveniles que han reclutado y realizado metamorfosis recientemente sobre algas coralínáceas costrosas.



Caracoles juveniles herbívoros como *Trochus* de 5-7.5 mm que son utilizados para ramonear algas que podrían de otro modo asfixiar a los corales jóvenes.

Después de varias semanas, las placas de reclutamiento y los corales juveniles pueden ser cultivados en cajas a media agua que contienen caracoles herbívoros pequeños (como *Trochus* de 5-7,5 mm), que pastorean las algas las cuales de otro modo podrían asfixiar los corales. Utilizando estos métodos, miles de colonias de *Acropora* de unos 4 cm de diámetro pueden ser cultivadas a partir de huevos de coral durante 12 meses. De nuevo, el paso que aún no se ha demostrado es el trasplante y crecimiento exitoso de las pequeñas colonias a los arrecifes degradados. Dado que el cultivo acarrea un costo, existe la necesidad de conocer los detalles sobre la compensación entre el tiempo de cultivo (costos) y el aumento de la supervivencia después del trasplante (beneficios). Este es un tema de investigaciones en curso.



Monitoreo del crecimiento y supervivencia de los corales. Limpieza de las algas y otros organismos incrustantes en las canastas a media agua en las cuales juveniles de *Acropora* son criados sobre placas de reclutamiento en Palau.








Huevos y embriones de *Acropora* en estadios tempranos de desarrollo dos horas después del desove.



Colonia de *Acropora* de nueve meses (3-4cm diámetro); la larva reclutó sobre placas en tanques y fue criada en cultivos a media agua junto con el caracol *Trochus* el cual remueve las algas.

Cuadro de Mensajes

-  Los corales pueden ser cultivados exitosamente a partir de fragmentos producidos asexualmente o de larvas producidas por medio de la reproducción sexual.
-  La principal razón para cultivar fragmentos asexuales es maximizar los beneficios del material fuente obtenido y por lo tanto minimizar el daño a las áreas donantes. Cultivar fragmentos puede generar cientos de ganancias en el material trasplantable.
-  Se debe tener la precaución de asegurar una diversidad genética razonable de los trasplantes cultivados.
-  Cultivos a partir de larvas se han llevado a cabo experimentalmente sin embargo requieren de mayores destrezas técnicas que el cultivo asexual. Para muchas especies, el desove es estacional lo cual restringe el tiempo de disponibilidad de larvas. Sin embargo, la propagación sexual en cultivos tiene el potencial de producir un gran número de pequeños corales.
-  El mayor interrogante sobre el cultivo como fuente de material coralino para la restauración es saber si los corales procedentes de un criadero sobrevivirán al ser trasplantados a un arrecife degradado.

3.4 Fijación de los trasplantes de coral

Los trasplantes deben ser fijados firmemente al arrecife a menos que se encuentren bajo condiciones de resguardo que mantengan los fragmentos en el mismo lugar sin necesidad de intervenir. La fijación puede hacerse utilizando cemento, una gama de adhesivos y pegantes, clavos, alambre de acero inoxidable, alambre con aislamiento y sujetas-cables. Los clavos o grapas largas martilladas en el arrecife pueden proporcionar puntos para sujetar los cables o alambres que son difíciles de fijar. Incluso, pequeños fragmentos de coral han sido sujetados con éxito a prendedores de plástico (para cultivos a media agua) u otros sustratos (por ejemplo, conchas de almeja gigante), utilizando pegantes fuertes (Superglue). Las especies que se reproducen naturalmente por fragmentación son capaces de auto fijarse a las pocas

semanas, si están sobre sustratos estables. En arrecifes expuestos, el desprendimiento de los trasplantes puede ser la principal causa de muerte y puede disminuir la población de trasplantes.

El método más efectivo dependerá de: (1) el tamaño y la forma de crecimiento de los trasplantes, (2) la exposición del hábitat a las corrientes o la acción del oleaje y (3) la naturaleza del sustrato del arrecife. En diversos proyectos, se han logrado con éxito tasas aceptables de pérdida (desprendimiento) del arrecife utilizando compuestos como pegante epoxico, cemento y alambre. Los métodos para sujetar que permiten cualquier movimiento de los fragmentos pueden causar abrasión y pérdida del tejido, lo cual no es recomendable. Esto ocurre cuando los fragmentos son amarrados al arrecife en vez de ser fijados.

Los fragmentos de coral son normalmente capaces de crecer sobre los cables o sujeta-cables por meses. Sin embargo, generalmente se debe tratar de reducir al mínimo la introducción de objetos elaborados por el hombre a los arrecifes. Donde el tejido vivo de coral está en estrecho contacto con una superficie razonablemente despejada (por ejemplo, sin una capa gruesa de sedimento o tapetes densos de algas), el coral puede auto fijarse mediante su crecimiento sobre la superficie. Una vez el fragmento de coral ha crecido sobre el sustrato, el riesgo de desprenderse es mucho menor. Este proceso de auto fijación puede ocurrir dentro de unas semanas hasta algunos meses y los métodos que fomenten este proceso son recomendados.

Un método de bajo costo que se ha utilizado con éxito para trasplantar ramas a áreas de roca coralina, es encontrar grietas naturales que tengan el mismo diámetro que la base de la rama, o hacer agujeros en el sustrato con un cincel o ampliar los agujeros con un destornillador. La zona que rodea el agujero es raspada para exponer el sustrato, luego la rama es insertada sobre el agujero y se fija por un lado con goma epoxica y por el otro con el tejido vivo presionado contra el sustrato descubierto. Esto promueve la auto fijación de ese lado y parece funcionar bien.



Una colonia de Acropora un mes después de haber sido trasplantada, mostrando la rápida auto fijación al sustrato alrededor de la base (la parte azulada)

Los fragmentos de coral cultivados están por lo general ya sujetados a algún sustrato. Estos pueden ser desde broches de plástico utilizados en los criaderos a media agua hasta bloques de 20 cm x 5 cm de piedra caliza, que se han utilizado en algunos criaderos bentónicos. Los fragmentos o pequeñas colonias provenientes de criaderos, probablemente ya están fijadas al sustrato donde fueron cultivadas. Los broches plásticos pueden ser fijados a agujeros naturales o hechos artificialmente en el arrecife, utilizando goma epoxica si es necesario. La zona que rodea el agujero debe ser raspada y limpiada, y se debe estimular la base del coral para que se extienda sobre el sustrato por si sola. Cuando los fragmentos han crecido sobre piedra caliza, se encajan en el arrecife entre ramas de coral muerto y puntos adicionales de adhesión que dirijan las ramas contra el sustrato.



Taladro para perforar un agujero sobre roca coralina y goma epoxica para fijar el trasplante.



Trasplante insertado en un agujero sobre roca coralina, con un lado de la base sujeta con pegante epoxico y el otro lado en contacto con el sustrato.

Listado de Buenas Prácticas

- ✓ En el lugar que se está restaurando, los trasplantes deben estar sujetos firmemente al arrecife.
- ✓ El cemento, una gama de adhesivos y pegantes, cables y sujeta-cables han sido utilizados exitosamente para fijar los trasplantes a las áreas del arrecife degradadas.
- ✓ El método más efectivo de fijación dependerá de: (1) el tamaño y la forma de crecimiento de los trasplantes, (2) la exposición del hábitat a las corrientes y a la acción del oleaje y, (3) la naturaleza del sustrato del arrecife.
- ✓ Cuando sea posible, evitar introducir al arrecife materiales fabricados por el hombre como por ejemplo clavos y grapas.
- ✓ Tratar de promover la auto fijación de los trasplantes yuxtaponiendo el tejido vivo del coral al sustrato descubierto. Una vez la colonia se ha sujetado, la probabilidad de soltarse es muy baja.

3.5 Cuáles especies?

En la actualidad existe información limitada sobre cuáles especies de corales son adecuadas para el trasplante y cuáles no. Para algunas especies, los resultados de estudios realizados por diferentes investigadores son aparentemente contradictorios. Esto puede resultar de errores en la identificación de las especies, diferencias en la manipulación o diferencias entre los lugares de trasplante. La falta de controles experimentales en la restauración de arrecifes conlleva a que solo puedan darse pocas recomendaciones específicas. Sin embargo, aquí podemos proporcionar alguna orientación general.

La primera prioridad debe concentrarse en reconocer las especies que se espera sobrevivirán en el sitio que está siendo restaurado. Una valoración de lo que aún sobrevive en el área degradada o en áreas menos degradadas cercanas o similares (sitios como "ecosistemas de referencia" potenciales), o datos históricos de la zona pueden dar una idea sobre cuales especies son las más apropiadas. Por ejemplo, si sólo especies tolerantes a la sedimentación parecen sobrevivir en el sitio degradado, entonces es poco probable que al introducir especies de baja tolerancia a los sedimentos estas tenga éxito, a menos que la fuente de sedimentación se reduzca o se elimine. Las especies candidatas para el trasplante serán aquellas que persistan en lugares no degradados (o menos degradados) bajo el mismo marco ambiental. Las especies deben ser trasplantadas solo si cualquier impacto crónico antropogénico que pueda causar su muerte se está controlando con medidas de manejo. De lo contrario el trasplante puede ser inútil.

Las especies ramificadas tales como las de las familias Acroporidae y Pocilloporidae tienden a ser de crecimiento rápido y a fragmentarse fácilmente (se pueden encontrar fragmentos desprendidos naturalmente). Por ello, estas especies han sido muy útiles para el trasplante, ya que pueden producir un rápido aumento en el % de cobertura de coral vivo en un tiempo relativamente corto. Pero éstas tienen como desventaja que tienden a: 1) ser de algún modo más sensibles al trasplante que corales submasivos y masivos de crecimiento lento, de tal manera que la tasa de supervivencia puede ser mucho más baja, 2) a ser más susceptibles al calentamiento asociado con los eventos del Niño y por lo tanto mayor probabilidad de ser objeto de blanqueamiento masivo y posterior mortalidad masiva (si el evento de calentamiento es prolongado), y 3) a ser más susceptibles a enfermedades que otras familias. Por lo tanto, existen riesgos significativos asociados con los proyectos de restauración que se basan en

estas especies. En el Indo-Pacífico, donde estas familias son muy abundantes, se da un caso similar, ya que estas especies son las primeras en reclutar y dominar el reclutamiento natural en muchos lugares. En los sitios donde el reclutamiento no es limitado, las poblaciones son más propensas a recuperarse relativamente rápido. Por ejemplo en las Maldivas, pasados siete años se pueden esperar colonias de *Acropora* de alrededor de 1.3 m de diámetro que crecieron a partir de juveniles que reclutaron naturalmente.

Otras formas de crecimiento (masivo, submasivo o folioso) y especies ramificadas de otras familias como Poritidae y Merulinidae, las cuales tienden a crecer más lentamente, han sido menos estudiadas en términos de su potencial para restauración. Aunque existe una considerable variación entre los géneros, inclusive entre las especies dentro de estas familias, es claro que por lo menos algunas de estas especies menos favorables (*Porites lutea*, *P. lobata* y algunas especies del género *Pavona*), son también menos sensibles al trasplante y anomalías del calentamiento y por lo tanto es probable que sobrevivan mejor en el largo plazo a pesar de su lento crecimiento. La desventaja de las especies que crecen lentamente es que la complejidad topográfica deseada (la cual provee refugio y tiende a atraer peces y otro tipo de fauna) se alcanza más lentamente.

Una solución sensata es trasplantar una buena combinación de especies y no poner todos los huevos en una sola canasta altamente riesgosa al concentrarse solo en acropóridos y pocillopóridos. En ambientes dominados por estas familias, la pregunta clave es si el lugar tiene un reclutamiento limitado. Si está limitado, entonces hay un riesgo de que el dinero invertido en restauración no esté bien gastado. Sino, probablemente vale la pena tomar el riesgo.

Actualmente, se están llevando a cabo investigaciones que tienen como objetivo proveer un índice de susceptibilidad relativa al blanqueamiento para especies de coral comunes; esta será una guía muy útil para escoger que especies trasplantar. Inclusive dentro de las especies de corales, algunas colonias con ciertos clados de zooxantelas simbiotas han mostrado ser más resistentes al blanqueamiento que colonias con otros clados. Si las colonias resistentes pueden ser identificadas en campo y luego ser seleccionadas para trasplante o para propagación asexual en criaderos, (ver sección 3.3.1) sería un tema interesante para investigación.



Sitio de trasplante en Fiji con *Acropora* recientemente trasplantada.



Buzo ubicando un trasplante en un arrecife degradado en Fiji.

Listado de Buenas Prácticas

- ✓ Trasplantar únicamente especies apropiadas para el ambiente arrecifal que está siendo restaurado. En otras palabras, utilizar especies que sobreviven en lugares cercanos bajo condiciones ambientales iguales o similares (lugares como "ecosistema de referencia").
- ✓ Si se está tratando de restaurar a un estado de ecosistema anterior, asegurarse que cualquier impacto antropogénico crónico que pudo haber contribuido a la degradación, sea primero reducido o removido.
- ✓ Intentar trasplantar una combinación de especies comunes mediante evaluaciones de los "arrecifes de referencia" para que sirvan como guía.
- ✓ Considerar que aunque las especies ramificadas de rápido crecimiento pueden proveer un rápido incremento en la cobertura de coral y en la complejidad topográfica, estas tienden a ser más susceptibles al blanqueamiento coralino, al estrés por el trasplante y a enfermedades.
- ✓ Considerar que aunque las especies de corales masivos y submasivos de lento crecimiento pueden proveer un incremento gradual en la cobertura de coral y en la complejidad topográfica, estas tienden a sobrevivir mejor de los episodios de blanqueamiento coralino y tienden a ser menos susceptibles al estrés por trasplante y enfermedades.

3.6 Tamaño de los Trasplantes

La evidencia muestra que el tamaño de los trasplantes es importante, con una supervivencia superior para los trasplantes de tamaños mayores. Los beneficios en términos de supervivencia pueden operar sobre un amplio rango de tamaños, desde 1 mm a 10 cm. Mientras los trabajos con trasplantes de coral muy pequeños sugieren que por encima de 10 mm (1 cm) hay una marcada mejoría en la supervivencia (ver sección 3.3.2), aquellos experimentos que utilizan trasplantes más grandes han mostrado una supervivencia mayor de los trasplantes que tienen más de 10 cm comparado con los más pequeños. Los tamaños críticos pueden variar tanto con la especie como con el lugar y dependen de la cantidad y el tipo de algas (y otros organismos) que compiten por espacio y de la abundancia y el tamaño de potenciales ramoneadores de coral como los peces loro. Si el trasplante tiene solo un mes, entonces un

bocado de un ramoneador puede destruirlo. Si tiene varios meses, puede sobrevivir. Si hay una gran cantidad de macroalgas, entonces un coral pequeño puede ser sombreado y sobrecrecido, en cambio uno grande puede lograr persistir.

Hasta ahora no sabemos lo suficiente acerca de cómo el tamaño y la supervivencia varían de una especie a otra, ni la dependencia entre tamaño y supervivencia o inclusive si existe un tamaño crítico en el cual la supervivencia aumenta drásticamente o una relación en el aumento de la supervivencia con el tamaño. Sin embargo, parece probable que trasplantar fragmentos derivados asexualmente de un tamaño mínimo de 5-10 cm puede promover una mayor supervivencia y contribuir a la diversidad topográfica. Dado el tiempo y el esfuerzo involucrados en el trasplante, parece ser más rentable utilizar trasplantes más grandes y menos vulnerables hasta que se tenga más información disponible.

Listado de Buenas Prácticas

- ✓ Considerar trasplantes más grandes que pueden sobrevivir mejor.
- ✓ Considerar que para los trasplantes derivados asexualmente un tamaño mínimo de 5-10 cm puede promover una mejor supervivencia.
- ✓ Si se crían trasplantes sexuales a partir de larvas, considerar mantenerlas en cultivo hasta que tengan un tamaño mínimo de 1 cm antes de intentar trasplantarlos al arrecife. La relación entre costo y supervivencia por encima de este tamaño no está clara.

3.7 Diversidad y densidad de los trasplantes

Dado que el objetivo de la restauración es restablecer un área a su estado anterior a la perturbación, entonces el estado del "ecosistema de referencia" (ver sección 1.3.1) debería proporcionar un indicador razonable de la diversidad de especies presentes y las densidades aproximadas en las cuales las principales especies existen en los arrecifes saludables en condiciones ambientales similares.

Las evaluaciones utilizando transectos de línea-intercepto o cuadrantes (ver English et al. 1997) sobre las potenciales áreas fuente del material para trasplantar (las cuales deben tener en un ambiente comparable al arrecife que va a ser restaurado), deben proveer información sobre la abundancia relativa y la densidad de las especies principales. Esta información puede usarse como guía de trasplante o por lo menos para proveer objetivos a largo plazo.

Lo mencionado anteriormente, enfatiza la importancia de los objetivos de la restauración y la definición del estado de “ecosistema de referencia” al cual se está tratando de llevar el área a restaurar. Las dificultades de definir este estado en el marco del cambio climático y del declinamiento generalizado de los arrecifes de coral debido a impactos antropogénicos, ha sido ya mencionado. Sin embargo el peligro de embarcarse en un proyecto de restauración sin objetivos y sin tener idea alguna del estado que se espera alcanzar en el arrecife restaurado, parece mostrar la poca probabilidad de obtener un resultado exitoso. En la ausencia de un estado de referencia, no se tendrá una idea sobre cuales especies o que cantidad trasplantar o que tipo de (needs space to separate de form comunidades) comunidades de peces, corales, algas e invertebrados se podrán eventualmente esperar. Si al menos se reflexiona acerca de lo que el estado de ecosistema de referencia puede ser, entonces se podrán evitar conflictos como trasplantar especies típicas de la cresta arrecifal a una laguna y luego verlas morir.



Trasplantes experimentales puestos en un arrecife degradado en las Filipinas.

Cuando la densidad de trasplantes aumenta, los costos también lo hacen muy rápidamente. Trasplantar corales a un metro de distancia requiere 10.000 trasplantes por hectárea (ha). Sin embargo, trasplantar corales en promedio cada 0.5 m de distancia en una ha, puede requerir alrededor de 40.000 trasplantes/ha. Los reportes de proyectos de restauración arrecifal indican que diferentes grupos han intentado restaurar desde 2 corales por m² en arrecifes que tenían 20% de cobertura de coral hasta c. 25 corales por m² en arrecifes completamente degradados. Este último, se basó en la densidad de los corales de un “ecosistema de referencia” y los cálculos mostraron que el costo de la restauración puede estar por encima de US\$400.000 por hectárea. Desde la perspectiva de los costos una “proporción de plantación” del 10% de la densidad del objetivo fue en este caso considerado posible. Otros han optado por incrementar la cobertura de coral por una cantidad fija, por ejemplo, desde un 10% inicial en un lugar degradado hasta 20% después del trasplante. Definir una densidad óptima de trasplantes es en la actualidad claramente más un arte que una ciencia. Volviendo a los objetivos de la restauración, se reitera que estos están para asistir la

recuperación natural, no para reconstruir el arrecife pieza por pieza. Lo importante es ayudar al arrecife para obtener una trayectoria positiva (ver figura 2) que se dirija hacia una mejor funcionalidad. Por lo tanto, la densidad de corales en un arrecife de referencia es solo una guía para un objetivo a largo plazo, y no un logro del trasplante. Si los recursos son limitados, es mejor intentar restaurar adecuadamente un área relativamente pequeña que hacerlo pobremente sobre un área más grande.

Utilizar la densidad de todos los corales del ecosistema de referencia como guía, es también de algún modo una medida burda. Esto debido a que algunos corales pueden ocupar un 1 cm y otros 1 m. Si las distribuciones de tamaño-frecuencia estuvieran disponibles a partir de una evaluación del ecosistema de referencia, entonces la densidad promedio o mayor del trasplante, podría ser un objetivo más justificable. Independientemente de si este objetivo debe ser parte de una meta inmediata del trasplante o de una meta futura pasados 5-10 años de recuperación natural, la ayuda por un algún trasplante inicial va a hacer una diferencia considerable en la densidad de trasplantes deseada. Un acercamiento alternativo sería establecer el objetivo de que -digamos en 5-10 años- el lugar restaurado debería lograr una cobertura de coral vivo del 75% (o mejor) comparada con la del ecosistema de referencia. Conociendo la cobertura de coral existente, el tamaño inicial del trasplante y las tasas de crecimiento promedio, se podría entonces estimar el número de trasplantes que son adecuados para alcanzar el objetivo. Esta es claramente un área donde el modelamiento puede ayudar y será más requerido.

Interesantemente, un estudio reciente de modelamiento con suposiciones más o menos simples, sugiere que el mayor beneficio de la restauración se obtiene si los trasplantes son arreglados en una cuadrícula. Sin embargo, se necesitan modelos más sofisticados y con parámetros adicionales para investigar este tema en más detalle.

Hay una serie de limitaciones que pueden considerarse. Esto partiendo de que el objetivo es tener una población auto sostenible. Colonias de las mismas especies necesitan estar lo suficientemente cerca para poder reproducirse exitosamente. Entonces en vez de esparcir los escasos trasplantes sobre el área degradada, es posible que algún agrupamiento ayude. En términos de ganancia de complejidad topográfica, el agrupamiento puede ser beneficioso con grupos de trasplantes de coral que agregan peces más efectivamente que pequeños trasplantes aislados. De otro lado, algunas especies de coral son agresivas y pueden matar a otras que estén cerca de ellas. Especies incompatibles no deben estar cerca. Como muchas otras áreas de la restauración arrecifal, las preguntas no respondidas van surgiendo.

Listado de Buenas Prácticas

- ✓ Evaluar los “ecosistemas de referencia” (arrecifes saludables o menos degradados bajo condiciones ambientales similares) para informarse sobre la selección de las especies apropiadas y proveer estimativos de la densidad de colonias (por encima de 5-10 cm) que podrán ser eventualmente un objetivo.
- ✓ Recuerde que no se está tratando de crear un arrecife “instantáneo” sino tratando de asistir la recuperación.
- ✓ Es mejor intentar restaurar adecuadamente un área relativamente pequeña que hacerlo pobremente en un gran área, cuando los recursos son limitados.

3.8 Cuando trasplantar?

El trasplante es una causa de estrés para los corales. A menudo, los corales trasplantados muestran signos de “blanqueamiento” por uno o dos meses después del trasplante, antes de retornar a su color normal. Si las colonias donantes son usadas como fuente de obtención de fragmentos para el trasplante, éstas estarán estresadas y los trasplantes lo estarán también. La clave para un trasplante exitoso es minimizar el estrés, manteniendo los trasplantes a temperaturas tan cerca como sea posible a las del océano, mantenerlos a la sombra, exponerlos al aire y manipularlos lo mínimo y transportarlos en corto tiempo. Si las colonias son mantenidas en contenedores cerrados, se debe cambiar el agua de mar regularmente. Quienes trasplantan, evitan hacerlos al medio día y durante días soleados. Sin embargo, se ha observado que algunos corales son impresionantemente fuertes (ver el caso de estudio en la sección 5). Un signo clave para detectar que una colonia está estresada, es cuando ésta empieza a producir una gran cantidad de mucus.

El punto clave de esta sección es enfatizar que en ciertos periodos del año, los corales están normalmente bajo un mayor estrés y por ello estos periodos deben ser en lo posible evitados para trasplantar. En general, es probable que los corales estén estresados durante los meses más calurosos cuando tiende a ocurrir el blanqueamiento. Es también durante estos meses que las enfermedades coralinas parecen ser más prevalentes. Si se trasplanta en este periodo, habrá probablemente una mayor mortalidad de trasplantes. Se deben examinar los reportes de la temperatura anual promedio del área e intentar trasplantar por lo menos unos meses antes o después de la máxima temperatura anual. El mal clima durante estos periodos puede ser otro limitante. Otro factor que debe ser considerado es el estado reproductivo de los corales. Los corales que invierten una gran cantidad de energía en la producción de huevos y están cerca de desovar parecen ser más susceptibles al estrés adicional debido al trasplante (como donantes o trasplantes) que durante los periodos en que no hay desove. Por ello, para las especies que experimentan desove masivo estacional, es mejor evitar trasplantar en los periodos de desove.

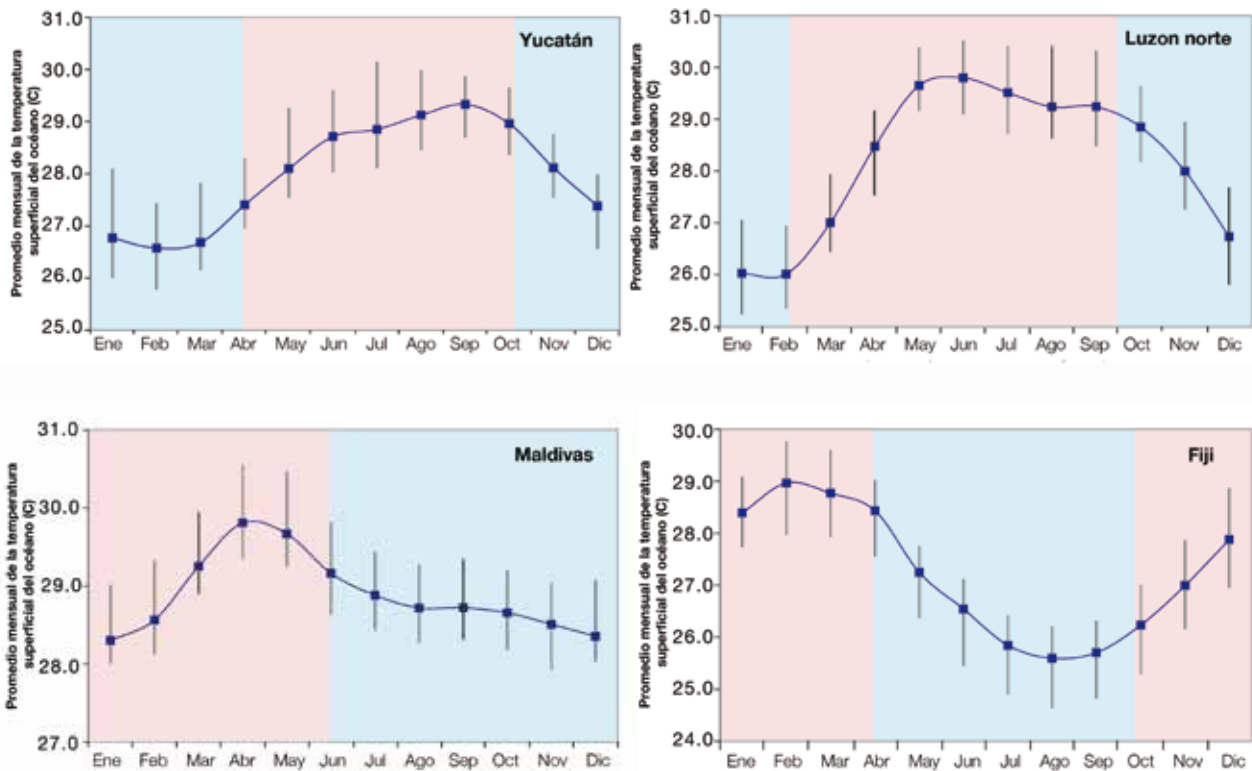


Figura 8. Comparaciones del promedio de la temperatura superficial del océano para la costa este de Yucatán en Belize y México, El norte de Luzon (Filipinas), Maldivas y Fiji basadas en el conjunto de datos de 1980-2005 de “UK Met Office Hadley Centre’s global sea ice and SST (HadISST1.1). Las barras de error muestran el rango del promedio mensual de la de la temperatura superficial del océano durante ese periodo. Los periodos cuando no es conviene trasplantar en términos de la temperatura superficial del océano están indicados en rosado. Nótese cómo la temperatura superficial del océano en el hemisferio sur en Fiji, es más o menos la imagen espejo de aquellos en las Filipinas en el hemisferio norte y los relativamente pequeños cambios estacionales de la temperatura superficial del océano en las Maldivas ecuatoriales comparado con otros lugares.

En algunas partes del mundo cerca a los límites norte y sur de la distribución de los arrecifes de coral o en áreas con épocas de surgencia de aguas frías, los corales pueden estar estresados también por el enfriamiento. Si embargo, no está claro si los meses más fríos deben ser evitados también.

Listado de Buenas Prácticas

- ✓ Trasplantar cuando los corales estén lo menos estresados (por ejemplo algunos meses antes o después de la máxima temperatura anual de la superficie del mar y no durante el tiempo de desove para especies que desovan estacionalmente).
- ✓ Minimizar la exposición de los trasplantes de coral al aire, el sol y el calor.
- ✓ Si los corales se mantienen en contenedores cerrados por periodos significativos (alrededor de una hora o más), entonces cambiar el agua de mar por agua fresca al menos cada hora.
- ✓ Minimizar la manipulación (utilizar guantes).
- ✓ Estar alerta cuando los corales empiezan a producir mucho mucus. Esto es un síntoma clave de (needs space to separate de from que) que están estresados.

3.9. Monitoreo y mantenimiento

Desafortunadamente, debido a la considerable falta de monitoreo sistemático de las actividades de restauración, generalmente no se sabe por qué han ocurrido aparentes éxitos o fracasos. ¿Fueron los fracasos debido a eventos externos del azar o debido a defectos propios en los métodos utilizados para restaurar? ¿A menudo solo se conoce que ciertas actividades de restauración fueron llevadas a cabo, pero no se tiene idea de si éstas funcionaron o no. Desafortunadamente, sin un monitoreo cuidadoso es poco lo que se puede aprender de los errores del pasado o de las buenas prácticas futuras. La restauración no debe ser considerada como un solo evento sino como la continuación de procesos que se van a beneficiar del manejo adaptativo durante un periodo de varios años.



Monitoreo de un sitio de trasplantes en Mayotte. Note las cintas amarillas marcando cada colonia trasplantada.

Si la idea es aprender a partir de las intervenciones de restauración, se debe comparar lo que se logra con lo que hubiera sucedido si la naturaleza hubiera seguido su curso sin ninguna acción de nuestra parte. Esto significa que se deben dejar sin intervención algunos parches deteriorados del mismo tamaño de aquellos que se están intentando restaurar y se deben monitorear ambos para saber que ocurre en cada uno. Esto puede no ser apropiado cuando ocurren daños relativamente menores como el encallamiento de embarcaciones, pero para proyectos de restauración basados en el trabajo comunitario donde las áreas degradadas generalmente exceden lo que puede ser restaurado, esta actividad debe ser siempre considerada. Idealmente, los parches objeto de acciones de restauración deben ser comparados con parches semejantes no intervenidos. Cada proyecto de restauración es un experimento natural y todo lo que podamos aprender de cada

experimento será útil para futuros proyectos de restauración. El monitoreo también provee información importante para implementar un manejo adaptativo en el proyecto. El tipo de monitoreo considerado dependerá de los objetivos específicos del proyecto de restauración pero aquí ofrecemos algunas recomendaciones.

Entre mayor sea la información que se obtenga del monitoreo, mejor será en términos del aprendizaje a partir de su proyecto de restauración y de las consideraciones para el manejo adaptativo. Sin embargo, es importante ser realista; coleccionar pocos datos cuidadosamente es más útil que recopilar una gran cantidad de datos pobremente. Los estudios científicos, generalmente cuentan con un personal altamente calificado y dedicado de tiempo completo y con fondos significativos para realizar el monitoreo. Los proyectos llevados a cabo por las comunidades tienen probablemente recursos más limitados. Generalmente, el monitoreo se concentra en la supervivencia y el crecimiento de los trasplantes de coral u otros organismos trasplantados. En los estudios académicos, el seguimiento del crecimiento y la supervivencia de los trasplantes de coral individuales puede ser realizado a través del tiempo pero esto es muy demandante difícil de lograr. Un objetivo de monitoreo más realista puede ser observar cómo el área cubierta con coral vivo (expresado como porcentaje del área restaurada) cambia a través del tiempo. Esto puede hacerse utilizando transectos de línea-intercepto o métodos de cuadrantes (English et al., 1997).

Además, deberían hacerse algunos intentos para monitorear los cambios en la biodiversidad del lugar restaurado. Los corales, peces y otras especies conspicuas o económicamente importantes y fácilmente reconocibles pueden ser monitoreados. Si bien la identificación a nivel de especie puede ser difícil (especialmente para algunos corales!), cuando este sea el caso, también se puede utilizar grupos de especies, formas de crecimiento o grupos funcionales. Entre mayor sea la resolución taxonómica registrada, mayor será la utilidad de los datos, pero también mayor será la probabilidad que las personas que realizan el monitoreo confundan especies similares o no estén en acuerdo acerca de la identificación. Por ello, es mejor tener datos buenos y confiables a nivel de género o familia que datos no confiables a nivel de especie. La abundancia de distintos taxa de los grupos escogidos, puede ser monitoreada a través del tiempo para observar si el sistema se está volviendo más diverso y en particular si se está pareciendo al ecosistema saludable de referencia el cual se escogió como la meta (ver sección 1.3.1).

Así como el monitoreo sistemático discutido anteriormente es importante, una exploración simple del estatus del lugar restaurado realizada por un buzo cada dos semanas pueden ser muy útil. Desafortunadamente, muchos cambios puede ocurrir en intervalos de monitoreo de 3, 6 o 12 meses, incluyendo la mortalidad masiva de los trasplantes por perturbaciones (por ejemplo tormentas, escorrentías, predadores, varios eventos que causan blanqueamiento coralino). Visitas breves de un sitio cada 2-4 semanas pueden permitir identificar estos eventos, identificar las causas de la mortalidad de los corales y quizá tomar algunas acciones para remediarlo.

Mantenimiento – Dados los gastos y el esfuerzo en cualquier proyecto de restauración, es esencial intentar maximizar la supervivencia de los trasplantes. Ya que el monitoreo sistemático puede ocurrir a intervalos de varios meses, es beneficioso observar los trasplantes más frecuentemente por si ocurre depredación, sobrecrecimiento de algas o si se desprenden y así tomar las acciones remediadoras de ser necesario. Algunos equinodermos (por ejemplo, la estrella de mar corona de espinas *Acanthaster planci*), gastrópodos (por ejemplo, *Coralliophila*, *Drupella*, *Phestilla*) y peces se alimentan de coral vivo y hay evidencias de que los

trasplantes (particularmente si están estresados) pueden atraer depredadores (por ejemplo, la estrella de mar *Culcita*).

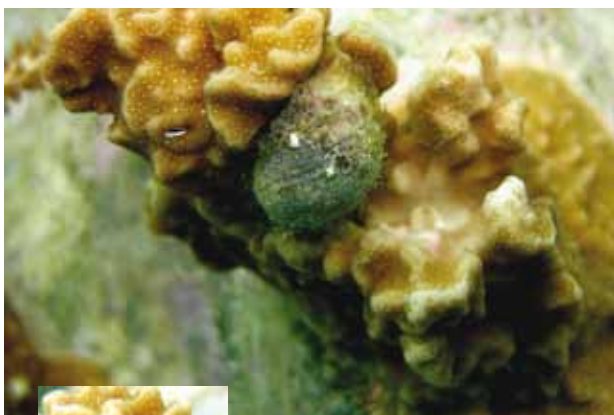
Es poco lo que uno puede fácilmente hacer respecto a los peces ramoneadores (muchos de los cuales están en un balance beneficioso porque ellos también tienen un rol clave ramoneando las algas que compiten y creando espacios para el reclutamiento de larvas de invertebrados) pero las lentas estrellas de mar y los gastrópodos depredadores, sí pueden ser removidos de la vecindad de los trasplantes y ser depositados lejos de los sitio de restauración. Esta rutina puede extenderse hacia la remoción de las algas (por ejemplo con un cepillo de alambre) que parecen estar amenazando a los trasplantes y volviendo a fijar cualquier trasplante suelto. Si hay un crecimiento excesivo de algas, entonces puede haber otras medidas de manejo que deben ser también consideradas. Si hay una significativa proliferación de la estrella de mar Corona de espinas, entonces medidas más drásticas son requeridas.



Estrella de mar Corona de Espinas alimentándose de *Acropora*



Depredación de *Porites rus* por el nudibranquio *Phestilla*. Note la masa de huevos.



El caracol depredador *Coralliophila* sobre una colonia de *Porites rus*.

Cicatriz de pastoreo por *Coralliophila*



La estrella de mar *Culcita* que es conocida por alimentarse de coral.

El área de la boca de *Culcita*

Listado de Buenas Prácticas

- ✓ Considerar la restauración no como un único evento sino como un proceso continuo a través de una escala temporal de años que probablemente requiere un manejo adaptativo.
- ✓ Monitorear los proyectos de restauración es esencial para aprender tanto de los errores como de las buenas prácticas del pasado. Sin esto, no se podrá evaluar el éxito o la relación costo-beneficio de la restauración, ni tampoco llevar a cabo un manejo adaptativo si es requerido.
- ✓ Establecer y monitorear ciertas áreas comparables, “control”, donde la restauración activa no ha ocurrido. Éstas proveen información de línea base a partir de la cual se puede evaluar la rentabilidad de las intervenciones de restauración.
- ✓ Considerar que tanto monitoreo puede ser llevado a cabo (en detalle y frecuencia) pero siendo realista. Es mejor tener pocos datos colectados cuidadosa y regularmente, que una gran cantidad de datos colectados pobre e irregularmente.
- ✓ Se recomienda hacer visitas rutinarias de mantenimiento al área restaurada. Éstas tienden a ser muy rentables dados los gastos de la restauración activa y puede prevenir una pérdida indiscriminada de trasplantes por predadores.

3. Cuánto cuesta la restauración arrecifal?

Es muy difícil encontrar información que detalle el verdadero costo de la restauración. En raros casos en donde los detalles del costo están disponibles, estos generalmente muestran los costos de la ejecución de las actividades de restauración en vez de aquellos para lograr los objetivos de restauración. Llevar a cabo una intervención de restauración activa, como trasplantar cierto número de corales en un arrecife, no es lo mismo que restaurar exitosamente un área de un arrecife. A menudo no es claro cuáles han sido los resultados de las actividades de restauración dado que el monitoreo no ha sido conducido por suficiente tiempo o sencillamente no se ha realizado. Aunque es útil conocer el costo relativo de las diferentes aproximaciones de restauración utilizadas en diferentes proyectos, es muy difícil comparar estos costos para que tengan una connotación significativa. Adicionalmente, los costos necesitan ser evaluados en el contexto de los beneficios generados por la restauración. Para la restauración biológica activa, los beneficios son probablemente el progreso logrado, en términos de los indicadores objetivo, por encima de lo que hubiera ocurrido si la recuperación natural no hubiera sido asistida. Por lo tanto, nosotros incluimos en la sección 1.3.1, la recomendación de establecer algunos sitios “control”, siempre que sea sea posible, donde no se esté llevando a cabo restauración activa.

Para la tarea de restauración activa más frecuente que es el intento de restaurar corales para formar arrecifes, un punto sobre el costo-beneficio que podría ser comparable entre proyectos y diferentes metodologías, es el costo por colonia

de coral que sobrevive hasta la madurez. Deducir este costo es más difícil. Los aportes pueden incluir insumos, equipos y mano de obra y algunos costos pueden relacionarse con gastos aislados de mantenimiento (los cuales pueden beneficiarse de economías de escala), mientras que otros pueden ser costos de funcionamiento. En teoría, los diversos componentes de los costos pueden ser reducidos a valores monetarios y luego ajustados a la semejanza del poder adquisitivo entre los diferentes países. Lograr resolver de una manera estándar la forma de estimar los costos-beneficios es claramente una prioridad si los métodos de bajo costo son promovidos y difundidos.

Habiendo dicho esto, aquí podemos dar alguna guía sobre los posibles costos de las actividades de restauración. Sin embargo, estos necesitan ser divididos entre los proyectos de restauración que involucran alguna restauración física y proyectos de restauración puramente biológicos. Los datos de los costos de proyectos de restauración por encallamiento de embarcaciones en el Caribe, los cuales involucran restauración física de las localidades, sugieren costos de US\$2.0 – 6.5 millones por hectárea. Los datos de proyectos de restauración biológica de bajo costo en Tanzania, Fiji y Filipinas sugiere costos que varían desde US\$2,000-13,000 por hectárea, en cambio un estudio en Australia sugirió que el trasplante para reemplazar 10% de la densidad de corales podría costar por lo menos US\$40,000 por hectárea.

Los dos estimativos de menores costos de restauración, se relacionan con los proyectos llevados a cabo por la comunidad. El primero involucró el trasplante de 2 corales por m² en un arrecife que ya tenía alrededor de un 20% de cobertura de coral (\$2,000/ha), y el segundo involucró el incremento en la cobertura de coral del 10% al 20% por medio del trasplante (\$4,590/ha) en parches arrecifales. Estos son pasos útiles para avanzar hacia la restauración pero claramente son estimativos optimistas del costo real de restaurar un arrecife. Los estimativos restantes parten de \$13,000/ha. Estas estimaciones pueden ser comparadas con el estimado promedio global del valor total de los bienes y servicios de los arrecifes de coral de US\$6,075 por hectárea por año y de potenciales beneficios sostenibles económicos para los arrecifes en Filipinas de US\$320-1,130 por hectárea por año.

Para un proyecto de restauración a pequeña escala operado por la comunidad, esto sugiere que probablemente los ingresos provenientes de las áreas restauradas van a ser invertidos para cubrir los costos por al menos varios años. Cualquier mejoría en la rentabilidad de las técnicas de restauración biológica puede hacer una gran diferencia para las finanzas. Claramente, lo mismo aplica para la restauración física.







Las comparaciones con estimativos de costos de restauración para otros ecosistemas, como pastos marinos, manglares, marismas, dunas de arena y lagunas, son ligeramente confiables. Los costos de la restauración arrecifal tienden a ser más elevados en proyectos de bajo costo, pero no significativamente. Se observan costos de ordenes de magnitud más elevados a los estimativos más altos para otros ecosistemas costeros solo cuando se consideran los encallamientos de embarcaciones y su restauración física.

La concientización de los altos costos de la restauración por hectárea llevan a que la atención se concentre en un área de investigación que requiere atención urgente porque ha sido descuidada; en otras palabras, se trata de incrementar gradualmente la restauración para que termine por asistir la recuperación de grandes áreas (en el orden de km²). ¿Deberían ser restaurados activamente parches "fuente" de tamaños relativamente pequeños con la esperanza de que su recuperación promueva la de áreas "sumidero" más grandes y cercanas? Si los parches discretos son activamente restaurados, los beneficios se van a propagar hacia áreas circundantes? ¿Cómo un manejo más adecuado junto con la restauración activa a pequeña escala, puede generar beneficios a mayor escala? Actualmente, es poco lo que se conoce para responder estas (y muchas otras) preguntas. Para atacar el enorme desajuste de escala entre lo que la restauración puede potencialmente lograr y la degradación arrecifal, estos vacíos del conocimiento necesitan ser llenados urgentemente. Una combinación de estudios de procesos ecológicos locales, conectividad a gran escala, procesos oceanográficos y modelamiento ofrecen una camino hacia el progreso en estos temas.



Hermoso arrecife en las Islas Similan, Tailandia

Cuadro de Mensajes

-  La restauración de sitios donde han encallado embarcaciones y que (needs space) por lo tanto requieren de una restauración física mayor de los arrecifes de coral, indican costos en el orden de US\$2 – 6.5 millones por hectárea.
-  Los trasplantes de bajo costo están alrededor de US\$2000-13,000 por hectárea. Con objetivos más ambiciosos este valor aumenta a alrededor de \$40,000 por hectárea.
-  Un estimativo grueso global del valor promedio total anual de los bienes y servicios de los arrecifes de coral es de US\$6,075 por hectárea.
-  Los potenciales beneficios económicos anuales de los arrecifes de las Filipinas son de US\$320-1,130 por hectárea.
-  La comparación de los costos y beneficios de la restauración de los arrecifes de coral utilizando métodos actuales sugiere que el caso económico para la restauración activa no está claro.
-  Mejorar la relación costo-beneficio de los métodos de restauración es esencial si la restauración se va a aplicar ampliamente.

5. Casos de estudio

En la sección a continuación, cinco casos de estudio serán presentados por Sandrine Job del programa de restauración de arrecifes del proyecto "Coral Reef Initiative for the South Pacific" (CRISP). Las localidades del proyecto varían desde el Océano Índico occidental hasta la Polinesia Francesa e ilustran algunos de los temas discutidos en secciones anteriores. Dos de los proyectos involucraron el trasplante de corales para mitigar áreas de arrecife destruidas por el desarrollo, dos buscaron mejorar el hábitat de los arrecifes de coral que no se recuperó de perturbaciones naturales (un ciclón y blanqueamiento masivo, respectivamente)- posiblemente combinado con impactos antropogénicos y uno intentó reducir la erosión y restaurar un lugar de extracción de arena cercano a un complejo hotelero. Para cada caso, la localidad, objetivo y los métodos utilizados son brevemente descritos y las lecciones aprendidas a partir de los resultados están presentadas como fueron percibidos por aquellos involucrados en el proyecto. Además, la información sobre los recursos (empleados, equipos, etc.) requeridos por cada proyecto está resumida junto con los presupuestos reales cuando estuvieron al alcance. Los costos del personal varían bastante de un sitio a otro; por lo tanto el número de personas y la duración del trabajo de campo se encuentran detallados de manera que el número de personas/día requeridos para realizar varias labores puede ser calculado por aquellos que estén interesados. Basados en la información y las recomendaciones en las secciones anteriores, se invita a evaluar cómo estos proyectos pudieron haber sido mejores. Algunos comentarios en parentesis han sido adicionados para conectar algunas lecciones aprendidas con las secciones apropiadas de la guía.

Un punto en común de los proyectos mencionados a continuación ha sido el reconocimiento de la necesidad de monitoreo (en algunos fue realizado un monitoreo posterior al trasplante por un periodo entre seis meses a cinco años). Sin este monitoreo, ninguna lección hubiera sido aprendida. En la mayoría de los casos de estudio, la supervivencia inicial de los trasplantes fue aceptable, pero al cabo de un año, ocurrieron altas mortalidades. Esto enfatiza la necesidad de monitorear por al menos un año y preferiblemente por un periodo de tiempo que esté de acuerdo con la posible recuperación (por ejemplo, mínimo 5 años). En la mayoría de los casos de estudio, hubo una selección cuidadosa de los sitios de trasplante para asegurar que estos fueran lo mas parecidos al sitio fuente en términos del ambiente. Donde la regla no fue cuidadosamente acogida, una alta mortalidad de los trasplantes ocurrió eventualmente. Los temas importantes para posterior consideración son 1) hasta qué punto los proyectos fueron considerados dentro de un contexto de manejo y planeación de una zona costera más amplia, 2) un enfoque dominante en términos del monitoreo de la supervivencia y crecimiento de los trasplantes de coral, 3) la necesidad de objetivos de restauración más claros y detallados, 4) la necesidad de un criterio de éxito *a priori* relacionado con los objetivos y contra el cual el progreso hacia la recuperación puede ser evaluado objetivamente [ver sección 1.3.1].

Para mayores detalles de estos casos de estudio por favor contacte a:

*Sandrine Job, c/o CRISP Coordinadora de la Unidad,
Secretariat of the Pacific Community, BP D5,
98848 Noumea cedex, New Caledonia
Tel: +687 265471, Fax: +687 263818*



Vista del "jardín de coral" en Bora Bora con trasplantes sobre arrecifes artificiales en aguas someras.

Caso de estudio 1: Restauración de un arrecife deteriorado debido a las operaciones de extracción de arena y la creación de un jardín de coral, Polinesia Francesa.

Localidad

Matira Point, Bora Bora, Polinesia Francesa
(Julio 1996 – Junio 2000)

Objetivo

Como resultado de las operaciones de dragado para extraer arena de origen coralino para la construcción, la línea de costa alrededor de Matira Point fue alterada por el movimiento de la arena llevando a la erosión costera. En un intento por rectificar el problema, una estrategia de dos etapas fue implementada, utilizando técnicas de restauración física y biológica.



Métodos

Restauración física:

- Los pozos de extracción creados por el dragado fueron rellenados con 10,000 m³ de arena proveniente del talud interno del arrecife, para permitirle al sedimento migrar hacia la costa.
- Tres barreras rompeolas de 20 m de longitud fueron instaladas y se implementó la reconstrucción de la playa entre los rompeolas. Adicionalmente, la línea costera fue remodelada y reforestada con la vegetación típica.
- Un total de 125 estructuras artificiales de concreto (que pesaban entre 1.6-17 toneladas) fueron ubicadas en el plano arrecifal arenoso alrededor de Matira Point como rompeolas para proteger la costa de la acción del oleaje proveniente de la laguna.

Restauración biológica:

- Un "jardín de coral" de 7,200 m² fue creado trasplantando 311 colonias de coral a 11 estructuras artificiales y 200 colonias de especies ramificadas (*Acropora* spp.) y masivas (*Porites* spp.) alrededor de los parches de arena.
- La colección de coral: los sitios donantes (los cuales incluyeron los pozos de extracción) fueron seleccionados con base en: (a) que tuvieran características similares a las del sitio de trasplante con respecto a la profundidad, el movimiento del agua, la exposición al oleaje y diversidad de corales, (b) proximidad y (c) accesibilidad. Las 311 colonias de coral colectadas fueron una mezcla de diferentes especies y formas de crecimiento, para recrear la estética del arrecife natural.

- Los corales fueron transportados dentro de contenedores llenos de agua marina.
- Los trasplantes fueron adheridos a las superficies artificiales utilizando pegamento epoxico y cemento de secado rápido.

El monitoreo se llevó a cabo en los meses 1, 3, 6, 9, 13, 28 y 32 después del trasplante. El monitoreo incluyó:

- La tasa de supervivencia y el crecimiento de los trasplantes de coral.
- La evaluación del estado de salud (observación de necrosis del tejido vivo, blanqueamiento, predación de los trasplantes de coral, etc.).
- La colonización natural de las estructuras artificiales por peces, algas, reclutas de coral y macro invertebrados.



Trasplantes en un arrecife artificial en aguas someras del "jardín de coral" en Bora Bora.

Lecciones aprendidas

- En general, la tasa de supervivencia de los trasplantes de coral al cabo de un año fue del 95%, sugiriendo la efectividad en la selección de los sitios donantes con base en su similitud al sitio de trasplante.
- La tasa de mortalidad para la especie submasiva *Porites rus* fue alta, debido principalmente a que fueron cubiertos por arena. Las colonias debieron haber sido ubicadas más separadas del fondo para reducir su exposición al sedimento resuspendido.
- La estética y la funcionalidad fueron considerados cuidadosamente cuando se construyeron las 11 estructuras superficiales, con la visión de crear tanto como fuera posible la mejor apariencia natural. Esto involucró simular el arrecife natural en términos de forma, textura (haciéndolo rugoso al incorporar cascajo coralino y arena al concreto) y color (colorantes fueron adicionados al cemento para que el sustrato tuviera un color similar al del arrecife natural). Proveer refugio es una función crítica del arrecife y por lo tanto las estructuras artificiales tenían huecos, grietas y espacios vacíos como refugio para peces e invertebrados. La abundancia y diversidad de peces fue significativamente mayor después de un año, donde 30-50% fueron juveniles de peces.
- La utilización de cemento de secado rápido y pegamento epoxico para adherir los trasplantes fue muy exitoso ya que ningún trasplante se soltó durante el primer año. La adhesión de la base de colonias debido al crecimiento del tejido sobre el sustrato fue generalizado, proporcionando una fijación a largo plazo. Ésto también sugirió un efecto limitado o un efecto adverso de corto plazo del cemento y el pegamento epoxico sobre la base de los trasplantes.
- Debido a la insuficiente toma de conciencia, se produjo una destrucción localizada (2%) de los trasplantes de coral por el tráfico de embarcaciones y turismo. Para evitar esto, es recomendado que el proyecto de restauración sea conducido en asociación con iniciativas de toma de conciencia de los potenciales usuarios.
- Una mortalidad masiva de corales fue reportada debido a un evento de blanqueamiento en enero de 2002, el cual afectó tanto a los corales trasplantados como a los naturales del plano somero arrecifal, mientras que los corales del talud exterior del arrecife sobrevivieron. El riesgo de que esta mortalidad ocurra, especialmente cuando se trasplanta en zonas someras de la laguna con poco intercambio de agua, debe ser tenida en cuenta cuando se planea un proyecto. Este riesgo debe ser considerado cuidadosamente cuando se seleccionan el sitio de trasplante y las especies a ser trasplantadas.
- Durante la restauración física de los pozos creados previamente, una gran cantidad de arena fue depositada en el área del jardín de coral. Esta área tuvo que ser removida para evitar que los trasplantes se asfixiaran y murieran. Las actividades de restauración física y biológica deben ser planeadas muy cuidadosamente para que este tipo de impactos puedan evitarse.

Contratista

Agencia francesa de desarrollo (French Agency of Development, AFD), Gobierno de la Polinesia Francesa y el Programa Nacional Científico (National Scientific Program "Recreate Nature").

Costos y esfuerzo requerido

Restauración Física

Actividad	# de días	# de personas	Presupuesto (US\$)
Construcción de las barreras	6	4	12,000
Relleno de los pozos de extracción y reconstrucción de la playa	75	?	445,000
Remodelación la costa y actividades reforestación	180	?	734,000
Construcción y ubicación de las estructuras artificiales como rompeolas	200	?	410,000
Restauración física total			1,601,000

? = se desconoce el número de personas empleadas por subcontratistas externos para llevar a cabo estos aspectos de la restauración física.

Restauración Biológica

Actividad	# de días	# de personas	Presupuesto (US\$)
Colección de corales (principalmente de los huecos de extracción) y su trasplante a las estructuras artificiales	19	3	40,000
Colección y transporte de 200 colinas masivas y ramificadas	40	6	90,000
Creación de 7,200 m ² de "jardín de coral" incluyendo 11 estructuras artificiales	30	4	140,000
Monitoreo del jardín de coral (por más de un año)	21	3	80,000
Restauración biológica total			350,000

Los recursos requeridos para la creación de 7,200 m² de jardín de coral con 11 estructuras artificiales y >500 de colonias trasplantadas: Un equipo de 3 a 6 personas: 2 biólogos marinos + 1 capitán de barco + 3 asistentes de campo (para hacer parte del trabajo); 1 bote; equipo de buceo; US\$350,000 o alrededor de \$50/m²

Referencias

Salvat, B., Chancerelle, Y., Schrimm, M., Morancy, R., Porcher, M. and Aubanel, A. (2002). Restauration d'une zone corallienne dégradée et implantation d'un jardin corallien. *Rev. Ecol. Supp.* 9: 81-96.

Caso de estudio 2: Restauración de un arrecife frangeante impactado por un ciclón tropical, La Réunion.

Localidad

Saint Leu, Isla La Réunion (1997-2000).

Objetivo

Durante el ciclón Firinga en 1989, varias porciones del arrecife frangeante de las Islas Réunion fueron devastadas, provocando una mortalidad de coral del 99% en algunos lugares, particularmente en el arrecife frangeante de Saint Leu.

El propósito de este estudio fue recuperar el hábitat para los peces y así ayudar a reestablecer las poblaciones de peces en la laguna de La Réunion.



Métodos

Este proyecto fue llevado a cabo en dos fases:

Fase 1 (Junio 1997-Junio 1999). Se trasplantaron corales ramificados (*Acropora muricata*, la especie dominante de los arrecifes de franja de La Réunion) asociados con larvas del pez damisela *Dasacillus aruanus* previamente criadas en tanques. La supervivencia y crecimiento de los trasplantes fueron evaluadas, así como las poblaciones de peces en los sitios de control y de experimentación. El monitoreo duró un año.

Fase 2 (Junio 1999- Junio 2000). Se ubicaron arrecifes artificiales conocidos como "bolas arrecifales", los cuales fueron construidos localmente y se trasplantaron fragmentos de coral (5 cm de largo) sobre ellas utilizando cemento de secado rápido. El monitoreo fue conducido para determinar la supervivencia y el crecimiento de los trasplantes y la colonización natural de peces e invertebrados de las estructuras artificiales. El monitoreo duró 5 meses.

Lecciones aprendidas

- El cemento puede ser utilizado efectivamente para trasplantar corales sobre superficies duras. Hubo una supervivencia del 100% de los trasplantes y no se soltaron después de dos meses.
- Las actividades de restauración deben ser realizadas dentro de áreas donde las actividades humanas puedan ser controladas. En este proyecto, muchos de los corales trasplantados (50% de los trasplantes de la fase 1 y 30% de los trasplantes de la fase 2) murieron como resultado de la sobre utilización de la laguna por pescadores y turistas.
- Durante la fase 1, el trasplante de peces no fue evidente sino hasta un mes después de su liberación, solo el 20% del número original fue encontrado dentro de las colonias trasplantadas. Después de un año, el número fue del 30%

del original, sugiriendo reclutamiento en las colonias. Por lo tanto, durante la fase 2, no se intentó el trasplante de peces, pero el reclutamiento natural en las estructuras artificiales fue monitoreado. Se observó reclutamiento de juveniles de peces en colonias de corales ramificados dentro de una semana.

- Durante la fase 2 y pasados 5 meses después de su trasplante, se encontró que aproximadamente el 50% de los corales trasplantados habían muerto por la asfixia de las algas filamentosas o por la depredación de ramoneadores. Dos posibles opciones para haber reducido la mortalidad serían el mantenimiento de los trasplantes (por ejemplo la remoción de algas) o el uso de fragmentos más grandes (por ejemplo >10 cm) los cuales podrían haber sobrevivido mejor al ramoneo parcial y a la competencia con las algas.

Contratista

University of La Réunion and National Museum of Natural History (Paris).

Costos

El equipo estuvo conformado por un consultor externo, 4 científicos, 8 estudiantes, 2 técnicos y guarda parques de la laguna de La Réunion; el presupuesto general fue de US\$40,000; de estos \$20,000 fueron utilizados para la compra de materiales incluyendo \$9,400 para construir y ubicar las 6 estructuras

artificiales; \$20,000 fueron gastados en salarios del consultor externo y los técnicos; los salarios de los científicos fueron cubiertos por la Universidad y los estudiantes fueron voluntarios no pagados.

Referencias

Chabanet, P. and Naim, O. (2001). Restauration mixte d'un récif détruit par le passage d'un cyclone. Programme de recherché «Recréer la nature».

Caso de estudio 3: trasplante de corales del puerto Longoni, Mayotte.

Localidad

Isla Mayotte (Océano Índico), Abril 2004.

Objetivo

Este proyecto de mitigación tuvo como objetivo compensar la degradación causada por la reclamación de una porción de un arrecife frangeante para extender el muelle principal. Los objetivos fueron: (1) el rescate de 600 colonias de coral que estaban amenazadas, y (2) realizar un experimento piloto trasplantando corales a la laguna de Mayotte.



Métodos

- Selección de tres sitios para el trasplante:
 - Un arrecife frangeante con condiciones ambientales muy similares al sitio amenazado (Longoni Balise)
 - Un parche de arrecife en la laguna alejado de la costa (Vaocluse)
 - Un arrecife localizado cerca a un sitio de paso a través de la barrea arrecifal (Surprise)
- 600 colonias fueron seleccionadas a partir de un amplio rango de géneros y formas de crecimiento las cuales fueron representativas de la comunidad amenazada del arrecife frangeante.
- Las colonias de tamaño pequeño y mediano fueron transportadas en contenedores plásticos llenos con agua de mar, mientras las colinas de mayor tamaño fueron ubicadas en cajas sumergidas y fueron arrastradas por un bote. El tiempo de traslado al sitio de trasplante fue de 30 minutos a 2 horas.
- Los trasplantes fueron adheridos con cemento a la roca natural de coral o losas de concreto (50 cm x 50 cm x 10 cm).
- Los trasplantes fueron marcados con etiquetas plásticas clavadas sobre la roca natural o puestas sobre la misma colonia.
- El monitoreo comenzó 1 mes después del trasplante y fue conducido cada 3 meses durante un año. El monitoreo incluyó:
 - La tasa de supervivencia
 - La tasa de crecimiento (se midió el diámetro mayor y el menor).
 - El porcentaje de mortalidad parcial (% de la superficie de coral muerto observado).
 - La colonización del sitio de trasplante por peces e invertebrados (examinado mediante tres réplicas de transectos de banda de 50 m x 4 m y 20 m x 2 m por sitio respectivamente).



Trasporte de trasplantes pequeños a medianos sumergidos en agua de mar en contenedores grandes de plástico.



Trasporte de trasplantes grandes en una jaula sumergida y arrastrada por un bote.

Lecciones aprendidas

- La operación fue en general exitosa con una tasa global de supervivencia del 80% después de un año, lo que implica que la metodología de colecta, transporte y adhesión de los trasplantes fue la adecuada.
- La escogencia del sitio para trasplantar fue importante: el sitio con las condiciones ambientales más similares al sitio fuente amenazado fue el que presentó la mayor supervivencia. Las tasas de supervivencia en el arrecife frangeante (más similar), el parche de arrecife alejado de la costa y el arrecife localizado cercano al sitio de paso a través de la barrera arrecifal fueron del 90%, 65% y 80% respectivamente.
- La observación de la mortalidad parcial es útil para determinar con mayor precisión el comportamiento de las colonias trasplantadas a través del tiempo. Esto permite determinar si la salud de los trasplantes que sobrevivieron disminuye o aumenta con el tiempo.
- Más de la mitad de las colonias trasplantadas mostraron necrosis parcial del tejido al cabo de un mes pero no hubo un posterior incremento. Esto sugiere la presencia de un estrés inicial durante el primer mes, el cual puede estar relacionado con la adaptación al nuevo ambiente y/o reacción a la manipulación del trasplante. Por lo tanto es crítico minimizar el estrés durante el trasplante.
- El cemento convencional fue razonablemente efectivo para adherir las colonias. Incluso en los ambientes donde el movimiento del agua es moderado, menos del 5% de las colonias trasplantadas se soltaron.
- Las losas de concreto ubicadas sobre la arena y sobre las cuales algunas colonias fueron adheridas, fue un completo fracaso. Casi todos los trasplantes murieron por asfixia debido a la arena. En ambientes arenosos, es esencial que los trasplantes se ubiquen por encima del mayor movimiento de la arena, particularmente en lugares donde la acción del oleaje y las corrientes resuspenden los granos de arena y estos a su vez raspan las superficies.
- Algunas pocas colonias que fueron ubicadas muy cerca entre sí, crecieron unas encima de otras. Los trasplantes deben ser ubicados suficientemente distantes como para evitar competencia por espacio.
- Aunque las colonias ramificadas tuvieron tasas de crecimiento significativamente mayores que las de las colonias masivas, estas últimas parecen ser más resistentes al estrés y regeneran más rápidamente el tejido necrótico o con mortalidad parcial.
- Aunque marcar las colonias fue útil para el monitoreo, esto tomó bastante tiempo y requirió de 6 personas para marcar 100 colonias en un hora. Las etiquetas de plástico requieren frecuente chequeo y deben ser reemplazadas cada 6 meses. Los clavos de acero inoxidable fueron muy efectivos para sujetar las etiquetas al sustrato.
- Alrededor del 5% de los trasplantes fueron afectados por los pescadores con anclas, redes o rocas (en Mayotte, lanzar rocas en el agua para aturdir a los peces es una práctica de pesca tradicional). Para mejorar la tasa de crecimiento, se recomienda que el trasplante se lleve a cabo en áreas marinas protegidas, donde los impactos humanos pueden ser mejor controlados.

Contratista

Dirección de l'Equipement de Mayotte.

Recursos requeridos para trasplantar 600 colonias.

Grupos de 3 buzos (biólogos marinos) + 1 capitán de barco+ 1 asistente de campo (preparando el cemento en la superficie y ayudando con la logística); 2 botes (una lancha rápida para llevar al grupo y corales pequeños/medianos; un bote más lento para arrastrar la caja sumergida con las colonias grandes); equipo de buceo; un periodo de 25 días de trabajo de campo (selección del sitio, colección de los corales, trasplante y monitoreo inicial); costos de salario: US\$60,000 (incluyendo \$20,000 de salario para el consultor externo); materiales, transporte y costos de subsistencia para el trabajo de trasplante: \$25,000; costos de un año de monitoreo (incluyendo el salario de un consultor externo el cual condujo las evaluaciones): \$12,000.

Referencias

Morancy, R., Job, S. and Thomassin, B. (2005). Transplantation des coraux du port de Longoni et suivi de l'opération. Rapport technique. Carex Environnement –GINGER.



Un trasplante de *Seriopora* marcada con una etiqueta de plástico martillada en el arrecife.



Arena sobre la losa de concreto utilizada para proveer sustrato estable para la adhesión de corales.

Caso de estudio 4: Restauración de un arrecife degradado por un evento de blanqueamiento, Fiji.

Localidad

Isla Moturiki, Fiji (Agosto 2005)

Objetivo

Este fue un proyecto de restauración basado en el trabajo comunitario, utilizando técnicas y tecnologías de bajo costo. El propósito fue restaurar una porción de un arrecife degradado por los eventos de blanqueamiento en el 2000 y 2002. El objetivo específico de este trabajo fue la restauración de los recursos pesqueros y estuvo más relacionado con la seguridad alimentaria y la prosperidad de la comunidad que con un enfoque hacia la biodiversidad.



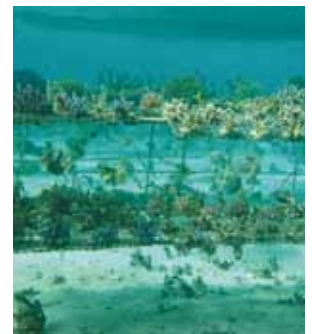
Métodos

- Los corales fueron obtenidos *inter alia* (de aquí y de allá) : las colonias amenazadas de asfixia por la arena (donde las colonias o fragmentos se han soltado y caído en la arena), las colonias cercanas a la superficie que mostraron algún daño por exposición a la marea baja, fragmentos de colonias afectadas por peces ballesta, anclas, redes, etc. y corales cultivados (cuatro granjas de coral fueron establecidas en aguas de Moturiki, éstas pertenecen y son mantenidas por las comunidades locales).
- Los trasplantes fueron transportados en el fondo de una embarcación, expuestos al aire, pero fueron regados continuamente con agua de mar durante el traslado. La duración del traslado fue de aproximadamente 30 minutos.
- Los trasplantes fueron sujetos por medio de tres métodos:
 - (1) "método de inserción": insertar los corales dentro de pequeñas ranuras y huecos en el sustrato duro de la piedra coralina, teniendo cuidado de encontrar el hueco del tamaño adecuado para cada fragmento, lo cual asegura que estos van a estar sujetos firmemente y por lo tanto van a adherirse más rápidamente;
 - (2) "método de ubicación": las colonias más grandes (generalmente especies de *Acropora*) fueron ubicadas directamente sobre parches de cascajo o arena (el lugar tenía solo un leve movimiento del agua) y subsecuentemente estabilizadas con piedras de la vecindad puestas alrededor de la base;
 - (3) "método del cemento": las colonias provenientes de un cultivo de coral fueron adheridos a cabezas de coral muerto o a rocas utilizando cemento común.

- Tres sitios cubriendo un área de alrededor de 2150 m² fueron trasplantados y comparados con tres sitios control de área similar durante el monitoreo.
- El monitoreo fue llevado a cabo a 1, 3, 6 y 9 meses después del trasplante. (El monitoreo fue programado para los meses 12, 15 y 18 fue abandonado después de un evento de blanqueamiento masivo y mortalidad) El monitoreo incluyó:
 - La tasa de supervivencia de los trasplantes.
 - La evaluación del cambio en el % de la cobertura de coral utilizando cinco transectos de línea-intercepto de 20-25 m.
 - La evaluación de la población de peces y macro invertebrados del bentos utilizando censos visuales y transectos de banda respectivamente.



Transportando grandes corales ramificados a los sitios de trasplante en Fiji. Los corales fueron regados con agua de mar utilizando un balde.



Cultivo de corales en la isla Moturiki, Fiji.

Lecciones aprendidas:

Métodos de transporte: a pesar de las condiciones hostiles en las que los corales fueron transportados (intrincados y amontonados unos sobre otros, expuestos al aire por 30 a 60 minutos), más del 95% de los trasplantes sobrevivieron por 6 meses y las especies ramificadas mostraron signos de crecimiento. Cuando el tiempo y el presupuesto son limitados, estos métodos simples pueden ser útiles (ver también Harriott and Fisk, 1995). Sin embargo, como se recomendó en la sección 3.8, es aconsejable minimizar el estrés y donde sea posible, mantener los corales a la sombra protegidos de la radiación solar directa y mantenerlos inmersos en agua de mar cuando se transportan.

Métodos de plantación de corales

Método de inserción:

- Este método fue el más sencillo y rápido de todos los métodos ensayados. Fue necesario poco mantenimiento y el método parece ser apropiado para restaurar áreas de arrecifes de coral dominados por colonias muertas/roca coralina donde las ramas pueden ser "insertadas". Sin embargo, este método está restringido a corales ramificados pequeños.
- Es importante escoger adecuadamente el tamaño de las ranuras para los fragmentos trasplantados y asegurarse que el tejido vivo esté en contacto directo con el sustrato para maximizar la posterior auto-adhesión. Si las ranuras disponibles eran muy grandes, se observó que los fragmentos podían quedar firmemente sujetos con un trozo de cascajo. Se encontró un 60% de auto-adhesión después de 6 meses del trasplante.
- Basado en el caso de estudio 3, la distancia entre los trasplantes fue considerada debido a la potencial competencia entre colonias y a la escasez de los recursos ubicando las colonias trasplantadas por lo menos a 50 cm de distancia.

Método de ubicación:

- Este método es apropiado únicamente en ambientes de baja energía (ver sección 3.4) donde el peso de las colonias ramificadas (o fragmentos grandes) es suficiente para mantener los trasplantes estables hasta que estos se auto-adhieran o su base pueda asentarse en la arena.
- Cuando sea posible, los trasplantes deben ser ubicados detrás de grandes rocas o en depresiones donde estén protegidos de las corrientes y de la acción del oleaje hasta que se adhieran. Sin embargo, la auto-adhesión tomó más tiempo con este método y solo el 35% de los trasplantes se sujetaron firmemente después de 6 meses (este método tiene el mayor riesgo para la supervivencia de los trasplantes y si se intenta, el riesgo debe ser considerado con cautela).
- Ubicar rocas de 30-40 cm alrededor de la base de las colonias de coral trasplantadas fue efectivo para darles un punto para sujetarse, inclusive cuando éstas se ubicaron sobre la arena, incrementando su peso y estabilidad y proveyendo una seguridad adicional contra las potenciales tormentas.

Método del cemento

- Este método fue efectivo para corales que no pudieron ser fácilmente insertados en las grietas y que eran muy pequeños y livianos como para ser ubicados directamente sobre el sustrato sin ser sujetos (colonias redondas de tamaño pequeño o mediano, colonias masivas y colonias cultivadas sobre placas de cemento). El 95% de los trasplantes mostraron auto-adhesión por crecimiento del tejido sobre el cemento en 6 meses.
- El cemento debe estar cuidadosamente contenido en bolsas de plástico y restringido al sitio de adhesión, con mucho cuidado de no perjudicar a los organismos vivos que se encuentran alrededor (otras esponjas, moluscos, erizos, etc.)

Evento de Blanqueamiento

Debido al evento de blanqueamiento que ocurrió 9 meses después del trasplante, dos tercios de los trasplantes murieron y un tercio se blanquearon parcialmente. Las comunidades naturales de coral en parches de arrecife aledaños sufrieron considerablemente menos. De esto, algunas lecciones pueden ser aprendidas:

- Los sitios donantes y de trasplante deben ser lo más similares entre sí en cuanto a las condiciones medio ambientales (oleaje, corrientes, profundidad, temperatura, luz y regímenes de perturbaciones). En este estudio, los corales fueron obtenidos de la laguna externa y trasplantados a la laguna interna del arrecife. Aunque inicialmente sobrevivieron, no parecían que estuvieran bien adaptados a las condiciones más extremas de la laguna interna. Los trasplantes deben estar adaptados a las condiciones predominante del ambiente en el sitio de restauración (ver Lista de Buenas Prácticas en las secciones 3.2 y 3.5).
- El monitoreo debe ser llevado a cabo por lo menos durante un año entero para tener en cuenta los cambios estacionales en el ambiente del sitio de trasplante. La pregunta crítica es si los trasplantes pueden sobrevivir durante las peores condiciones en los sitios cada año.

Contratista

Agencia de Desarrollo Francesa (AFD) dentro del programa "Coral Reef Initiative for the South Pacific (CRISP).

Recursos requeridos para trasplantar corales para aproximadamente 2000 m² de arrecife, incrementar la cobertura de coral un 10-15%: Equipo de dos científicos + 2 asistentes de campo + 1 capitán de barco; habilidades de buceo libre (sin tanque); un periodo de trabajo de campo de 10 días (60% del tiempo dedicado a las actividades de restauración, 40% del tiempo dedicado a la contribución científica como selección del sitio y monitoreo); costos de materiales US\$1,300; costos de salario US\$10,100.

Referencias

Job, S., Bowden-Kerby, A., Fisk, D., Khan, Z. and Nainoca, F. (2006). Progress report on restoration work and monitoring. Moturiki Island, Fiji. Technical report. Coral Reef Initiative for the South Pacific.

Caso de estudio 5: Trasplante de corales del puerto Goro Nickel, New Caledonia.

Localidad:

Bahía Prony, New Caledonia (Diciembre 2005 – Enero 2006).

Objetivo

Este proyecto fue una medida de mitigación impuesta a una compañía de extracción de níquel, Goro Nickel, con relación a la construcción de un muelle en un área arrecifal. El objetivo del proyecto tuvo dos partes: rescatar las colonias de coral amenazadas por las operaciones de reclamación y utilizarlas para restaurar 2000 m² de arrecife deteriorado. La supervivencia y el crecimiento fueron evaluados a lo largo de 5 años.



Métodos

- La selección de 3 sitios de trasplante en arrecifes frangeantes (uno de 1000 m² y dos de 500 m²) donde las condiciones ambientales fueran similares a las del sitio donante amenazado.
- La colección de aproximadamente 2000 colonias de coral de un amplio rango de géneros y formas de crecimiento, las cuales fueran representativas del área arrecifal amenazada.



Rociando agua de mar sobre los trasplantes durante el transporte del sitio donante.



Corales rescatados esperando para ser trasplantados.

- Los corales fueron transportados en contenedores plásticos expuestos al aire pero siendo regularmente rociados con agua de mar. El tiempo de traslado fue de 20 a 30 minutos.
- Los trasplantes fueron adheridos con cemento a la roca coralina.
- El monitoreo fue conducido 1 mes después del trasplante y luego programado cada 6 meses; ellos continuarán por 5 años. El monitoreo incluye:
 - La tasa de supervivencia
 - La evaluación de la cobertura coralina a través del tiempo utilizando el método de transecto de línea-intercepto con un transecto de 20 m de largo (10 réplicas para el sitio de 1000 m² y 5 réplicas para los dos sitios de 500 m²)
 - La colonización del sitio de trasplante por peces e invertebrados (determinado mediante transectos de banda de 50 m x 4 m y 20 m x 2 m respectivamente) utilizando 10 réplicas para el sitio de 1000 m² y 5 réplicas para los dos sitios de 500 m².

Lecciones aprendidas

- La tasa de supervivencia global después de 9 meses fue cerca del 90% sugiriendo la efectividad de seleccionar el sitio de trasplante basado en profundidad, pH, salinidad, turbidez, temperatura y geomorfología similares al sitio donante.
- Es posible transportar corales expuestos al aire hasta por 30 minutos, rociándolos con agua de mar limpia. Los trasplantes no mostraron ninguna señal de estrés (por ejemplo, producción excesiva de mucus o mortalidad subsecuente) por estar expuestos al aire durante este tiempo. [ver también Harriott y Fisk (1995). Sin embargo, como se recomendó en la sección 3.8, se aconseja minimizar el estrés y cuando sea posible mantener los corales a la sombra e inmersos en agua de mar cuando sean transportados.]
- En uno de los sitios, la mitad de los trasplantes sufrieron depredación por la estrella de mar corona de espinas (*Acanthaster planci*) y la estrella de mar *Culcita* – un 30% murió y un 20% sufrieron mortalidad parcial. Durante el monitoreo, es crucial remover a estos depredadores para aumentar la supervivencia de los trasplantes.

- El cemento fue el apropiado para fijar los trasplantes. Menos del 5% de los trasplantes se soltaron o se perdieron al final de las actividades de trasplante. Además, la mitad de las colonias crecieron sobre la base de cemento dentro de un periodo de 5 meses.
- Las colonias de *Acropora* trasplantadas fueron colonizadas por muchos peces juveniles dentro de unos pocos meses sugiriendo un rol importante para el reclutamiento de peces.

Contratista: Goro Nickel, una compañía de extracción de níquel.

Recursos requeridos para trasplantar 2000 colonias a 3 sitios sumando un total de 2000 m² de arrecife: equipo de 3 buzos (biólogos marinos) + 1 asistente de campo (preparando el cemento en superficie y ayudando con la logística); 1 bote; equipo de buceo; un periodo de trabajo de campo de 25 días (1/3 para preparar el trabajo de campo, logística y transporte; 2/3 para actividades de restauración- selección del sitio, colección, trasplante y monitoreo); costos de materiales: US\$17,000; costos de los salarios: US\$45,000.

Referencias: Job, S. (2006). Transplantation des coraux du port de Goro Nickel et suivi de l'opération. Rapport technique. SOPRONER – GINGER.

Bibliografía

Cesar, H.S.J. (ed.) (2000). *Collected Essays on the Economics of Coral Reefs*. CORDIO, Sweden. 244 pp.

Clark, S. (2002). Ch. 8. Coral reefs, p. 171-196, in M.R. Perrow and A.J. Davy (eds.) *Handbook of Ecological restoration. Volume 2. Restoration in Practice*. Cambridge University Press, Cambridge. 599 pp.

English, S. Wilkinson, C. and Baker, V. (1997). *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. 2nd Edition. Australian Institute of Marine Science, Townsville.

Harriott, V.J. and Fisk, D.A. (1995). Accelerated regeneration of hard corals: a manual for coral reef users and managers. *Great Barrier Reef Marine Park Authority Technical Memorandum*: 16, 42 pp. [see www.gbrmpa.gov.au/corp_site/info_services/publications/tech_memorandums/tm016/]

Heeger, T. and Sotto, F. (eds.) (2000). *Coral Farming: A Tool for Reef Rehabilitation and Community Ecotourism*. German Ministry of Environment (BMU), German Technical Cooperation and Tropical Ecology program (GTZ-TÖB), Philippines. 94 pp.

Job, S., Schrimm, M. and Morancy, R. (2003). *Reef Restoration: Practical guide for management and decision-making*. Carex Environnement, Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, IFRECOR. 32 pp.

Maragos, J.E. (1974). Coral transplantation: a method to create, preserve and manage coral reefs. Sea Grant Advisory Report UNIHI-SEAGRANT-AR-74-03, CORMAR-14, 30 pp.

Miller, S.L., McFall, G.B. and Hulbert, A.W. (1993). *Guidelines and recommendations for coral reef restoration in the Florida Keys National Marine Sanctuary*. National Undersea Research Center, University of North Carolina, at Wilmington. 38 pp.

Omori, M. and Fujiwara, S. (eds.) (2004). *Manual for restoration and remediation of coral reefs*. Nature Conservation Bureau, Ministry of Environment, Japan. 84 pp.

Precht, W.F. (ed.) (2006). *Coral Reef Restoration Handbook*. CRC Press, Boca Raton. 363 pp.

Richmond, R.H. (2005). Ch. 23. Recovering populations and restoring ecosystems: restoration of coral reefs and related marine communities, p. 393-409, in E.A. Norse and L.B. Crowder (eds.) *Marine Conservation Biology: the Science of Maintaining the Sea's Biodiversity*. Island Press, Washington DC. 470 pp.

Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration*. www.ser.org and Society for Ecological Restoration International, Tucson. 13 pp. [see www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp]

Whittingham, E., Campbell, J. and Townsley, P. (2003). *Poverty and Reefs*. DFID-IMM-IOC/UNESCO. 260 pp.





Créditos fotográficos

Queremos agradecer a los siguientes colegas y organizaciones por darnos el permiso de reproducir sus fotografías en la guía:

Akajima Marine Science Laboratory (AMSL): p.16 (abajo, foto derecha), p.17 (*Trochus*), p.18 (derecha arriba – 2 fotos), p.37 (punta de una rama de *Acropora* madura);

Australian Institute of Marine Science (AIMS): p.16 (abajo, foto izquierda);

Patrick Cabaitan: p.19 (medio derecha – 2 fotos), p.22;

Carex Environnement: p.24, p.28, p.29, p.32 (2 fotos), p.33 (2 fotos);

Coral Reef Initiative for the South Pacific (CRISP): p.ii (derecha abajo), p.20 (abajo – 2 fotos), p.34 (2 fotos);

Goro Nickel, New Caledonia: p.19 (medio izquierda), p.36 (2 fotos);

Nick Graham: Figuras 1 y 2 (arrecife sano), Figura 5 (arrecife degradado), contraportada (cirujanos azules);

James Guest: cubierta (foto principal), p.i y ii (*Drupella*), Figura 5 (*Acanthaster*), p.17 (medio, foto izquierda), p.25 (corona de espinas, *Coralliophila*, *Phestilla*), contraportada (*Protoreaster*);

Andrew Heyward: p.17 (medio, foto derecha), p.17 (recluta *Acropora*), p.18 (arriba izquierda);

Sandrine Job: Figura 1 y 2 (arrecife degradado), p.9, p.25 (*Culcita*);

Tadashi Kimura: contraportada (*Porites* volteado por el tsunami 2004);

Gideon Levy: p.15; Figura 7 (colección del arrecife, trasplante a un arrecife degradado);

Niphon Phongsuwan: p.11 (izquierda), fondo de Lista de Buenas Prácticas, p.14, p.27, p.38 (arriba);

Sakanan Plathong: p.10, p.11 (derecha);

Shai Shafir: Figura 7 (cultivo *ex situ* e *in situ*), p.16 (arriba derecha e izquierda), p.37 (2 fotos izquierda y 2 fotos derecha), contraportada (primera, cuarta y quinta foto en la tira);

Ernesto Weil: fondo del Cuadro de Mensajes, contraportada (foto principal del coral cuerno de alce);

Otras fotografías: Alasdair Edwards.

Contactos de correo electrónico:

Secciones 1-4

Alasdair Edwards: a.j.edwards@newcastle.ac.uk

Edgardo Gomez: edgomez@upmsi.ph

Sección 5

Sandrine Job: sandrine.job@soproner.nc

Programa CRTR

Melanie King, Executive Officer, Project Executing Agency: m.king4@uq.edu.au

Andy Hooten, Synthesis Panel Executive Secretary and US Coordinator: ajh@environmentservices.com

Programa CRISP

Eric Clua, CRISP Manager: EricC@spc.int

Renuncia de Responsabilidad

La información contenida en esta publicación es para uso general, para asistir al conocimiento público y la discusión y para ayudar a mejorar el manejo sostenible de los arrecifes de coral y los ecosistemas asociados. Esta guía incluye declaraciones generales basadas en investigación científica. Se le advierte a los lectores que sean conscientes de que esta información puede estar incompleta o inadecuada para ser utilizada en situaciones específicas. Los lectores deben buscar profesionales expertos y consejería científica y técnica antes de tomar alguna acción o decisión basada en la información de esta publicación. Hasta donde la ley lo permite, el programa "Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management" y sus socios, (incluyendo sus empleados y consultores) y los autores no asumen responsabilidad de ningún tipo resultado de quien haga uso o confíe en el contenido de esta publicación.



El programa "Reef Targeted Research & Capacity Building for Management, CRTR" es una iniciativa de liderazgo internacional en la investigación de los arrecifes de coral, la cual provee un acercamiento al conocimiento creíble, basado en hechos y comprobado científicamente para un mejor manejo de los arrecifes de coral. El programa CRTR es una sociedad de investigación proactiva y de capacitación que tiene como objeto sentar las bases fundamentales para llenar los vacíos en el conocimiento de las principales áreas de investigación como el blanqueamiento, la conectividad, las enfermedades coralinas, la restauración y rehabilitación de arrecifes, el sensoramiento remoto y el modelamiento y apoyo en la toma de decisiones. Cada una de estas áreas de investigación es desarrollada por Grupos de Trabajo respaldados por las habilidades de numerosos investigadores de los arrecifes de coral y líderes a nivel mundial. El CRTR también apoya cuatro Centros de Excelencia en regiones prioritarias (Sudeste de Asia, Centroamérica, África oriental y Oceanía), que actúan como importantes centros regionales de fomento de la confianza y las destrezas para la investigación, la formación y capacitación.

Visite la página de internet del CRTR: www.gefcoral.org



La iniciativa para la protección y el manejo de los Arrecifes de Coral del Pacífico Sur (CRISP, siglas en inglés), apoyado por Francia, tiene como objetivo desarrollar una visión sobre el futuro de estos ecosistemas únicos y de las comunidades que dependen de ellos para su sustento. Esta iniciativa busca poner en marcha estrategias y proyectos para preservar la biodiversidad de los arrecifes y para el futuro desarrollo de la economía y los servicios ambientales que ofrecen tanto a nivel local como mundial. Entre muchos otros, este programa aborda la cuestión sobre el mejoramiento de las capacidades de las comunidades locales para la restauración y la gestión de los ecosistemas de coral a través de su componente 2B, basado en una empresa conformada por la unión de un operador francés SPI INFRA-Pacífico y una ONG FSPI (Foundation for the South Pacific People International).

Visite la página de internet de CRISP: www.crisponline.net

La investigación sobre la restauración de los arrecifes de coral que lleva a cabo el programa CRTR en Filipinas, Palau y México es complementada por proyectos basados en el trabajo comunitario sobre restauración y gestión de los ecosistemas de coral que se desarrollan como parte del programa CRISP en el Pacífico Sur. Además, los miembros del equipo CRISP tienen una amplia experiencia en proyectos de restauración de arrecifes en todo el Indo-Pacífico desde Mayotte hasta la Polinesia Francesa. La colaboración de CRTR y CRISP en la sección 5 de "Aprendiendo lecciones a partir de proyectos de restauración" añade a las recomendaciones generales valiosas experiencias a partir de casos de estudio. Esta colaboración entre los dos programas será ampliada en la preparación del Manual de Restauración de Arrecifes (*Reef Restoration Manual*) previsto para finales de 2008. Este práctico manual pretende no solo sintetizar los resultados de la investigación sobre la restauración de arrecifes de los programas CRTR y CRISP sino también los del proyecto "European Commission funded, REEFRES" (titulado "Desarrollo de prácticas ubicuas para la restauración de los arrecifes del Indo-Pacífico"), así como resumir previos conocimientos.