

PLAN DE CONSERVACIÓN Y MANEJO DE LOS CORALES DE GALÁPAGOS

ASEGURANDO LA SUPERVIVENCIA DE LOS CORALES DE GALÁPAGOS



PLAN DE CONSERVACIÓN Y MANEJO DE LOS CORALES DE GALÁPAGOS

ASEGURANDO LA SUPERVIVENCIA DE LOS CORALES DE GALÁPAGOS



Parque Nacional
GALÁPAGOS
Ecuador



Fundación
Charles Darwin
Foundation
GALAPAGOS



FUNDACIÓN
JOCOTOCO
ECUADOR



USFQ | UNIVERSIDAD
SAN FRANCISCO
DE QUITO



FONDO PARA EL CONTROL
DE LAS ESPECIES INVASORAS
DE GALAPAGOS - FEIG



Galápagos
Conservancy
galapagos.org

CÓMO CITAR ESTA PUBLICACIÓN

Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG), Fundación Charles Darwin (FCD), Universidad San Francisco de Quito (USFQ), Fundación Jocotoco y colaboradores (2025). Plan de conservación y manejo de los corales de Galápagos (PCMCG). Puerto Ayora, Galápagos - Ecuador.

Diseño y Maquetación: Boris Herrera / FCD

TABLA DE CONTENIDO

p4. RESUMEN EJECUTIVO

El *Plan de conservación y manejo de los corales de Galápagos (PCMCG) * es una iniciativa colaborativa para proteger, restaurar y garantizar la persistencia a largo plazo de los corales en Galápagos mediante acciones científicas, de gestión y restauración antes de 2030.

p5. AGRADECIMIENTOS Y CRÉDITOS

p7. INTRODUCCIÓN

Los corales son vitales para la salud de los océanos, ya que apoyan la biodiversidad, la protección costera, el turismo y la investigación; en Galápagos, forman ecosistemas únicos cuya conservación es crucial en medio de amenazas globales como el cambio climático y los eventos de ENOS.

p9. Marco regulatorio

p12. Historia de los corales en Galápagos

p13. Estado actual y amenazas

p14. VISIÓN Y OBJETIVO GENERAL

Para 2030, las acciones coordinadas garantizarán la recuperación de los corales de Galápagos, asegurando sus servicios ecosistémicos vitales. El plan se centra en la conservación de los corales en Galápagos y en el Pacífico Tropical Oriental, haciendo hincapié en la conectividad regional y en su valor ecológico.

p15. COMPONENTES, ESTRATEGIAS Y ACTIVIDADES PRIORITARIAS DE GESTIÓN Y CONSERVACIÓN

El taller de tres días definió los componentes clave para la conservación de los corales: monitorear las amenazas, aumentar la resiliencia y aplicar estrategias de restauración. Se establecieron nueve estrategias de colaboración para llenar las brechas de conocimiento y guiar los esfuerzos coordinados, con el fin de hacer de Galápagos un modelo global de conservación de los corales.



p16. Iniciativas clave

p19. Prioridades y brechas de conocimiento

p23. PRESUPUESTO

Se contempla varios componentes de resiliencia marina y de coral en Galápagos, liderados por la DPNG, FCD, USFQ, WWF y sus socios, con financiamiento del Fondo Verde del Clima (GCF), KfW a través del FEIG y fondos de Galapagos Conservancy. Estos incluyen la restauración de corales, el control de especies marinas invasoras y el establecimiento de líneas de base en aguas profundas, con colaboración regional y próximas oportunidades de financiamiento.

p24. CONCLUSIONES

El PCMCG es un esfuerzo de colaboración que une a expertos, instituciones y partes interesadas para proteger y restaurar los corales de Galápagos. Destaca la complejidad de los corales, la cooperación interdisciplinaria y el compromiso compartido de ampliar las estrategias de conservación a nivel regional y mundial.

p25. BIBLIOGRAFÍA

p27. GLOSARIO

p30. APÉNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

El Plan de Conservación y Manejo de los Corales de Galápagos (PCMCG) es el resultado de un proceso participativo y colaborativo que involucra a las principales partes interesadas, incluyendo científicos, expertos en conservación y representantes de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. El proceso de elaboración de este documento incluyó diferentes fases: una revisión de la literatura disponible, reuniones preliminares entre los miembros del comité organizador y un taller celebrado en febrero de 2023 en Puerto Ayora.

El objetivo principal del PCMCG es promover la protección, la recuperación y la persistencia de los corales en el archipiélago de Galápagos, mediante la implementación de un plan de manejo para 2030, que articulará la investigación duradera y las acciones de manejo priorizadas. Este plan reconoce la importancia crucial de los corales para los ecosistemas marinos, la protección costera, el turismo, la pesca y la investigación científica en Galápagos.

El PCMCG está estructurado en tres componentes principales:

1. Monitoreo y amenazas directas: establecer una base científica basada en la información sobre la distribución, la composición y el estado de salud de los corales, con el objetivo de identificar las principales amenazas a las que se enfrentan, incluyendo el calentamiento global, los fenómenos climáticos extremos, las enfermedades, la acidificación y la desoxigenación de los océanos, así como desarrollar estrategias para su mitigación.

2. Resiliencia, resistencia, genética y modelado: se concentra en comprender la biología básica de los corales de Galápagos y en desarrollar modelos predictivos de la persistencia de los corales para anticipar las posibles respuestas a los cambios ambientales y climáticos.

3. Restauración y otras intervenciones de gestión: diseñar, establecer e implementar una estrategia integral para la restauración de

los corales en áreas prioritarias, abordando las presiones de las especies invasoras y otros impactos antropogénicos.

Además, el éxito del PCMCG depende de esfuerzos sostenidos y progresivos, de un grupo de trabajo bien coordinado, de la participación activa de la comunidad y de la consideración de los factores socioeconómicos. Se han identificado las principales brechas de conocimiento y se ha elaborado una propuesta presupuestaria que detalla los costos de la implementación. Esto incluye el financiamiento disponible para los proyectos en curso, así como para las nuevas iniciativas.

En resumen, el PCMCG representa un compromiso conjunto para proteger y conservar este importante ecosistema marino, con el objetivo de garantizar su continuidad, mantener los bienes, procesos y servicios ecosistémicos relacionados y contribuir a la salud ambiental y socioeconómica del archipiélago.



AGRADECIMIENTOS Y CRÉDITOS

El PCMCG es el resultado de un proceso participativo, que incluyó una revisión de la literatura disponible, reuniones preliminares entre los miembros del comité organizador y un taller celebrado en Puerto Ayora en febrero de 2023. Las ideas propuestas en este plan se discutieron

y acordaron en el taller y, en conjunto, pertenecen a todos sus participantes. Este plan no sería posible sin el conjunto de ideas y experiencia de todos los que participaron en este proceso y a quienes se reconoce en orden alfabético a continuación.

NOMBRE	AFILIACIÓN	ABREVIATURA
Bernard Riegl	Universidad Nova Southern	NSU
Billy Bensted-Smith	Fundación Charles Darwin	FCD
Cheryl Logan	Universidad Estatal de California, Monterey Bay	CSUMB
Daniel Velasco	Universidad San Francisco de Quito	USFQ
Doménica Pineda	Conservando Galapagos	CG
Estefany Altamirano	Dirección del Parque Nacional Galápagos	DPNG
Estefany Anazo	Dirección del Parque Nacional Galápagos	DPNG
Ezri Tazari	Technion — Instituto de Tecnología de Israel	Technion
Favio Rivera	Universidad San Francisco de Quito	USFQ
Fernando Rivera	Instituto Nazca de Investigaciones Marinas	Nazca
Inti Keith	Fundación Charles Darwin	FCD
Jefferson Renato Herrera	Dirección del Parque Nacional Galápagos	DPNG
Jenifer Suarez	Dirección del Parque Nacional Galápagos	DPNG
John Bruno	Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill	UNC
Jon Witman	Universidad de Brown	BU
Joshua Feingold	Universidad Nova Southern	NSU
Juan Pablo Caldas	Conservation International Colombia	CI-C
Margarita Brandt	Universidad San Francisco de Quito	USFQ
María José Guarderas	Universidad Nova Southeastern	NSU
Mariana Vera	Conservation International Ecuador	CI-E
Mateo López Victoria	Pontificia Universidad Javeriana de Cali	PUJC
Nardi de la Torre	Universidad San Francisco de Quito	USFQ
Natalia Tirado	Fundación Charles Darwin	FCD
Nicolás Dávalos	Galapagos Reef Revival	GRR
Nicolás Moity	Fundación Charles Darwin	FCD
Nikki Traylor-Knowles	Universidad de Miami	UM
Oren Levy	Universidad de Bar-Ilan	BIU
Priscila Martínez	Instituto Nazca de Investigaciones Marinas	Nazca
Sean Connolly	Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales	STRI
Stuart Banks	Fundación Charles Darwin	FCD

Los organizadores y facilitadores llevaron a cabo la planificación, coordinación y registro de los contenidos y debates del taller, así como la sistematización de los resultados de este plan.

La Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG) reconoce y agradece a Galapagos Conservancy (GC), al Fondo de Especies Invasoras para Galápagos (FEIG), a la Fundación

Jocotoco, a la Fundación Charles Darwin (FCD), al Galapagos Science Center de la Universidad San Francisco de Quito (GSC-USFQ) y a Re:Wild, quienes proporcionaron los fondos para el taller y la publicación de este documento.

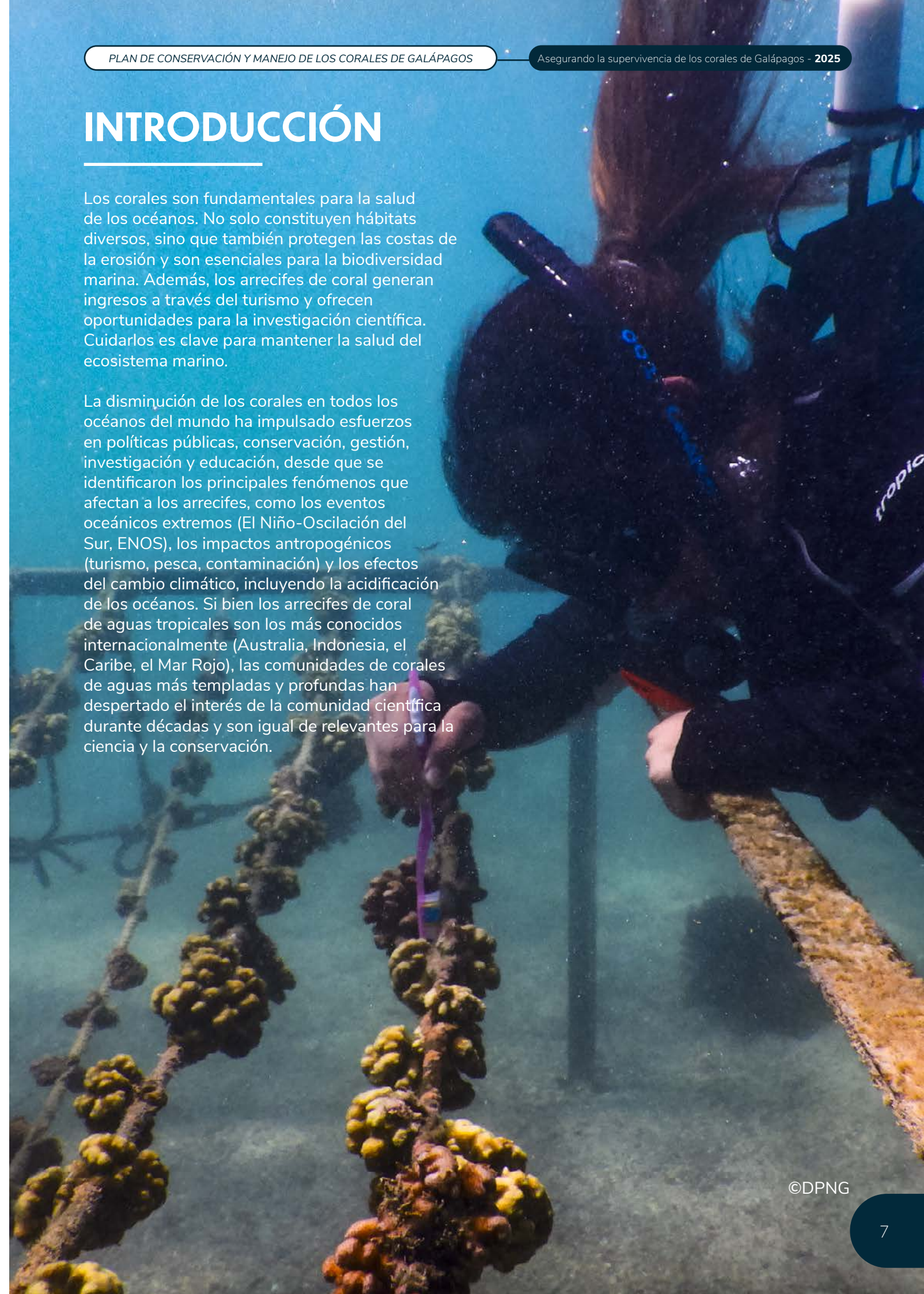


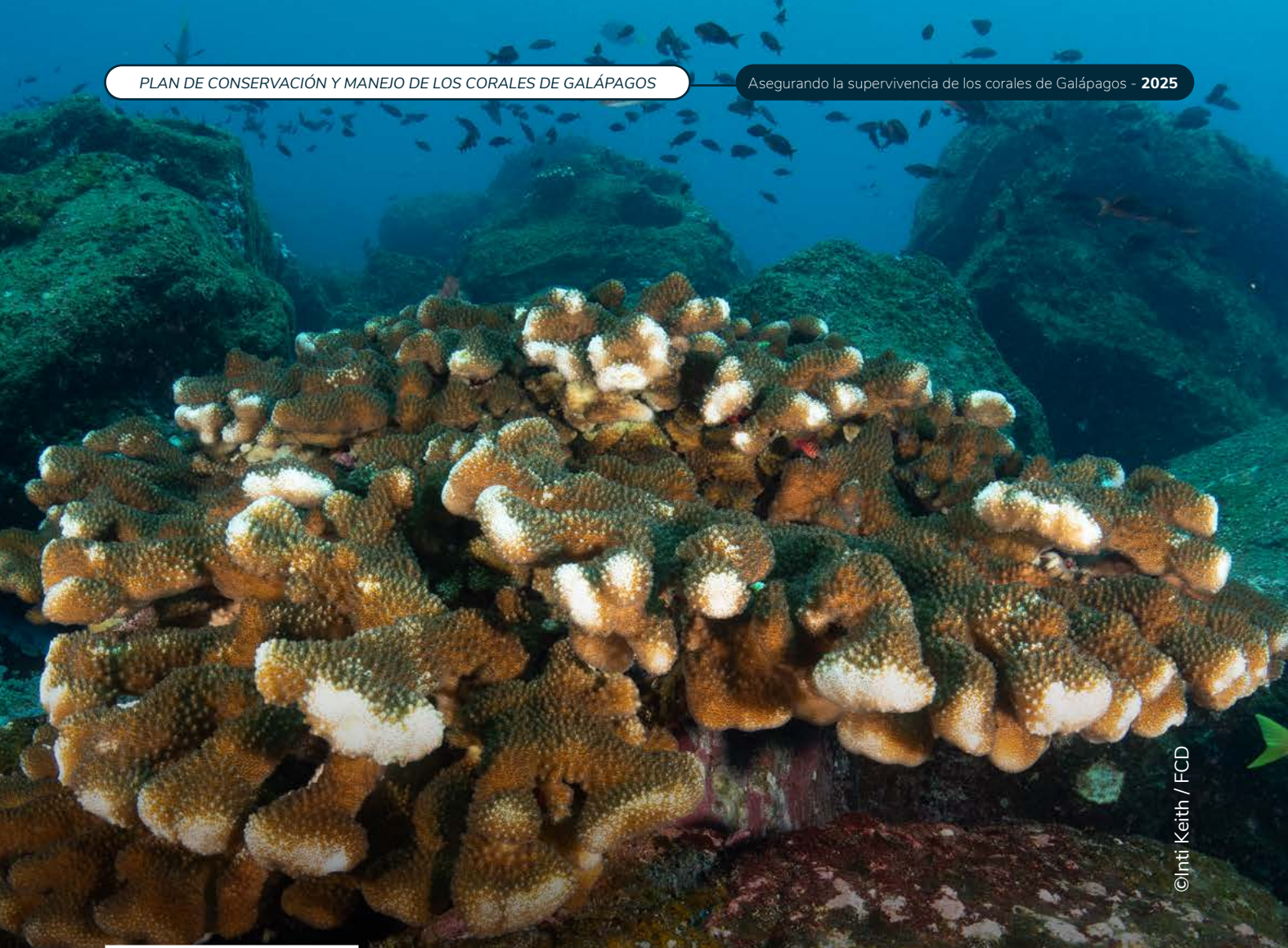
Figura 1: Participantes del taller del Plan de Conservación y Manejo de los Corales de Galápagos en el muelle de la Estación Científica Charles Darwin. ©Rashid Cruz/FCD

INTRODUCCIÓN

Los corales son fundamentales para la salud de los océanos. No solo constituyen hábitats diversos, sino que también protegen las costas de la erosión y son esenciales para la biodiversidad marina. Además, los arrecifes de coral generan ingresos a través del turismo y ofrecen oportunidades para la investigación científica. Cuidarlos es clave para mantener la salud del ecosistema marino.

La disminución de los corales en todos los océanos del mundo ha impulsado esfuerzos en políticas públicas, conservación, gestión, investigación y educación, desde que se identificaron los principales fenómenos que afectan a los arrecifes, como los eventos oceánicos extremos (El Niño-Oscilación del Sur, ENOS), los impactos antropogénicos (turismo, pesca, contaminación) y los efectos del cambio climático, incluyendo la acidificación de los océanos. Si bien los arrecifes de coral de aguas tropicales son los más conocidos internacionalmente (Australia, Indonesia, el Caribe, el Mar Rojo), las comunidades de corales de aguas más templadas y profundas han despertado el interés de la comunidad científica durante décadas y son igual de relevantes para la ciencia y la conservación.





©Inti Keith / FCD

Las Islas Galápagos ofrecen condiciones únicas que funcionan como un laboratorio natural para el estudio de los corales, debido a su ubicación ecuatorial y a la variabilidad de las corrientes y las condiciones de afloramiento. Los corales son un componente vital de los ecosistemas marinos del archipiélago, y durante décadas se han realizado estudios para comprender su resiliencia y sus interacciones con el entorno. La documentación inicial de Hancock, en 1954, registró un levantamiento vertical de seis metros de comunidades de coral (*Pavona clavus*, *Pocillopora damicornis* y *Porites lobata*) en Bahía Urbina (al oeste de Isabela), lo que puso de relieve el impacto de la actividad geológica en los hábitats coralinos. En las décadas de 1970 y 1980, las investigaciones pioneras de Jerry Wellington y Peter W. Glynn aportaron información valiosa sobre los paleoclimas y las condiciones oceánicas. Sin embargo, los arrecifes de Galápagos sufrieron graves pérdidas durante el ENOS de 1982/83, que provocó una mortalidad del 97%, seguido de otro fuerte evento en 1997/98 que dificultó aún más la recuperación y generó extinciones locales.

Actualmente, el arrecife Wellington de la isla Darwin sigue siendo el último arrecife estructural somero de Galápagos (Glynn et al., 2018; Keith et al., 2022). Está compuesto principalmente por corales de aguas cálidas, especialmente *Porites lobata*, cuyos arrecifes alcanzan entre dos y cuatro metros de altura, junto con colonias de los géneros *Pavona* y *Pocillopora*. En Galápagos se han registrado 26 especies de corales hermatípicos con endosimbiontes fotosintéticos de la familia *Symbiodiniaceae* (Glynn et al., 2018). La ausencia de múltiples arrecifes estructurales no siempre fue el caso; en el pasado existían 17 arrecifes estructurales distribuidos en varias islas (Figura 1), algunos con más de 500 años de antigüedad. El reciente descubrimiento de extensos arrecifes a profundidades de entre 400 y 600 metros, que bordean montes submarinos, ha ampliado el conocimiento sobre los hábitats de los corales de aguas profundas y ha subrayado su importancia ecológica y resiliencia. Los esfuerzos continuos de investigación y conservación son esenciales para proteger estos frágiles ecosistemas frente a las crecientes amenazas del cambio climático.

Marco regulatorio

La protección y conservación de los arrecifes y comunidades coralinas de Galápagos se mencionan en las normativas nacionales e insulares: (a) el Acuerdo Ministerial 067, emitido el 8 de junio de 2016 por el Ministerio del Ambiente: Expedir las medidas de protección y conservación de los arrecifes y comunidades coralinas del Ecuador; (b) el Plan de Gestión de las Áreas Protegidas de Galápagos de 2014; y (c) la Convención Internacional de Ramsar, dado que los arrecifes de coral se consideran humedales marinos. En este marco, Ecuador forma parte de la Iniciativa Regional para la Gestión Integral y el Uso Sostenible de los Ecosistemas de Manglares y Corales, aprobada por el Comité Permanente de Ramsar (SC40) en mayo de 2009.

1. Acuerdo Ministerial 067 (2016) establece, entre otros puntos: (a) La necesidad de generar un mapa oficial georreferenciado de los principales arrecifes y zonas coralinas del país, indicando su estado de conservación y sensibilidad. Con este fin, se podrán establecer acuerdos con instituciones educativas y

organizaciones no gubernamentales (art. 4). (b) Los operadores de turismo y buceo, debidamente autorizados por las autoridades pertinentes, promoverán buenas prácticas ambientales en sus actividades, dentro y fuera de las áreas protegidas. Los guías de buceo y esnórquel incluirán en sus sesiones informativas previas a la inmersión aspectos relacionados con la mejora de la flotabilidad neutra para evitar afectar el fondo rocoso o los corales; además, se informará a los visitantes que no deben tocar ni retirar nada del entorno natural (art. 10). (c) Las prácticas de pesca están completamente prohibidas en las zonas de protección de corales y en aguas poco profundas rocosas, conforme a lo establecido en la Ley de Pesca vigente (art. 13). (d) El Ministerio del Ambiente, a través de la Subsecretaría de Gestión Marina y Costera y la Subsecretaría de Cambio Climático, debe incorporar en sus políticas y estrategias medidas de adaptación y mitigación a los efectos del cambio climático, con el fin de garantizar, de manera participativa, la protección efectiva de los arrecifes y ecosistemas coralinos.



©Inti Keith / FCD

Asimismo, el Ministerio, mediante la Subsecretaría de Gestión Marina y Costera, implementará y promoverá la investigación necesaria para generar información relevante y actualizada que sirva para la toma de decisiones y la formulación de políticas y estrategias frente al cambio climático; también será responsable de difundir la información existente y la generada para la concienciación, la prevención y la protección ambiental (art. 14). (e) El Ministerio del Ambiente, a través de la Subsecretaría de Gestión Marina y Costera, las Administraciones de Áreas Protegidas y las Direcciones Provinciales, es responsable de monitorear el estado de los arrecifes y zonas coralinas del país de acuerdo con sus capacidades. Para ello, deberán establecer protocolos de monitoreo participativo para la protección y evaluación de la salud de las zonas coralinas, en coordinación y alianza con instituciones pertinentes, organizaciones no gubernamentales y el sector académico. Estos protocolos buscan estandarizar metodologías para un análisis técnico adecuado y generar información que permita al Ministerio implementar o ajustar acciones dentro o fuera de las áreas protegidas para prevenir el deterioro de las zonas de arrecifes y corales, además de promover su protección y conservación (art. 16). (f) La promoción de proyectos de investigación científica con entidades académicas y organizaciones no gubernamentales (art. 17). Los artículos 18 y 19 enfatizan la importancia de la socialización y la educación para todos los sectores de la comunidad, incluyendo los turistas, en coordinación con el Ministerio de Turismo. Las sanciones se establecen con base en la Ley Forestal y el Código Orgánico Integral Penal, y se regulan mediante el Código Orgánico Ambiental como instrumento legislativo.

2. Plan de Gestión de las Áreas Protegidas de Galápagos (2014) reconoce la zona submareal como uno de los principales ecosistemas costeros, incluyendo los fondos rocosos y las paredes verticales, los arrecifes de coral y los fondos arenosos, y cita 10 especies de coral incluidas en el Apéndice II de la CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) en 2013. También menciona el Objetivo 1, «Gestionar la conservación de los ecosistemas de Galápagos y su biodiversidad

insular y marina para mantener su capacidad de generar servicios»; el Objetivo 4, «Dinamizar procesos sociales participativos e inclusivos para fomentar el buen vivir y una cultura galapagueña responsable con el entorno.»; el Objetivo 5, «Incrementar e Integrar el conocimiento científico-técnico interdisciplinario, aplicado al manejo de la interacción entre los ecosistemas insulares y marinos con los sistemas socioeconómicos y culturales de la Provincia de Galápagos en un contexto de Cambio Global.»; y el objetivo 6, «Promover la cooperación nacional e internacional para la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad de la Provincia de Galápagos, de acuerdo a las prioridades establecidas por el Estado ecuatoriano en el Plan para el Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Régimen Especial de Galápagos». Todos estos objetivos se enmarcan en el trabajo realizado en el taller y en los resultados que aquí se presentan.



©Inti Keith / FCD



©Billy Bensted Smith / FCD

3. Convención Internacional de Ramsar (2009): Las directrices de la convención hacen hincapié en la gestión sostenible de los manglares y los arrecifes de coral, reconociendo su importancia ecológica y la necesidad de protegerlos de amenazas como la contaminación, la sobrepesca y el cambio climático.

El marco regulatorio descrito en la sección anterior valida el PCMCG como una herramienta de toma de decisiones para la gestión relacionada con la investigación, la pesca, el turismo y la conservación. Una vez aprobado por la DPNG, puede utilizarse como documento clave para coordinar las actividades que cumplan con el Plan de Manejo de las Áreas Protegidas y con el Acuerdo Ministerial 067.

4. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas (CITES): Esta convención desempeña un papel crucial en la conservación de los corales al regular su comercio internacional. Varias especies de coral que se encuentran en Galápagos están incluidas en el Apéndice II de la CITES (2013), que exige que se controle cualquier comercio para evitar la sobreexplotación. La exportación o el comercio de estas especies requiere permisos estrictos y el cumplimiento de directrices de sostenibilidad para garantizar su protección. En Ecuador, la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG) y otras autoridades son responsables de hacer cumplir las normas de la CITES, prevenir el comercio ilegal y garantizar la gestión adecuada de los recursos de coral.

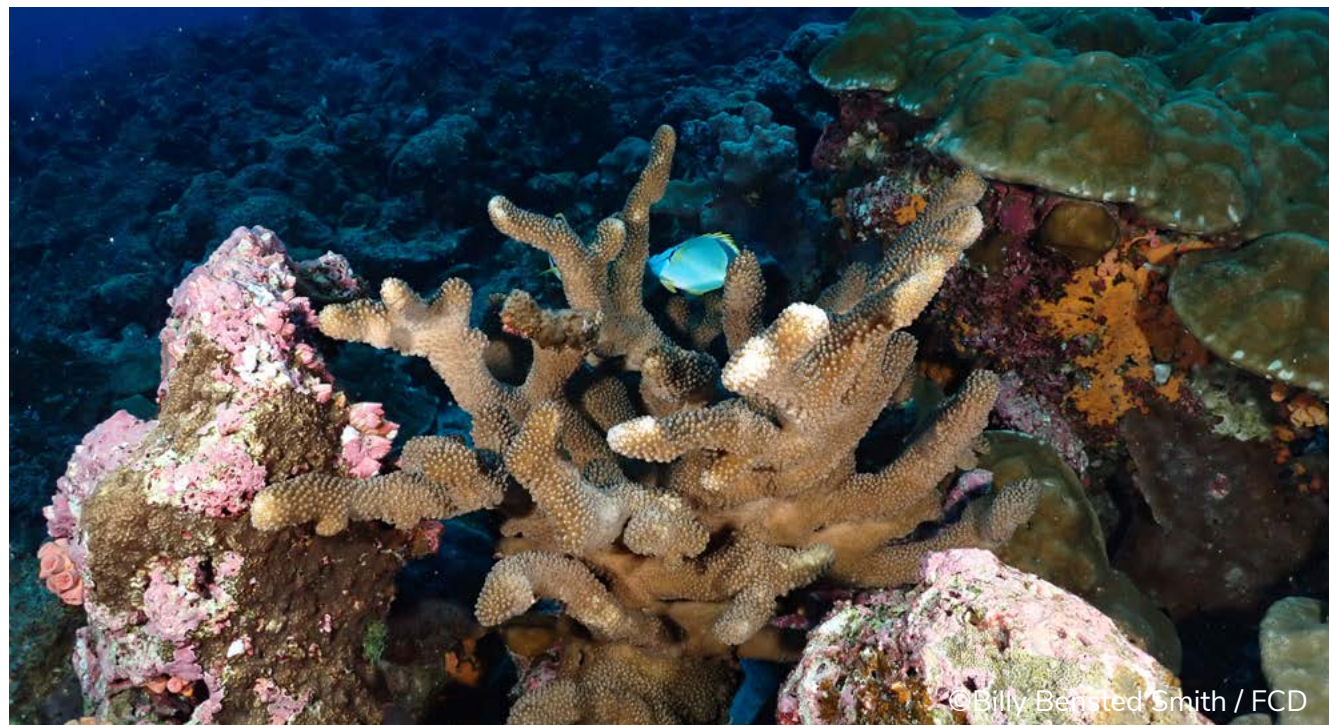
Historia de los corales en Galápagos

El archipiélago de Galápagos alberga 300 especies de filo Cnidaria. Hay 88 especies de coral aceptadas: 71 nativas, 16 endémicas y 1 criptogénica (FCD, 2024). Estas cifras siguen siendo conservadoras, y se han identificado nuevas especies de corales de aguas frías mediante exploraciones y colecciones recientes en las profundidades oceánicas posteriores a 2015. Dentro de este filo se encuentran los corales hermatípicos, es decir, los corales formadores de arrecifes, con un total de 26 especies: 12 de los géneros Pocillopora, 5 Pavona, 2 Psammocora, 2 Cycloseris, 2 Madracis y 1 para cada uno de los géneros Porites, Gardineroseris y Leptoseris. Aunque se han identificado morfológicamente 12 especies de Pocillopora (FCD, 2024), la delimitación genética dentro de este grupo no se ha resuelto por completo. Durante varias décadas se han realizado estudios e investigaciones sobre los arrecifes de coral de Galápagos, principalmente para comprender cómo los eventos naturales, como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), han impactado en la salud de estos importantes ecosistemas.

La revisión de la literatura sobre los estudios de corales hermatípicos, resumida en una base de datos digital, abarcó 64 publicaciones, incluyendo artículos, tesis, reseñas, listas de verificación,

búsquedas en Google Scholar y búsquedas específicas en Google. La documentación comprende ocho géneros estudiados de corales hermatípicos, 10 disciplinas científicas e incluye a más de 60 autores. La mayoría de las publicaciones están relacionadas con la ecología de los corales, la dinámica de poblaciones y los eventos de El Niño, incluyendo los registrados en el pasado mediante estudios paleoclimáticos. Se han realizado estudios en 15 islas de Galápagos. Floreana presenta el mayor número de publicaciones, seguida de Santa Cruz, Isabela y Darwin. Los géneros Pocillopora y Pavona han sido los más estudiados en el archipiélago.

Muchos autores de las publicaciones revisadas hacen recomendaciones para impulsar acciones de manejo o planes de conservación, por ejemplo: evitar el uso de anclas, regular el turismo, establecer protocolos de bioseguridad y desarrollar protocolos de detección temprana y respuesta rápida. Se identifican brechas importantes en el conocimiento generado sobre temas clave, como: (i) el estudio de la dispersión de especies invasoras, (ii) los impactos inducidos por el cambio climático, los hábitats refugio y las respuestas biológicas, (iii) la conectividad poblacional, y (iv) los estudios de perspectiva social sobre las percepciones de las personas respecto a los corales.



© Billy Bennett Smith / FCD

Estado actual y amenazas

De los 17 arrecifes de coral costeros documentados en Galápagos antes de 1982, solo un arrecife funcional, el arrecife Wellington en la isla Darwin, permanece hoy (2025), junto con algunas comunidades de coral dispersas (Glynn et al., 2018). Esta dramática disminución pone de relieve la vulnerabilidad de los ecosistemas de coral del archipiélago. Sin embargo, el PCMCG tiene como objetivo proteger y fomentar la recuperación de todas las especies de coral de la región, no solo los corales hermatípicos que forman arrecifes, sino también los corales ahermatípicos solitarios, los corales negros (antipatarios), los corales blandos (octocorales), los corales de aguas frías y otras especies menos conocidas. Al ampliar los esfuerzos de conservación más allá de las estructuras arrecifales, este programa busca garantizar la preservación de toda la biodiversidad de corales de Galápagos.

Los corales remanentes en Galápagos se enfrentan a múltiples amenazas ambientales y antropogénicas, muchas de las cuales se han intensificado debido al cambio climático y a la actividad humana. Entre ellas se incluyen:

- Estrés por temperatura (calor y frío, inversiones graduales y rápidas, tasa de variación).
- Calentamiento global.
- Enfermedades.
- Falta de reclutamiento.
- Acidificación de los océanos.
- Especies marinas invasoras (por ejemplo, *Caulerpa*).
- Contaminación.

Si bien algunas amenazas, como el calentamiento global y la acidificación de los océanos, requieren una intervención a escala global, el PCMCG prioriza las amenazas localizadas que pueden gestionarse activamente para mejorar la resiliencia de los corales en Galápagos. Los esfuerzos incluyen el monitoreo de las variaciones de temperatura, la gestión de las especies invasoras, la reducción de la contaminación, la restauración de las poblaciones de coral y la promoción de prácticas marinas sostenibles. A través de estas acciones específicas, el programa busca salvaguardar las comunidades de coral existentes, fomentar la recuperación natural y garantizar que los corales de Galápagos continúen desempeñando un papel crucial en el ecosistema marino.

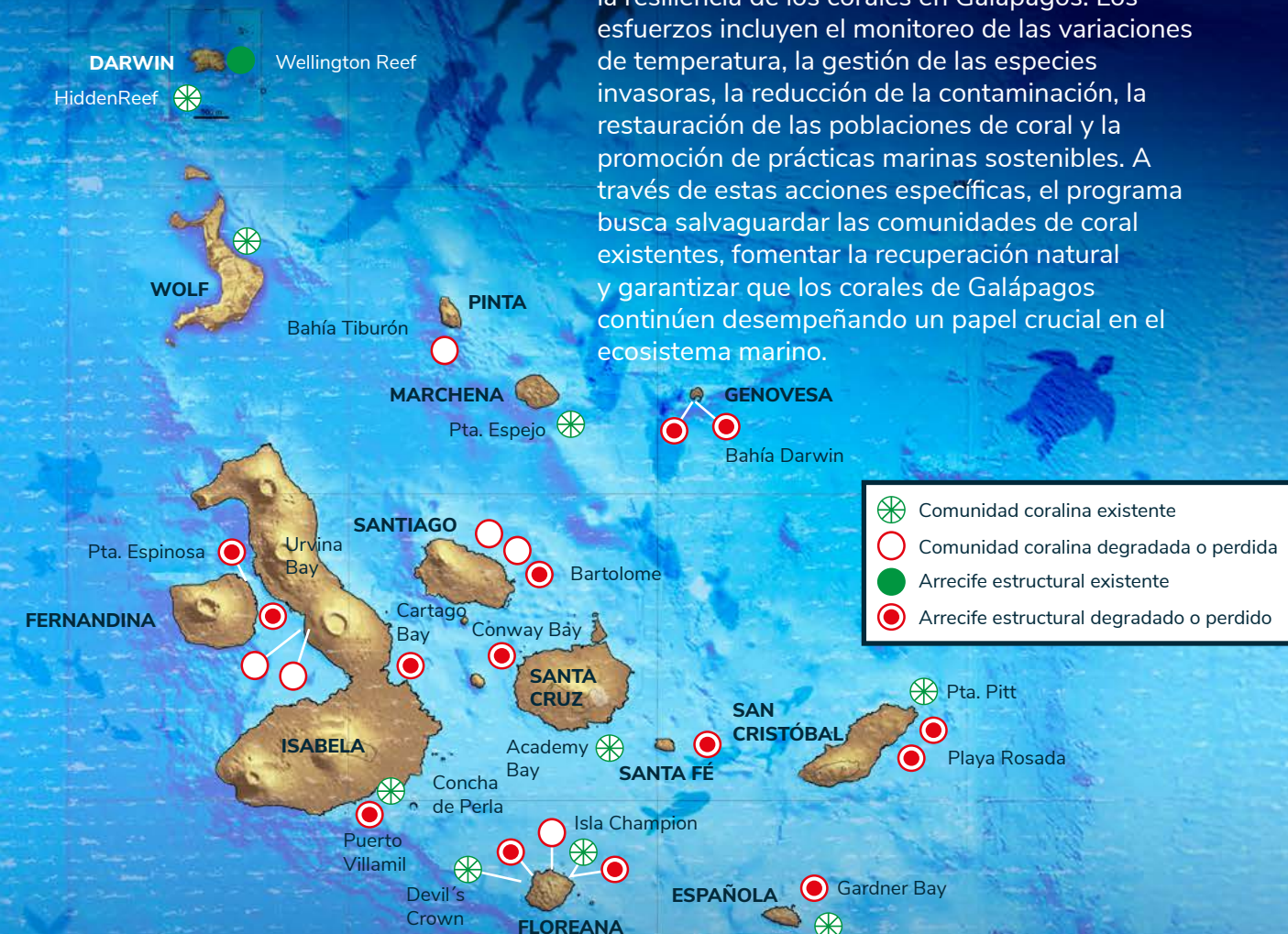


Figura 1: Ubicación y condiciones de los arrecifes de coral costeros y las comunidades coralinas en las Islas Galápagos después de El Niño 1982-1983 (Glynn et al., 2018).

VISIÓN Y OBJETIVO GENERAL

Visión

Los corales de Galápagos mantienen su capacidad de generar servicios ecosistémicos.

Objetivo general

Para el 2030, la investigación coordinada y las intervenciones de manejo priorizadas garantizarán la recuperación y la persistencia de los corales de Galápagos.



Alcance

El PCMCG mantiene un enfoque general en los corales de Galápagos, con actividades que se aplican principalmente dentro de la Reserva Marina de Galápagos (RMG), aunque se ha considerado una posible expansión a la Reserva Marina Hermandad.

Las áreas marinas protegidas (AMP) se reconocen como zonas importantes para la distribución de los corales de aguas frías, y se destaca la importancia de mantener una perspectiva regional debido a la conectividad con otras áreas coralinas del Pacífico Tropical Oriental (PTO). Esto incluye la zona costera del Ecuador continental, la isla del Coco en Costa Rica, las islas Gorgona y Malpelo en Colombia y la isla de Coiba en Panamá, entre otras. La visión y el objetivo general del PCMCG se basan en los beneficios que las comunidades coralinas sanas pueden aportar en los contextos ambiental y económico (incluido el turismo), así como en la seguridad alimentaria, el secuestro de carbono, el ciclo del carbono y el funcionamiento de los ecosistemas marinos. El PCMCG es una respuesta a la degradación observada de los corales y arrecifes a lo largo del tiempo.

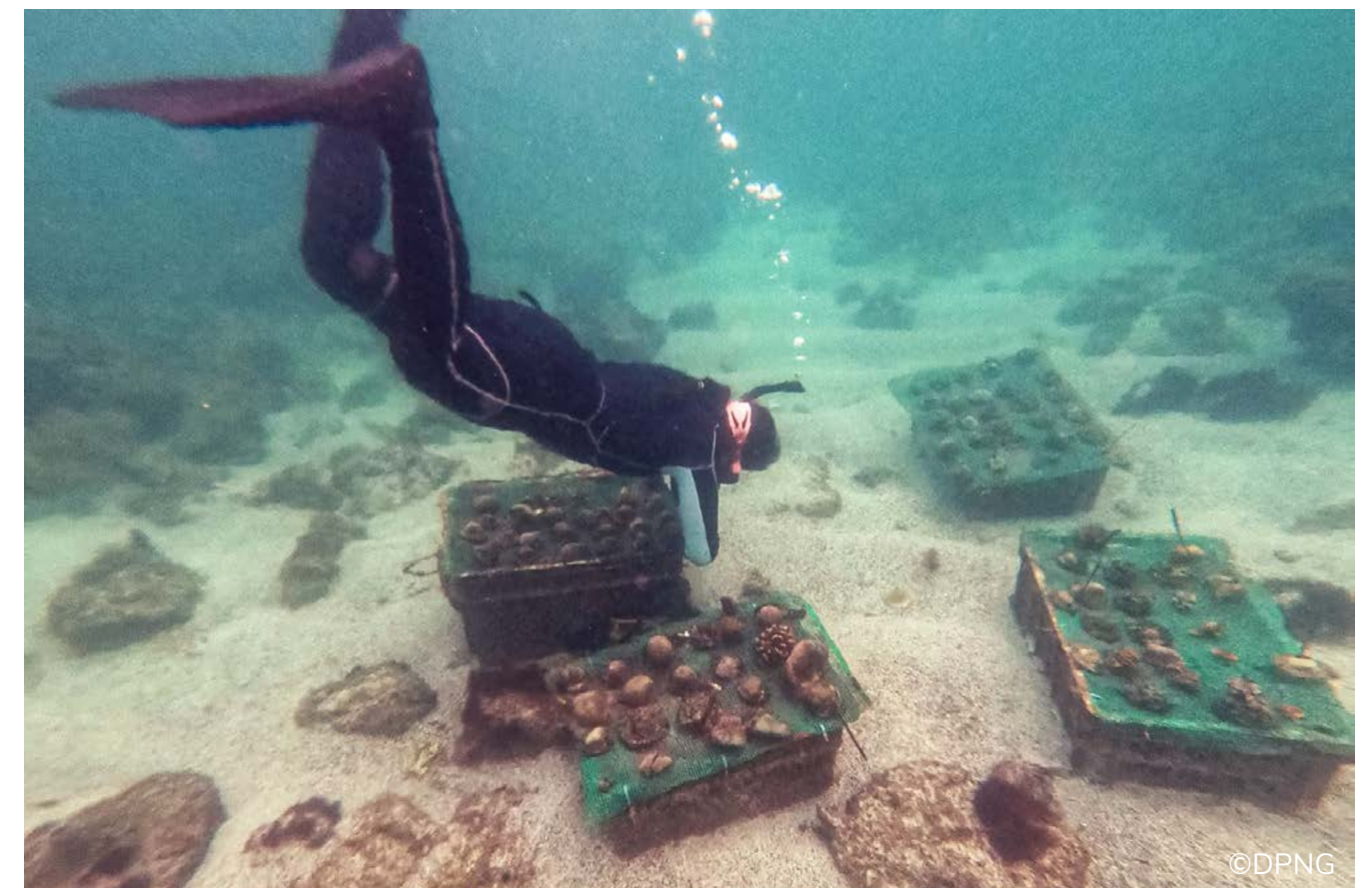


COMPONENTES, ESTRATEGIAS Y ACTIVIDADES PRIORITARIAS DE GESTIÓN Y CONSERVACIÓN

El trabajo realizado durante el taller de tres días, basado en los conocimientos adquiridos en Galápagos y a nivel regional sobre los corales, los proyectos e iniciativas en curso en Galápagos y el intercambio de conocimientos entre expertos, permitió definir tres componentes para el Plan de Acción: Monitoreo y detección directa de amenazas y mitigación de impactos; Resiliencia, resistencia, genética y modelado; y Restauración y otras intervenciones de gestión.

Las brechas de conocimiento se identificaron de dos maneras: algunas afectan a los tres componentes, mientras que otras son específicas a cada uno. Las brechas más urgentes, que inciden en múltiples áreas, se priorizan en el primer componente: **Monitoreo y detección directa de amenazas y mitigación de impactos.**

En total, se identificaron **nueve estrategias** (Tabla 1) relacionadas con los tres componentes mencionados anteriormente, que abarcan la investigación, la gestión y la ciencia comunitaria, entre otros. Cada estrategia implica un trabajo colaborativo entre varias entidades, para lo cual se ha identificado a los líderes y partes responsables. Se trata de trabajar en colaboración para lograr la visión y los objetivos de conservar los corales de Galápagos, convirtiendo a la región en una referencia mundial para las iniciativas de protección y conservación de los corales. Hacemos hincapié en que los esfuerzos coordinados y complementarios son una característica transversal y prioritaria del PCMCG. La información generada y recopilada dentro de cada componente sirve como insumo y retroalimentación para el trabajo desarrollado en los demás componentes.



Iniciativas clave

1. Proyectos en curso:

- Dos proyectos de restauración de corales: Punta Estrada, isla Santa Cruz (DPNG); La Calera, Isabela (GRR-USFQ).
- Determinación de la identificación de simbiontes y microbiomas que habitan en los corales de Galápagos (CSU Monterey Bay, CSUMB; USFQ; Universidad de Miami, UM; FCD; Instituto Smithsonian, SI).
- Guía de identificación de corales (DPNG, 2023).
- Proyecto que mapea la variación en la respuesta fisiológica de los corales al estrés térmico (CSUMB; USFQ).
- Actualización sobre el estado de los corales hermatípicos de la RMG (DPNG; FCD).
- Uso de fotogrametría para evaluar el estado de salud de comunidades coralinas a largo plazo (DPNG; FCD)

2. Grupo de trabajo y financiamiento sostenible para el PCMCG

→ Recomendación unánime #1: Formar un «grupo de trabajo» para liderar la implementación y el monitoreo del PCMCG, así como para buscar financiamiento sostenible para este grupo y para los presupuestos necesarios para ejecutar el plan.

2.1 Responsabilidades del Grupo de Trabajo:

- Identificar a una persona responsable de centralizar la información, convocar reuniones, sistematizar los compromisos, dar seguimiento y comunicar con prontitud las novedades y las posibles fuentes de financiamiento.
- Explorar, junto con esta persona, los mecanismos de financiamiento emergentes; por ejemplo, la creación de redes en conferencias oceánicas, las convocatorias específicas para corales y las oportunidades en Galápagos, como el Fondo de la Reserva Marina de Galápagos (FIAS) y el Galapagos Life Fund.
- Evitar la duplicación de esfuerzos, agilizar el proceso de obtención de permisos, alinear el trabajo con los planes regionales y los planes de gestión, y mantenerse al día con los avances en los elementos del PCMCG que ya cuentan con financiamiento.

©Inti Keith / FCD



3. Compromiso socioeconómico

→ Recomendación unánime #2: Integrar la ciencia, la participación de la comunidad y los aspectos socioeconómicos en la investigación, gestión, protección y restauración de los corales.

3.1 Ejemplos de acciones a considerar:

- 3.1 Ejemplos de acciones a considerar:
- Establecer una línea de comunicación, concienciación y actualización de la información relevante. Esto podría tomar la forma de grupos en redes sociales y canales de comunicación y difusión dirigidos a guías, científicos, conservacionistas, educadores y miembros de la comunidad.
- Invitar a los socios estratégicos e

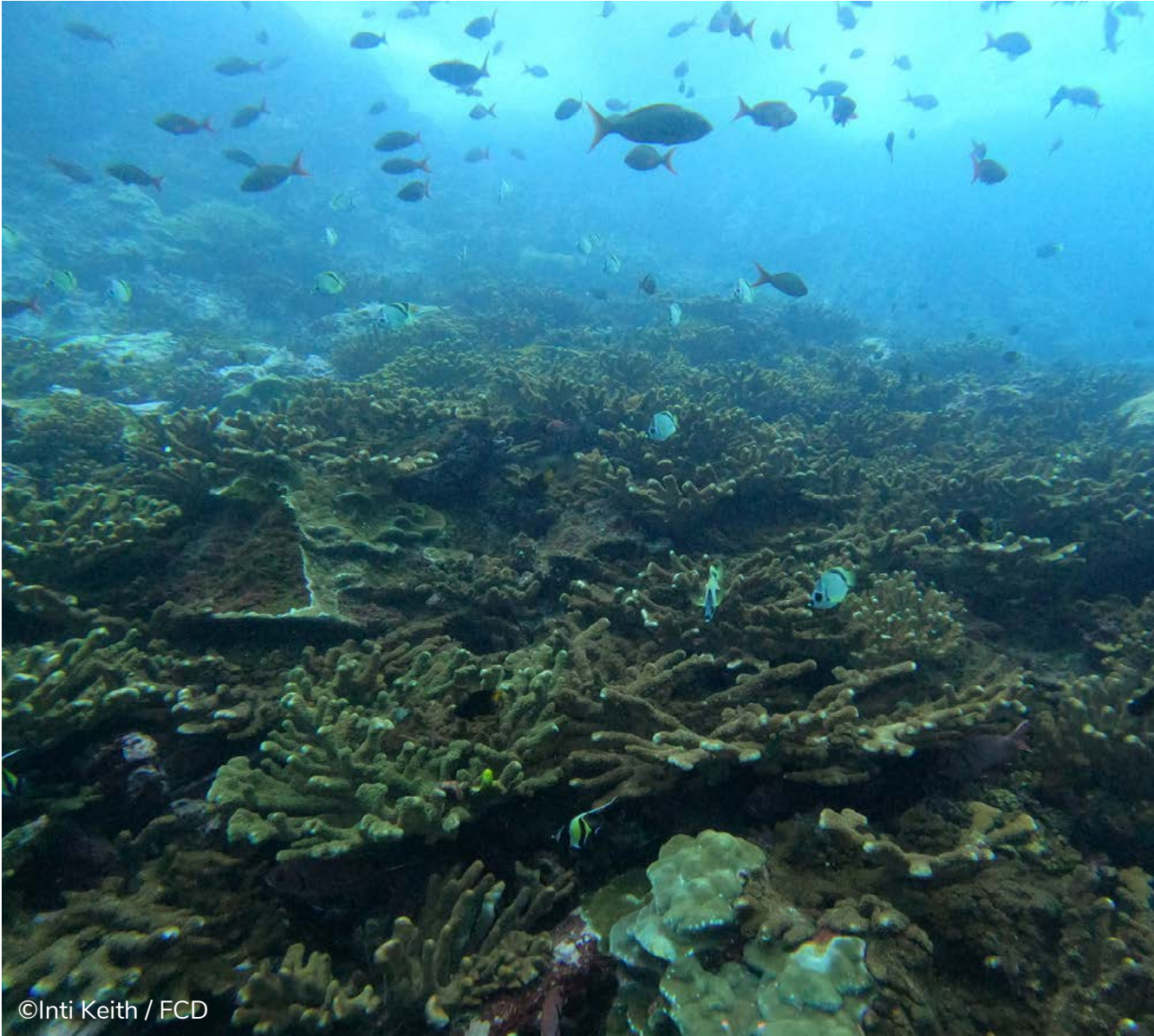
involucrarlos en la ejecución de ciertos componentes del PCMCG: (a) Sector educativo: Acuerdo de Galápagos para la Educación, currículo contextualizado de Galápagos; (b) Sector de guías, a través de asociaciones de guías; (c) Sector de embarcaciones, a través de la representación de sus sindicatos; (d) Sector de buceo y esnórquel: agencias y operadores; (e) Sector pesquero.

- En general, se debe aumentar la difusión de la información hacia un público más amplio que pueda estar interesado en los temas de corales y conservación, tanto a nivel local como internacional. Las noticias sobre los descubrimientos de corales y de fuentes hidrotermales generaron un gran entusiasmo entre las poblaciones locales, nacionales e internacionales.

Brechas de conocimiento y prioridades

En esta primera instancia, se enfatiza que existen numerosas lagunas de conocimiento sobre los corales de Galápagos, muchas de las cuales se comparten entre los tres componentes de trabajo identificados y son esenciales para construir modelos predictivos de las poblaciones de coral, así como para preparar proyectos de restauración, gestión y prevención de amenazas. Los productos relacionados con estas brechas de conocimiento se abordan en el componente A, con dos actividades y una estrategia. A continuación, se presenta un resumen de las principales brechas de conocimiento:

- Biología básica de los corales de Galápagos.
- Distribución espacial de las especies de coral, diversidad genética, tolerancias ambientales, capacidad de adaptación al cambio climático y poblaciones remanentes.
- Mediciones de las condiciones ambientales: físicas, químicas y oceanográficas.
- Estudios sobre reproducción sexual (desove, reclutamiento, dinámica de metapoblaciones, dispersión larvaria, corrientes, dinámica fuente–sumidero) y caracterización de las etapas del ciclo de vida (desde el desove hasta el reclutamiento).
- Mediciones de la prevalencia de enfermedades y decoloración.

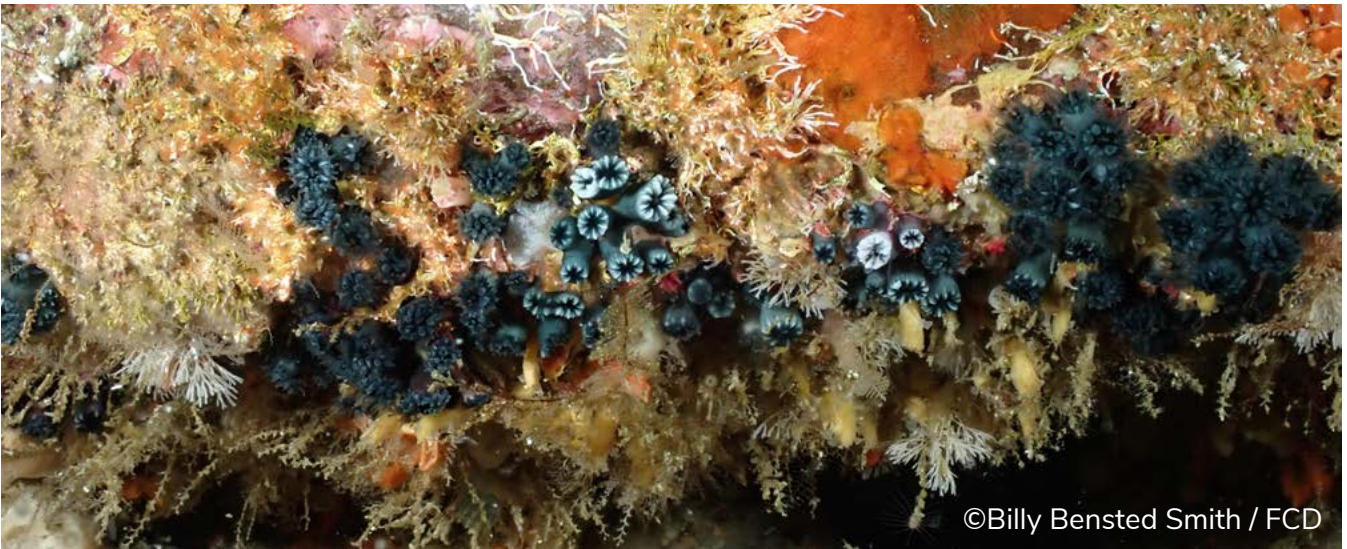


©Inti Keith / FCD

Tabla 1: Plan de manejo y conservación de los corales de Galápagos: Componentes, estrategias y actividades

Componente 1: MONITOREO Y MITIGACIÓN DIRECTA DE LAS AMENAZAS DIRECTAS					
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	DPNG y co-líderes
Actividad 1. Creación de la Geodatabase y el atlas de corales de Galápagos	Generación de una línea base de la información disponible con la organización.				FCD
Actividad 2. Estandarización de las metodologías de encuesta	Definición de protocolos y metodologías de investigación e indicadores				FCD, USFQ
Estrategia 1. Abordaje de las brechas de conocimiento relevantes.	Viajes exploratorios a áreas sin información, pruebas de metodologías, identificación de posibles sitios críticos (clave, vulnerables, de alto riesgo, prioritarios).				FCD, USFQ
		Condiciones fisicoquímicas (T, pH y aragonito, nutrientes, corrientes, salinidad, afloramiento, batimetría). Salidas de campo x 3 años			FCD
		Estudios sobre el estado y las amenazas de los corales. Salidas de campo x 3 años			USFQ, BIU
Estrategia 2. Establecimiento de una ecología continua	Base de referencia actualizada de las condiciones de las comunidades de coral				FCD, USFQ, BIU, STRI
	Fichas que documentan los impactos de las especies invasoras en el monitoreo de las comunidades coralinas				FCD, USFQ
		Monitorización y análisis de datos			FCD, USFQ
Estrategia 3. Ciencia comunitaria.	Plataforma donde los guías, turistas y otros miembros de la comunidad pueden aportar información (es necesario definir quién la recibe, filtra y analiza).	Campaña mediática enfocada en sensibilización y difusión del progreso.	Campaña mediática enfocada en los resultados obtenidos.		USFQ, FCD

Componente 2: RESILIENCIA, RESISTENCIA, GENÉTICA Y MODELADO					
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	DPNG & co-líderes
Estrategia 4. Comprensión de la biología básica de los corales de Galápagos	Monitoreo y caracterización de las enfermedades de los corales				USFQ, UM, FCD
		Caracterización de los mecanismos de resiliencia: (i) genética y epigenética; (ii) aclimatación, ecológica y fisiológica; iii) comunidades simbios			BIU, UM, STRI, CSUMB, USFQ, FCD
			Determinación del potencial de hibridación y de la viabilidad de los híbridos.		UM
Estrategia 5. Mapeo del estado y la vulnerabilidad de las poblaciones para predecir futuras regiones de alto y bajo riesgo para los corales.	Determinación de la distribución geográfica de la diversidad genotípica del hospedador y del simbiote.				CSUMB, USFQ
			Integración de esta información y realización de análisis espaciales.		BIU, CSUMB, USFQ
			Cuantificación de la dinámica de los parches de coral		STRI, USFQ
	Variación espacial en la diversidad de corales y la complejidad de los arrecifes en Galápagos mediante fotogrametría				FCD



Estrategia 6. Desarrollo de modelos de población para anticipar las posibles respuestas a los cambios ambientales y climáticos en curso, así como a las intervenciones activas.	Mediciones de las tasas vitales pertinentes (crecimiento, mortalidad, reclutamiento, modo reproductivo, momento del desove, fecundidad)			STRI, CSUMB, FCD, USFQ
		Cuantificación de la variación de las tasas vitales intraespecíficas, incluyendo las compensaciones (por ejemplo, si el aumento de la tolerancia térmica significa una reducción en el crecimiento)		CSUMB, USFQ
		Cuantificación de la conectividad genética y la dinámica poblacional.		USFQ
			Estimación de la dispersión larvaria mediante modelos oceanográficos.	USFQ, FCD
			Evaluación de la eficacia de las intervenciones humanas (flujo génico asistido, viveros).	BIU, CSUMB, USFQ
			Mediciones de la dependencia de las tasas vitales con respecto a las condiciones ambientales.	USFQ
			Integración de toda la información para construir modelos.	STRI



Componente 3: RESTAURACIÓN Y OTRAS INTERVENCIONES DE GESTIÓN						
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	DPNG & co-líderes
Estrategia 7. Restauración de corales	Monitoreo de proyectos piloto de restauración					BIU, CSUMB, USFQ, GRR, FCD
	Definición de criterios que permitirán priorizar los sitios de restauración					BIU, USFQ
	Establecimiento de materiales y metodologías probados para la restauración en la RMG.					BIU, USFQ
		Estandarización de los parámetros necesarios para el monitoreo de las áreas de restauración.				BIU, CSUMB, USFQ, FCD
		Establecimiento de métodos de monitoreo y evaluación del éxito.				BIU, USFQ, FCD
		Desarrollo e implementación de la estrategia de restauración de los arrecifes de coral en la Reserva Marina de Galápagos (RMG) por parte de la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG)				USFQ, GRR, FCD
			Monitoreo a largo plazo de las áreas de coral restauradas			USFQ, GRR, FCD
				Exploración de las técnicas de recolección de gametos y otras metodologías para promover la reproducción sexual.		BIU, USFQ, GRR
				Escalamiento por medio de la aplicación de técnicas de restauración en sitios priorizados.		BIU, USFQ, GRR
Estrategia 8. Gestión de especies invasoras para acelerar la recuperación de las áreas coralinas.	Monitoreo de los impactos de las especies invasoras en las comunidades coralinas.	Determinación de las medidas para reducir el estrés generado por las especies invasoras en las comunidades coralinas.			Escalamiento de las metodologías de mitigación.	FCD
Estrategia9. Otros efectos antropogénicos.	Se identificaron y cartografiaron los impactos antropogénicos en relación con los hábitats y comunidades de corales.	Comunicación, sensibilización y participación de las partes interesadas.	Marco legal para una mayor protección y regulación de las actividades perjudiciales.			BIU, FCD

PRESUPUESTO

Aprobado y/o Próximos proyectos

- **El Fondo Verde para el Clima (DPNG, WWF FCD, USFQ) está aprobado con un proyecto de 5 años.** La organización ejecutora es WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza). Incluye un componente de restauración de los corales de Galápagos dirigido por Jenifer Suarez y la DPNG; un componente de bioseguridad regional relacionado con las especies marinas invasoras dirigido por la Dra. Inti Keith (FCD) con modelos hidrodinámicos oceanográficos; y un componente sobre la identificación y reducción de los impactos antropogénicos para mejorar la resiliencia ante los efectos del cambio climático dirigido por Nicolas Moity (FCD) y la DPNG. El cronograma de desembolsos está pendiente en 2026.
- **Galapagos Life Fund**, próximas oportunidades para proyectos excedentes relacionados con el control, monitoreo y vigilancia de ambas reservas marinas.
- **Blue Planet Fund, pequeñas subvenciones (US\$ 200 - 300.000) hasta (US\$ 3 millones).**
- **KFW: administrado por FEIG, coejecutor Jocotoco.** 3 años para empezar. La actualización del estado de los corales se centró en las especies que los afectan. Basado en el establecimiento de medidas de manejo.
- **Re:Wild**, Restauración de corales en Galápagos. Fondo gestionado por la Fundación Jocotoco, con 8 meses de financiamiento, concluido en junio de 2023. Las etapas futuras aún están pendientes.
- **Programa DeepOcean FCD-DPNG. Línea base mesofótica y oceánica profunda, incluyendo las asociaciones de corales de aguas frías durante un programa inicial de 5 años (2023-2028)** (US\$ 7 millones en total) entre los socios de investigación del PTO (FCD, STRI, INVEMAR, Universidad de Costa Rica/FAICO).



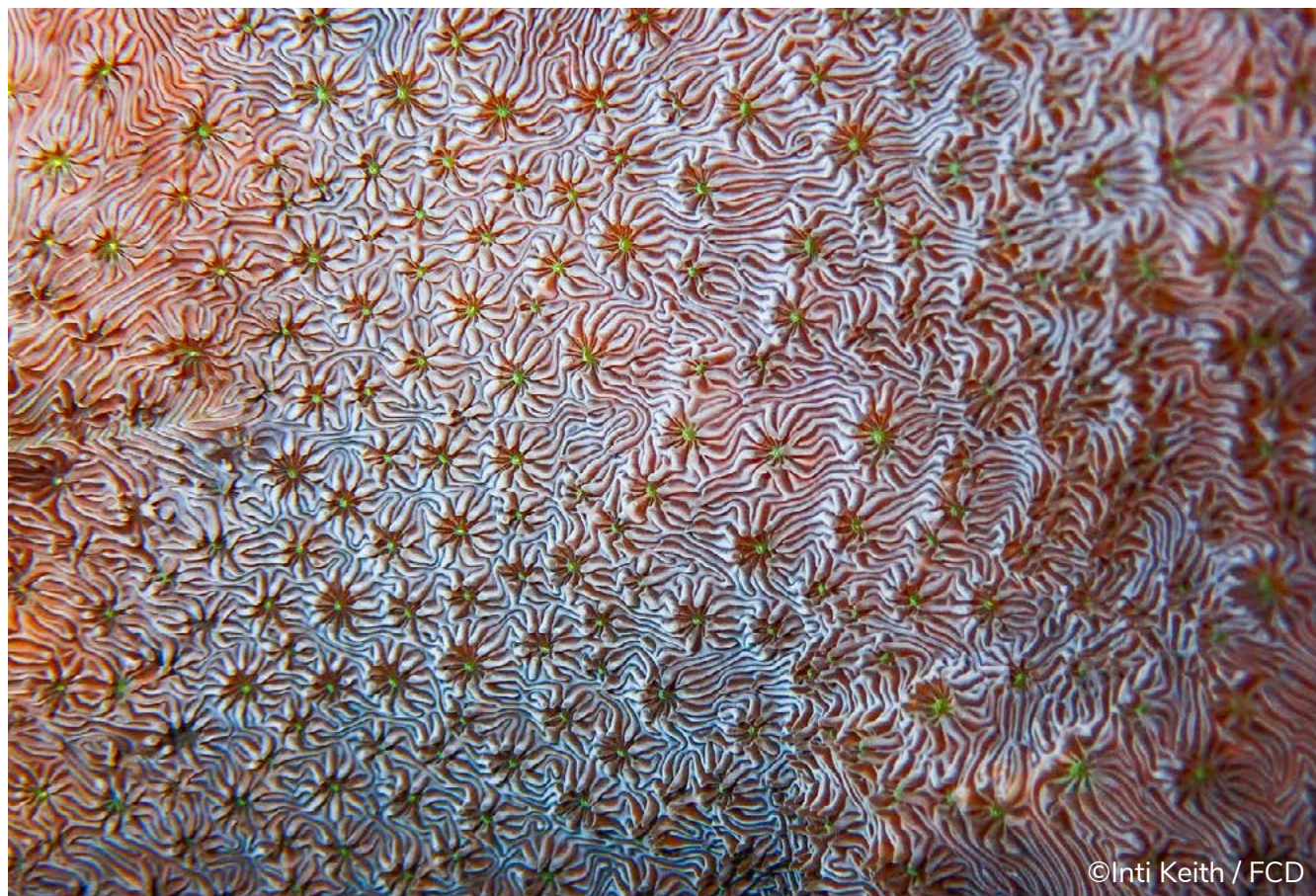
©Inti Keith / FCD

CONCLUSIONES

El PCMCG es el resultado de un esfuerzo colectivo y colaborativo en el que participan varios actores de la comunidad científica, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, así como expertos locales e internacionales. Este documento representa un hito importante en nuestros esfuerzos por proteger, preservar y recuperar las especies clave de los ecosistemas marinos de Galápagos, con la intención compartida de que las iniciativas actuales y futuras de investigación y conservación apoyen la puesta a prueba y el perfeccionamiento de los métodos de conservación de los corales para aplicaciones geográficas más amplias. La complejidad de este grupo de invertebrados—debido a su diversidad genética, los hábitats que ocupan, su capacidad de adaptación, los signos de resiliencia, la vulnerabilidad a múltiples impactos antropogénicos y su potencial de restauración— hace que este trabajo sea una fuente de inspiración y pone de relieve la interdisciplinariedad y la colaboración necesarias para alcanzar los objetivos establecidos.

Agradecemos sinceramente a todos los participantes que aportaron su experiencia, conocimiento y dedicación durante el desarrollo del PCMCG. Su compromiso y colaboración fueron esenciales para su elaboración y serán cruciales para su implementación exitosa en los próximos años.

Nos comprometemos a trabajar juntos para garantizar que las estrategias y actividades propuestas se lleven a cabo de manera efectiva, con el objetivo de fomentar la recuperación y la persistencia de los corales de Galápagos en el futuro. Con el apoyo continuo de nuestras instituciones y aliados, estamos seguros de que podremos alcanzar el objetivo general de este plan, en línea con la visión de que los corales mantengan su capacidad de generar servicios ecosistémicos en Galápagos.



©Inti Keith / FCD

BIBLIOGRAPHY

- Asch, R. G., Cheung, W. W. L., & Reygondeau, G. (2018). Future marine ecosystem drivers, biodiversity, and fisheries maximum catch potential in Pacific Island countries and territories under climate change [Factores que influirán en el futuro en los ecosistemas marinos, la biodiversidad y el potencial máximo de captura pesquera en los países y territorios insulares del Pacífico en el contexto del cambio climático]. *Marine Policy*, 88, 285-294. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.08.015>
- Bensted-Smith, R., Allnut, T., Branch, G. M., Bustamante, R. H., Causton, C., Dinerstein, E., Powell, G., Snell, H., Tye, A., Wellington, G. M., & Witman, J. D. (2002). Summary of the vision for conservation of Galapagos biodiversity and the issues central to its achievement [Resumen de la visión para la conservación de la biodiversidad de Galápagos y de los temas centrales para su logro]. A biodiversity vision for the Galapagos Islands (pp. 107-115). Fundación Charles Darwin; World Wildlife Fund.
- Beltram, F. L., Lamb, R. W., Smith, F., & Witman, J. D. (2019). Rapid proliferation and impacts of cyanobacterial mats on Galapagos rocky reefs during the 2014-2017 El Niño Southern Oscillation [Proliferación rápida e impactos de tapetes de cianobacterias en arrecifes rocosos de Galápagos durante el evento de El Niño-Oscilación del Sur de 2014-2017]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 514-515, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2019.03.007>
- Fundación Charles Darwin. (2024). Marine Biodiversity Dataset [Conjunto de datos de biodiversidad marina] (N. Tirado-Sanchez, I. Keith, R. Calderon-Barrera, E. Marayata, J. Suarez, & D. Ruiz, Eds.).
- Doney, S. C., Ruckelshaus, M., Emmett Duffy, J., Barry, J. P., Chan, F., English, C. A., Galindo, H. M., Grebmeier, J. M., Hollowed, A. B., Knowlton, N., Polovina, J., Rabalais, N. N., Sydeman, W. J., & Talley, L. D. (2011). Climate change impacts on marine ecosystems [Impactos del cambio climático en los ecosistemas marinos]. *Annual Review of Marine Science*, 4, 11-37. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611>
- Edgar, G. J., Banks, S. A., Brandt, M., Bustamante, R. H., Chiriboga, A., Earle, S. A., Garske, L. E., Glynn, P. W., Grove, J. S., Henderson, S., Hickman, C. P., Miller, K. A., Rivera, F., & Wellington, G. M. (2010). El Niño, grazers and fisheries interact to greatly elevate extinction risk for Galapagos marine species [El Niño, los herbívoros y las pesquerías interactúan para incrementar considerablemente el riesgo de extinción de las especies marinas de Galápagos]. *Global Change Biology*, 16(10), 2876-2890. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02117.x>
- Edgar, G. J., Banks, S., Fariña, J. M., Calvopiña, M., & Martínez, C. (2004). Regional biogeography of shallow reef fish and macro-invertebrate communities in the Galapagos archipelago [Biogeografía regional de los peces de arrecifes someros y de las comunidades de macroinvertebrados en el archipiélago de Galápagos]. *Journal of Biogeography*, 31(7), 1107-1124. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01055.x>
- Feingold, J. S. (2001). Responses of three coral communities to the 1997-98 El Niño-Southern Oscillation: Galapagos Islands, Ecuador [Respuestas de tres comunidades de corales al evento de El Niño-Oscilación del Sur de 1997-1998: Islas Galápagos, Ecuador]. *Bulletin of Marine Science*, 69(1), 61-77. https://nsuworks.nova.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1721&context=occ_facarticles
- Feingold, J. S., Riegl, B., Hendrickson, K., Toth, L. T., Cheng, H., Edwards, R. L., & Aronson, R. B. (2020). 7700-year persistence of an isolated, free-living coral assemblage in the Galapagos Islands: A model for coral refugia? [Persistencia de 7700 años de un ensamblaje de corales libres e aislado en las islas Galápagos: ¿un modelo de refugio coralino?]. *Coral Reefs*, 39(3), 639-647. <https://doi.org/10.1007/s00338-020-01935-5>
- Glynn, P. W. (1988). El Niño—Southern Oscillation 1982-1983: Nearshore population, community, and ecosystem responses [El Niño-Oscilación del Sur de 1982-1983: Respuestas de poblaciones, comunidades y ecosistemas costeros]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 19, 309-346. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.19.110188.001521>
- Glynn, P. W., & D'Croz, L. (1990). Experimental evidence for high temperature stress as the cause of El Niño-coincident coral mortality [Evidencia experimental de que el estrés por altas temperaturas es la causa de la mortalidad de corales coincidente con El Niño]. *Coral Reefs*, 8(4), 181-191. <https://doi.org/10.1007/BF00265009>
- Glynn, P. W. (1990). Coral mortality and disturbances to coral reefs in the tropical eastern Pacific [Mortalidad de corales y perturbaciones en los arrecifes coralinos del Pacífico oriental tropical]. *Elsevier Oceanography Series*, 52, 55-126. [https://doi.org/10.1016/S0422-9894\(08\)70033-3](https://doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70033-3)
- Glynn, P. W. (1994). State of coral reefs in the Galapagos Islands: Natural vs anthropogenic impacts [Estado de los arrecifes de coral en las islas Galápagos: Impactos naturales vs antropogénicos]. *Marine Pollution Bulletin*, 29(1-3), 131-140. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(94\)90437-5](https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)90437-5)
- Glynn, P. W. (2000). Effects of the 1997-98 El Niño-Southern Oscillation on Eastern Pacific corals and coral reefs: An overview [Efectos del evento de El Niño-Oscilación del Sur de 1997-1998 en los corales y arrecifes coralinos del Pacífico oriental: Una síntesis]. En M. K. Moosa, S. Soemodihardjo, A. Soegiarto, K. Romimohtarto, A. Nontji, & S. Suharsono (Eds.), *Proceedings of the 9th International Coral Reef Symposium* (Vol. 2, pp. 1169-1174).

- Glynn, P. W., Alvarado, J. J., Banks, S., Cortés, J., Feingold, J. S., Jiménez, C., Maragos, J. E., Martínez, P., Maté, J. L., Moanga, D. A., Navarrete, S., Reyes-Bonilla, H., Riegl, B., Rivera, F., Vargas-Ángel, B., Wieters, E. A., & Zapata, F. A. (2017). Eastern Pacific coral reef provinces, coral community structure and composition: An overview [Provincias de arrecifes de coral del Pacífico oriental, estructura y composición de las comunidades coralinas: Una síntesis]. En P. W. Glynn, D. P. Manzello, & I. C. Enochs (Eds.), *Coral reefs of the eastern tropical Pacific* (pp. 107-176). Springer.
- Glynn, P. W., Feingold, J. S., Baker, A., Banks, S., Baums, I. B., Cole, J., Colgan, M. W., Fong, P., Glynn, P. J., Keith, I., Manzello, D., Riegl, B., Ruttenberg, B. I., Smith, T. B., & Vera-Zambrano, M. (2018). State of corals and coral reefs of the Galapagos Islands (Ecuador): Past, present and future [Estado de los corales y de los arrecifes de coral de las islas Galápagos (Ecuador): Pasado, presente y futuro]. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 717-733. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.002>
- Glynn, P. W., Maté, J. L., Baker, A. C., & Calderon, M. O. (2001). Coral bleaching and mortality in Panama and Ecuador during the 1997-1998 El Niño-Southern Oscillation event: Spatial/temporal patterns and comparisons with the 1982-1983 event [Blanqueamiento y mortalidad de corales en Panamá y Ecuador durante el evento de El Niño-Oscilación del Sur de 1997-1998: Patrones espaciales y temporales y comparaciones con el evento de 1982-1983]. *Bulletin of Marine Science*, 69(1), 79-109. https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/11920/stri_Glynn_Mate_Baker_Calderon.pdf
- Glynn, P. W., Riegl, B., Purkis, S., Kerr, J. M., & Smith, T. B. (2015). Coral reef recovery in the Galapagos Islands: The northernmost islands (Darwin and Wenman) [Recuperación de los arrecifes coralinos en las islas Galápagos: Las islas más septentrionales (Darwin y Wenman)]. *Coral Reefs*, 34(2), 421-436. <https://doi.org/10.1007/s00338-015-1280-4>
- Keith, I., Bensted-Smith, W., Banks, S., Suárez, J., & Riegl, B. (2022). *Caulerpa chemnitzia* in Darwin threatening Galapagos coral reefs. *PLoS ONE*, 17(8), e0272581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272581>
- Jimenez, G., Cole, J. E., Thompson, D. M., & Tudhope, A. W. (2018). Northern Galapagos corals reveal twentieth century warming in the eastern tropical Pacific [Los corales del norte de Galápagos revelan el calentamiento del siglo XX en el Pacífico tropical oriental]. *Geophysical Research Letters*, 45(5), 2017GL075323. <https://doi.org/10.1002/2017GL075323>
- Manzello, D. P., Enochs, I. C., Bruckner, A., Renaud, P. G., Kolodziej, G., Budd, D. A., Carlton, R., & Glynn, P. W. (2014). Galapagos coral reef persistence after ENSO warming across an acidification gradient [Persistencia de los arrecifes de coral de Galápagos después del calentamiento asociado al ENOS a lo largo de un gradiente de acidificación]. *Geophysical Research Letters*, 41, 2014GL062501. <https://doi.org/10.1002/2014GL062501>
- Moity, N., Izurieta, J. C., Araujo, E., & Casafont, M. (2019). DiveStat: A new tool for managing dive tourism [DiveStat: Una nueva herramienta para gestionar el turismo de buceo]. En *Galapagos Report*

- 2017-2018 (pp. 72-77). Galapagos Conservancy. <https://reports.galapagos.org/english/2019/6/29/divestat-a-new-tool-for-managing-dive-tourism>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2022). NOAA Coral Reef Watch: Homepage and near real-time products portal [NOAA Coral Reef Watch: Página principal y portal de productos en tiempo casi real]. NOAA. <https://coralreefwatch.noaa.gov/index.php> (Consultado el 22 de abril de 2022)
- Rhoades, O. K., Brandt, M., & Witman, J. D. (2023). La Niña-related coral death triggers biodiversity loss of associated communities in the Galapagos [La mortalidad de corales relacionada con La Niña desencadena la pérdida de biodiversidad de las comunidades asociadas en Galápagos]. *Marine Ecology*, 44, e12767. <https://doi.org/10.1111/maec.12767>
- Riegl, B., Glynn, P. W., Banks, S., Keith, I., Rivera, F., Vera-Zambrano, M., D'Angelo, C., & Wiedenmann, J. (2019). Heat attenuation and nutrient delivery by localized upwelling avoided coral bleaching mortality in northern Galapagos during 2015/2016 ENSO [La atenuación del calor y el aporte de nutrientes por el afloramiento localizado evitaron la mortalidad por blanqueamiento de corales en el norte de Galápagos durante el ENOS de 2015/2016]. *Coral Reefs*, 38(4), 773-785. <https://doi.org/10.1007/s00338-019-01787-8>
- Robinson, G. (1985). Influence of the 1982-83 El Niño on Galapagos marine life [Influencia del evento de El Niño de 1982-1983 en la vida marina de Galápagos]. En *El Niño en las Islas Galápagos: El evento de 1982-1983* (pp. 153-190).
- Tsonis, A. A., Hunt, A. G., & Elsner, J. B. (2003). On the relation between ENSO and global climate change [Sobre la relación entre el ENOS y el cambio climático global]. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 84(3-4), 229-242. <https://doi.org/10.1007/s00703-003-0001-7>
- Vinueza, L. R., Branch, G. M., Branch, M. L., & Bustamante, R. H. (2006). Top-down herbivory and bottom-up El Niño effects on Galapagos rocky-shore communities [Efectos de la herbivoría descendente y de El Niño ascendente sobre las comunidades de las costas rocosas de Galápagos]. *Ecological Monographs*, 76(1), 111-131. <https://doi.org/10.1890/04-1957>
- Wellington, G. M. (1975). The Galapagos coastal marine environments: A resource report to the Department of National Parks and Wildlife [Los entornos marinos costeros de Galápagos: Informe de recursos para el Departamento de Parques Nacionales y Vida Silvestre]. Departamento de Parques Nacionales y Vida Silvestre.
- Witman, J. D., & Smith, F. (2003). Rapid community change at a tropical upwelling site in the Galapagos Marine Reserve [Cambio rápido de la comunidad en un sitio de afloramiento tropical en la Reserva Marina de Galápagos]. *Biodiversity and Conservation*, 12, 25-45.
- Witman, J. D., Brandt, M., & Smith, F. (2010). Coupling between subtidal prey and consumers along a mesoscale upwelling gradient in the Galapagos Islands [Acoplamiento entre presas submareales y consumidores a lo largo de un gradiente de afloramiento mesoescalar en las Islas Galápagos]. *Ecological Monographs*, 80, 153-177.

GLOSARIO

Fuente: «Los arrecifes de Coral. Manual para Estudiantes» 2016. <https://issuu.com/seagrantpr/docs/manual-para-estudiantes-arrecifes-de-coral/41>

Acidificación de los océanos: Disminución del pH en los océanos debido a la absorción de CO₂ atmosférico. El aumento en el CO₂ atmosférico ocasiona aumentos en el CO₂ de los océanos creando desbalances entre las diferentes formas del carbono inorgánico disuelto en el agua de mar. La disminución en el pH causa que organismos que poseen exoesqueleto de carbonato de calcio, como por ejemplo los corales, crustáceos y algas coralinas, disminuyan sus tasas de calcificación.

Aclimatación: Proceso fisiológico de acostumbrarse a una nueva condición ambiental.

Agregaciones reproductivas: Eventos donde peces adultos migran a un área específica para reunirse por un corto periodo de tiempo con el propósito de reproducirse.

Agregaciones reproductivas: Eventos donde peces adultos migran a un área específica para reunirse por un corto periodo de tiempo con el propósito de reproducirse.

Antropogénico: Que resulta de las actividades humanas.

Arrecife de barrera: Tipo de arrecife de coral que bordea la costa y está separado de ésta por una extensión de aguas generalmente profundas conocida como una laguna arrecifal. Se extiende paralelamente y a gran distancia de la costa.

Arrecife de borde: Uno de los tipos de arrecife de coral que se distingue por tener una plataforma sumergida llana, a veces formando una laguna, que crece directamente desde la orilla hasta el mar. Es el tipo de arrecife de coral más común en el Caribe.

Arrecife de parche: Tipo de arrecife de coral que crece en pequeñas agregaciones y aislados de la costa.

Atolón: Arrecifes de coral de forma circular u ovalada, rodeando una laguna, que crecen alrededor de volcanes sumergidos, que anteriormente eran islas. La mayoría de estos arrecifes se encuentran en el océano Pacífico y en el océano Índico.

Blanqueamiento: Evento que ocurre en el arrecife, inducido por estrés, donde el coral expulsa sus zooxantelas y pierde su color distintivo, quedando transparente y exponiendo el color blanco de su esqueleto que se compone de carbonato de calcio.

Brote: Es una protuberancia que se forma en un organismo progenitor. Luego, ese brote se separa y crece hasta formar un nuevo individuo (este proceso ocurre durante la gemación).

Calentamiento global: Aumento prolongado en la temperatura promedio de la atmósfera terrestre y de

los océanos, que ocurre por el incremento de gases de invernadero, lo que ocasiona que el calor que entra a la Tierra se quede atrapado causando el aumento de la temperatura del planeta.

Capacidad adaptativa: La capacidad de los holobiontes de coral para responder y adaptarse al estrés ambiental, mediante procesos que incluyen la adaptación genética, los cambios en las comunidades de simbiosis y la aclimatación fisiológica.

Cavidad gastrovascular: Área principal del coral responsable de la digestión de comida y el transporte de nutrientes a través del cuerpo de organismos como los cnidarios.

Cnidarios: Filo de organismos exclusivamente acuáticos los cuales poseen simetría radial, dos capas de tejidos y una boca rodeada de tentáculos con células urticantes (que pican) conocidas como cnidocitos. Las anémonas, las aguavivas y los corales pertenecen a este filo.

Cnidocitos: Células especializadas, únicas en los cnidarios, que contienen un aparato urticante conocido como nematocisto. Se utiliza como defensa y para capturar la presa. Estas células son abundantes en los tentáculos y en la boca.

Colonia de coral: Una colonia es un conjunto de pólipos idénticos entre sí que permanecen unidos unos con otros. Durante el desarrollo y crecimiento de la colonia de corales duros se secreta carbonato de calcio para formar un esqueleto externo.

Corales córneos: Tipo de coral cuyo esqueleto está endurecido por un material flexible (gorgonia) y espículas calcáreas. También conocidos como gorgonias.

Corales hermatípicos: Corales que poseen relaciones simbióticas con zooxantelas, producen exoesqueletos de carbonato de calcio y tienen la capacidad de formar arrecifes.

Corales mesofóticos: Son corales hermatípicos que se encuentran a una profundidad de 100 metros (300 pies) o más.

Corales pétreos: Tipo de coral cuyo esqueleto está endurecido por carbonato de calcio.

Córneo: Tejido duro y fibroso que forma estructuras duras tales como los cuernos de algunos animales, las pezuñas, el pelo y las uñas. Su principal componente es la quitina.

Cresta del arrecife: Borde superior del arrecife de coral, de poca profundidad. Recibe el embate directo del oleaje.

Desove de coral: Es un fenómeno natural que ocurre solo de noche, involucra colonias y especies de corales que liberan simultáneamente sus gametos masculinos y femeninos a la columna de agua.

Diversidad genética: Cantidad de variación genética presente en una población o comunidad. A mayor diversidad genética, las especies tienen mayor probabilidad de adaptarse a cambios medioambientales.

Erosión: Desplazamiento de terreno debido a la acción de elementos tales como el viento, el oleaje, la lluvia y/o la acción humana.

Escleractinios: Grupo de organismos coloniales que se caracterizan por la secreción de un esqueleto calcáreo externo, responsables de la formación de los arrecifes de coral. La mayoría habitan en arrecifes tropicales y alojan zooxantelas.

Escorrentías: Agua de lluvia que fluye sobre superficies terrestres inclinadas y llega a los ambientes acuáticos. Estas aguas traen consigo sedimentos y pueden contener desechos agrícolas (ej. nutrientes, pesticidas) los cuales son perjudiciales para los organismos acuáticos. Las escorrentías son mayores si estas pasan por superficies impermeables como aceras, calles y techos ya que se previene la infiltración natural que ocurre, por ejemplo, en el suelo.

Especies de interés pesquero: Son aquellas especies perseguidas para la pesca.

Espículas: Son estructuras que tienen forma de aguja o similar y forman parte del esqueleto de los corales flexibles o córneos y de los poríferos (esponjas).

Exoesqueleto: Esqueleto externo que sirve de apoyo y protección en algunos animales.

Extinción de especies: Es la desaparición de todos los miembros de una especie.

Faringe: Estructura en forma de tubo que se extiende desde la boca hasta más allá de la mitad de la cavidad gastrovascular. La función de la faringe es hacer más eficaz la circulación del agua por esta cavidad.

Fecundación: Es el proceso mediante el cual se une una célula reproductiva masculina (esperma) y una célula reproductiva femenina (huevo) para formar un nuevo ser.

Fotosíntesis: Es un proceso que utiliza la energía del sol, agua, nutrientes, la clorofila de las plantas y el dióxido de carbono para producir alimento y oxígeno.

Fragmentación de corales: Tipo de reproducción asexual donde pedazos de una colonia de coral se rompen y pueden producir una colonia nueva.

Frontón del arrecife: Zona del arrecife que da hacia el mar abierto. Se extiende desde un nivel cerca de la superficie, hasta llegar a mayores profundidades. Puede tener una inclinación de suave a pronunciada.

Gametos: Son células que participan en la reproducción sexual. Tienen una sola copia de cada cromosoma (son haploides). En muchos animales, las conocemos como óvulo y espermatozoide. Al unirse, forman un organismo con dos copias de cada cromosoma (diploide), al igual que los seres humanos.

Gases de invernadero: Gases presentes en la atmósfera, como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄), que absorben parte de la energía de

la radiación solar y en consecuencia, ocasionan un aumento en la temperatura del planeta.

Gemación: Tipo de reproducción asexual en el que un nuevo pólipo se desarrolla como un brote (protuberancia) a partir de un pólipo progenitor.

Genotipo: Identidad genética de un organismo que incluye los genes específicos heredados del padre y de la madre los cuales, en conjunto con las influencias medioambientales, determinan su apariencia física (fenotipo).

Gorgonina: Proteína compleja que constituye el esqueleto córneo de los gorgonáceos (corales flexibles).

Grandes depredadores: Son animales que cazan a otros animales vivos para su alimentación y subsistencia y que no son cazados por otros animales; están al tope de la cadena alimentaria.

Hábitat: Lugar o espacio que posee todas las condiciones adecuadas para que un organismo viva, se reproduzca y lleve a cabo todas sus funciones.

Hábitats esenciales: Son los ambientes indispensables para la alimentación, el crecimiento y la reproducción de algunas especies.

Herbívoros: Organismos que se alimentan de plantas y algas.

Intercambio genético: Es un proceso que consiste en la combinación de genes durante la reproducción sexual. Esto produce variación genética (diferencias en las características hereditarias) en una población.

Invertebrados: Animales que no poseen ni desarrollan una columna vertebral. Comprenden un 95% de los animales del Reino Animalia. Incluyen los corales, las medusas, las langostas, las almejas, los caracoles, los erizos de mar, etc.

Ión: Átomo o conjunto de átomos que están cargados eléctricamente por la pérdida o ganancia de electrones.

Laguna del arrecife: Cuerpo de agua que se forma entre la orilla y el arrecife. Generalmente, son aguas calmas y puede variar en profundidad.

Lecho marino: Fondo del mar.

Madurez sexual: Es la edad o el momento en el cual un organismo obtiene la capacidad para llevar a cabo la reproducción.

Metamorfosis: Proceso de desarrollo en larvas antes de llegar a su adultez o madurez sexual. Durante el proceso los organismos pasan por cambios estructurales y fisiológicos.

Mutualismo: Tipo de relación en la que dos o más organismos de diferentes especies se benefician entre sí. Por ejemplo, los corales reciben de las zooxantelas azúcares y otros componentes orgánicos, mientras que las zooxantelas reciben dióxido de carbono, nutrientes y protección del pólipo de coral.

Nematocistos: Órgano con hilos tubulares que pueden ser descargados y paralizar con sus venenos a otros animales. Estas estructuras especializadas se

encuentran dentro de los cnidocitos.

Octocorales: También conocidos como corales flexibles o córneos, son un grupo de corales cuyos pólipos tienen ocho tentáculos. A este grupo, pertenecen los abanicos de mar, las plumas de mar y los látigos de mar.

Organismos planctónicos: Son organismos, generalmente microscópicos, que viven flotando en aguas marinas o dulces (no tienen mucha capacidad de movimiento).

Ortiga: Nombre común de las plantas del género *Urtica*, que se caracterizan por tener unos pelos urticantes que liberan una sustancia ácida que produce irritación con picor intenso en la piel cuando se le toca o roza.

Pesca: Es la captura y la extracción de peces y mariscos del medio acuático.

Pesca sustentable: Es un tipo de pesca que extrae de una población un número de individuos adecuado, del tamaño apropiado, que le permite seguir siendo lo suficientemente numerosa para sobrevivir, perpetuarse y seguir siendo explotada por la pesca por muchos años más.

Plánula: Tipo de larva planctónica en los cnidarios.

Pólipo de coral: Uno de los tipos estructurales en los cnidarios, de hábito sésil. El cuerpo del pólipo es tubular o cilíndrico, con una boca y tentáculos en la parte superior, mientras que el extremo opuesto está fijado al sustrato.

Proteína: Sustancia química formada por cadenas estructuradas de aminoácidos (sustancias cuyas moléculas están formadas por un grupo carboxilo y un grupo amino) unidas por enlaces químicos. Contienen carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno. Todas las proteínas de los seres vivos están compuestas por 20 aminoácidos.

Proteína compleja: Son proteínas que además de contener aminoácidos en su estructura molecular, tienen otros elementos, como, por ejemplo: fósforo, azufre o glúcidos.

Quitina: Sustancia que no se puede disolver en agua y que poseen algunos invertebrados en su cuerpo para darle soporte y rigidez.

Relación simbiótica: Se refiere a la asociación cercana y prolongada entre dos o más organismos de diferentes especies, en donde ambos organismos no necesariamente se benefician entre sí. Dentro de la simbiosis se encuentra el mutualismo (dos o más organismos se benefician entre sí), el comensalismo (un organismo se beneficia mientras que el otro ni se perjudica ni se beneficia) y el parasitismo (un organismo se beneficia mientras que el otro se perjudica).

Reproducción asexual: Tipo de reproducción en la cual no intervienen los gametos masculinos y femeninos ya que no requiere ni estructuras ni células especializadas, donde un solo organismo forma uno o más individuos iguales, todos con la misma

información genética. En los corales ocurre de dos formas: gemación y fragmentación.

Reproducción sexual: Tipo de reproducción en la cual intervienen los gametos masculinos y femeninos.

Restauración: Asistencia en la recuperación de un ecosistema o hábitat degradado para restablecer sus valores y servicios.

Sésil: Organismo que está pegado sobre sustratos u otras superficies y que no se puede mover de un lugar a otro.

Sobrepesca: Es un tipo de pesca excesiva que extrae más organismos de lo debido y reduce el número de individuos de una población tan dramáticamente que la misma no logra reproducirse lo suficiente para sobrevivir.

Tentáculos: Extremidad flexible o apéndice de un animal, localizado alrededor de la boca de los invertebrados, que se utiliza para agarrar alimento, moverse y defenderse.

Veda: Es una prohibición indefinida o temporal de la pesca que se establece con el fin de proteger la reproducción de algunas especies de peces.

Zona eufótica: Región, en los sistemas acuáticos, hasta donde penetran los rayos del sol. La profundidad de esta zona es variable y dependerá de la turbidez del agua.

Zooplankton: Animales planctónicos microscópicos que están a merced de las corrientes y cuyas habilidades natatorias son insuficientes para desplazarse de forma independiente de las corrientes. Una gran cantidad de grupos de animales se encuentran en el zooplankton, ya sean como adultos o en diversas fases de su desarrollo.

Zooxantelas: Algas microscópicas unicelulares que viven dentro del tejido de algunos invertebrados marinos. La mayoría son dinoflagelados pertenecientes al género *Symbiodinium*.



©Inti Keith / FCD

APÉNDICE 1: FODA para procesos de restauración a gran escala

FORTALEZAS - La DPNG lidera el proceso - Participación de los actores clave - Financiamiento existente - Literatura existente - Capacidades instaladas - Ley Especial de Galápagos	OPORTUNIDADES - Nuevo financiamiento - Alto potencial de participación de varios sectores (científico, turístico, pesquero y académico)
DEBILIDADES - Territorio/personal disponible - Apropiación social del conocimiento - Proceso de zonificación en etapa de revisión - Falta de conocimiento de los diferentes actores	AMENAZAS - Presiones antropogénicas - Especies invasoras - Intereses económicos - Cambio climático/impactos locales/naturales

APÉNDICE 2: Ejemplo de un borrador de plan de restauración a mediana y gran escala (a ser desarrollado más a profundidad)

CRONOGRAMA

Fase 1: Monitorear 4 pilotos (programa de monitoreo del mes 0 al 18)

- Monitoreo de línea base (qué hay) de la ubicación específica (en cada piloto): Mes 0 al 6
- Elección de las especies de coral y los métodos (jardinería y restauración): Mes 0 al 6
- Decidir los criterios para priorizar y seleccionar el sitio: Mes 0 al 6
- Fabricación e instalación de viveros y otros componentes de restauración (AR: componentes 3D, tamaño, forma, materiales): Mes 2 al 6
- Monitoreo del desarrollo de biopelículas de sucesión natural (eDNA) durante 3 meses: Mes 6 al 9

- Monitoreo y evaluación de la gestión adaptativa para los 4 proyectos piloto: Mes 6 al 18
- Restauración activa del sitio con fragmentos del vivero: Mes 9 al 10
- Evaluación para identificar las amenazas y los puntos débiles a fin de escalar las proyecciones (basada en el FODA): Mes 17 al 18
- Programa comunitario local y participación de las partes interesadas /estrategia/preparación/educación: Mes 0 al 60

Fase 2 (escalamiento del piloto del mes 18 al 36): ampliar 2 proyectos grandes entre US\$ 2,5 y 3,5 millones

- Decidir los criterios para ampliar el escalamiento: Mes 18 al 42

- Implementación de métodos de escalamiento para alcanzar los objetivos de restauración de fase media.
- Monitoreo y evaluación de la gestión adaptativa para la fase de restauración
- Continuación del monitoreo de los otros 2 pilotos: Mes 18 al 42
- Instalación, después de la fabricación, el escalamiento de las 2 ubicaciones: Mes 22 al 30
- Monitoreo de 2 ubicaciones durante 1 año: Mes 18 al 30
- Participación de la comunidad local en las actividades de restauración y diversificación de la economía local. (restauración, construcción de viveros, jardinería, fabricación mediante impresión 3D, monitoreo y

vigilancia): Mes 22 al 42 meses

Fase 3 (Escalamiento. Mes 36 al 60): Entre 10 y 12 plazas exclusivas, restauración turística entre US\$ 3,5 y 4,5 millones

- Continuación del monitoreo del escalamiento de las 2 ubicaciones: Mes 30 al 60
- Elección de al menos 2 ubicaciones para el escalamiento:
- Fabricación e instalación de una nueva ubicación
- Programa/estrategia de turismo
- Fabricación e instalación de al menos otras 4 ubicaciones
- Servicios de monitoreo y vigilancia y biodiversidad ecológica

	0-3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				

Criterios de selección del sitio

- Resumen histórico
- Comunidades coralinas que están mejorando, Potencial de restauración
- Viabilidad: Lugar fácil de visitar, económico de mantener, monitoreo constante
- Diferentes microclimas y condiciones para sitios de viveros de corales, pero similares a

las de cada área de implementación

- Servicios ecosistémicos
- Representatividad de las biorregiones
- Pertinencia para los objetivos establecidos: exposición de perturbaciones
- Capacidad de resiliencia de los corales
- Perturbaciones térmicas y presentes y futuras
- Capacidad de restauración



Parque Nacional
GALÁPAGOS
Ecuador



Fundación
Charles Darwin
Foundation
GALAPAGOS



FUNDACIÓN
JOCOTOCO
ECUADOR



GSC
GALAPAGOS SCIENCE CENTER
USFQ | UNC-CHAPEL HILL



UNIVERSIDAD
SAN FRANCISCO
DE QUITO



FONDO PARA EL CONTROL
DE LAS ESPECIES INVASORAS
DE GALAPAGOS - FEIG



Galapagos
Conservancy
galapagos.org