

Justificación biológica  
para la creación de la

**MIGRAVÍA**

**COCO-GALÁPAGOS**

**BIOLOGICAL JUSTIFICATION FOR  
THE CREATION OF THE MIGRAVIA  
COCO-GALAPAGOS**



MigraMar © 2018  
PUCE Sede Manabí © 2018

ISBN: 978-9942-35-602-4

Créditos foto de portada: Cristian VzI.

Este estudio fue preparado por MigraMar y la Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Manabí gracias a una donación de la Fundación PACIFICO ([www.redpacifico.net](http://www.redpacifico.net)), con financiamiento del Leona M and Harry B Helmsley Charitable Trust, Waitt Foundation, Shark Conservation Fund y Iris & Michael Smith. La información contenida en este documento fue procesada y analizada con la asistencia de: Estefanía Bravo-Ormaza, Nicole Chinacalle-Martínez, Jean López-Macías, Javier Zevallos-Rosado y Elka García-Rada. Todos los análisis presentados en este informe fueron realizados por la PUCE Sede Manabí para MigraMar y sus colaboradores. Toda información de telemetría satelital y datos comunitarios externa a MigraMar pertenece a las fuentes citadas en el texto.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente representan la opinión de las organizaciones que financiaron la publicación de este trabajo.

Para citar el documento:

Peñaherrera-Palma C., Arauz R., Bessudo S., Bravo-Ormaza E., Chassot O., Chinacalle-Martínez N., Espinoza E., Forsberg K., García-Rada E., Guzmán H., Hoyos M., Hucke R., Ketchum J., Klimley A.P., López-Macías J., Papastamatiou Y., Rubin R., Shillinger G., Soler G., Steiner T., Vallejo F., Zanella I., Zárate P., Zevallos-Rosado J. y A. Hearn. 2018. "Justificación biológica para la creación de la MigraVía Coco-Galápagos". MigraMar y Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.  
Para mayor información sobre este trabajo contactarse con: [crpenaherrera@gmail.com](mailto:crpenaherrera@gmail.com)

Cover photo credit: Cristian VzI.

MigraMar and the Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Manabí prepared this document thanks to a kind donation of PACIFICO Foundation ([www.redpacifico.net](http://www.redpacifico.net)), and the financial support of the Leona M. and Harry B. Helmsley Charitable Trust, Waitt Foundation, Shark Conservation Fund and Iris & Michael Smith. The information here in was analyzed with the help of Estefanía Bravo-Ormaza, Nicole Chinacalle- Martínez, Jean López-Macías, Javier Zevallos- Rosado, and Elka García-Rada. The above-mentioned university carried out all scientific analysis contained in this report on behalf of MigraMar and its collaborators. All satellite telemetry and bathymetry data not property of MigraMar are duly cited in the text.

Views, thoughts, and opinions expressed in the text belong solely to the authors, and not necessarily to the organizations that supported the publication of this document.

To cite this document:

Peñaherrera-Palma C., Arauz R., Bessudo S., Bravo-Ormaza E., Chassot O., Chinacalle-Martínez N., Espinoza E., Forsberg K., García-Rada E., Guzmán H., Hoyos M., Hucke R., Ketchum J., Klimley A.P., López-Macías J., Papastamatiou Y., Rubin R., Shillinger G., Soler G., Steiner T., Vallejo F., Zanella I., Zárate P., Zevallos-Rosado J. y A. Hearn. 2018. "Justificación biológica para la creación de la MigraVía Coco-Galápagos". MigraMar y Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

For more information contact: [crpenaherrera@gmail.com](mailto:crpenaherrera@gmail.com)



[www.migramar.org](http://www.migramar.org)



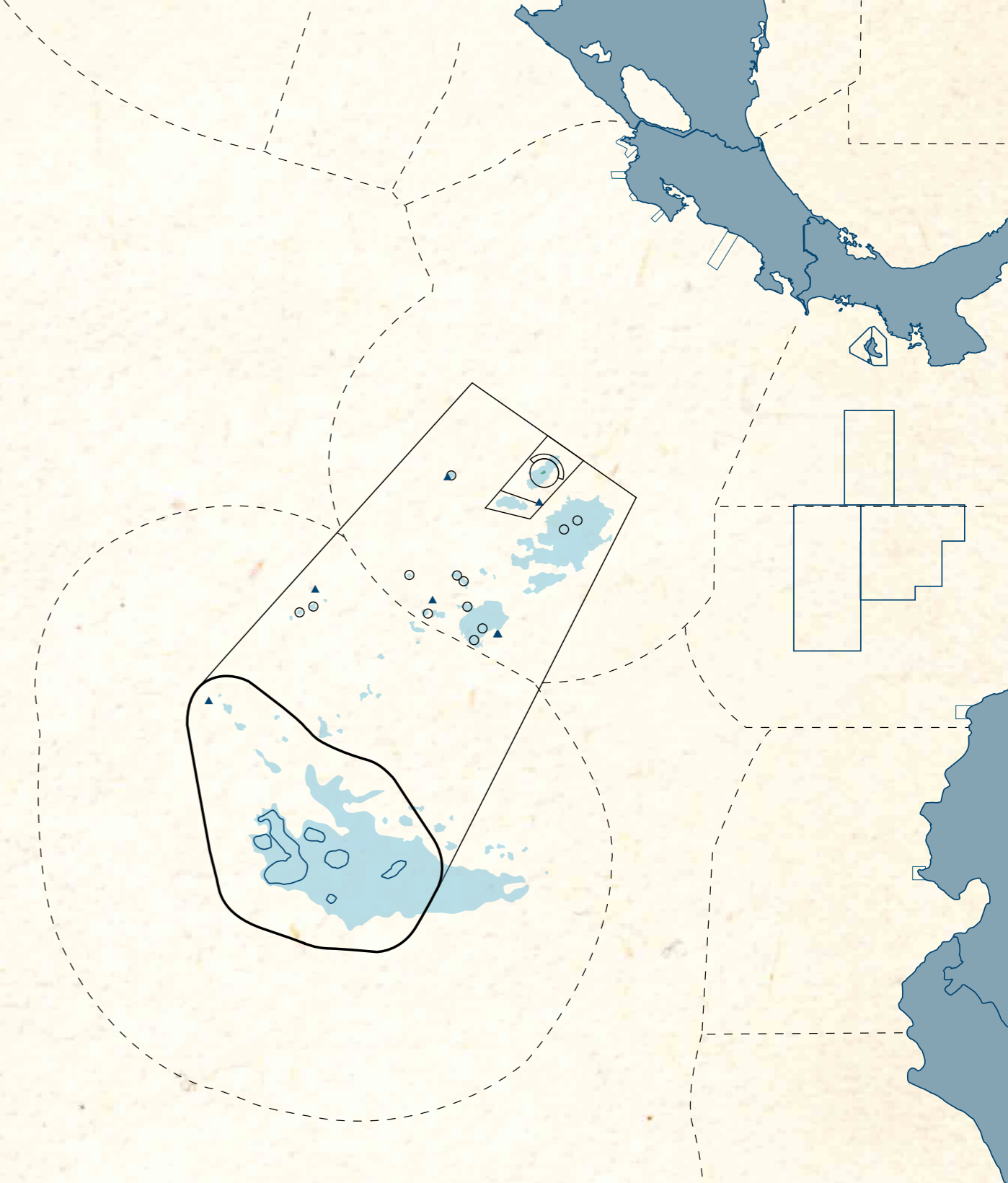
[www.pucem.edu.ec](http://www.pucem.edu.ec)



[www.redpacifico.net](http://www.redpacifico.net)



## Justificación biológica para la creación de la **MIGRAVÍA** COCO-GALÁPAGOS



## Presentación

Con el amanecer del siglo XXI, los científicos Todd Steiner y George Shillinger, actualmente en la junta directiva de MigraMar, fueron los primeros en acuñar el término MigraVías. Lo utilizaron para describir rutas específicas que observaron que las tortugas marinas y tiburones utilizan durante el año en el Corredor Marino del Pacífico Este Tropical (CMAR). Analizando datos de marcas satelitales y acústicas, colocadas en especies altamente migratorias, ellos observaron patrones de movimientos claros. Los trayectos mostraban que esas y otras especies emblemáticas, reconocidas por encontrarse dentro de áreas marinas protegidas (AMPs) oceánicas y costeras como Galápagos, Cocos, Baulas, Malpelo y Coiba, migran durante el año fuera de los límites de esas AMPs, siguiendo rutas específicas que les conectan.

Ahora, con más de veinte años de datos adicionales recopilados por MigraMar y otros reconocidos científicos, la necesidad de proponer un manejo especial de MigraVías se ha convertido en una prioridad en el campo de la conservación marina. En el CMAR esta labor requiere la colaboración activa de los cuatro países de la región. Por ello, PACIFICO, CMAR y MigraMar han unido sus esfuerzos para implementar una hoja de ruta para el manejo especial de dos MigraVías prioritarias en la región: Coco (Costa Rica) – Galápagos (Ecuador) & Coiba (Panamá) – Malpelo (Colombia).

Con apoyo de Helmsley Charitable Trust, el Shark Conservation Fund y la Fundación Waitt, uno de los resultados claves de la colaboración entre MigraMar y PACIFICO es esta publicación de la Justificación Biológica para la creación de la MigraVía Coco – Galápagos. En ella se resumen años de trabajo, expediciones científicas e investigación avanzada, utilizando tecnología de última generación. Por otra parte, con el fin de promover un enfoque basado en ciencia para promover políticas marinas transfronterizas y el manejo de la MigraVía Coco – Galápagos, PACIFICO ha estado apoyando también el desarrollo de análisis socioeconómicos y legales de la zona.

Es nuestro interés que esta publicación brinde información importante para la comunidad científica, tomadores de decisiones y público en general, sobre la necesidad de trabajar juntos en el manejo especial de la MigraVía Coco - Galápagos, para el beneficio de las comunidades locales, la conservación de especies claves y el bienestar socioeconómico de nuestra región.

  
Rosario Alvarez  
Directora Ejecutiva  
MigraMar

  
Zdenka Piskulich  
Presidencia  
PACIFICO

  
Carlos Chacón  
Coordinator  
PACIFICO

## Contenido - Content

Figuras .....	1	Figures .....	1
Resumen ejecutivo .....	3	Executive summary .....	63
<b>Antecedentes</b> .....	7	<b>Background</b> .....	67
Introducción .....	8	Introduction .....	68
MigraVías: una estrategia necesaria para la conservación de especies migratorias en el PTE .....	11	MigraVias: A needed strategy for the conservation of migratory species in the Eastern Tropical Pacific Ocean .....	71
Situación geográfica y política .....	14	Geographical and political context .....	74
<b>Evaluación ambiental</b> .....	17	<b>Environmental assessment</b> .....	77
Aspectos físicos .....	18	Physical characteristics .....	78
Geología y batimetría .....	18	Geology and bathymetry .....	78
Oceanografía y clima .....	20	Oceanography and climate .....	80
Aspectos biológicos y ecológicos .....	28	Biological and ecological characteristics .....	88
Diversidad.....	28	Diversity .....	88
Estructura comunitaria .....	30	Community structure .....	90
Distribución y preferencias ambientales.....	36	Distribution and environmental Preferences .....	96
Tendencias poblacionales .....	44	Population trends .....	104
Funcionamiento de los ecosistemas marinos .....	46	Marine ecosystem function .....	106
<b>Valoración de conservación de la MigraVía Coco - Galápagos</b> .....	49	<b>Conservation value of the Swimway Coco-Galapagos</b> .....	109
Características de la MigraVía Coco - Galápagos .....	50	Characteristics of the Swimway Coco-Galapagos .....	110
Propuesta de área de conservación .....	54	Conservation area proposal .....	114
Consideraciones a futuro .....	57	Future considerations .....	117
Bibliografía .....	120	Bibliography .....	120

## Figuras - Figures

- Figura 1.** Perspectiva general del área comprendida (celeste) por el Océano Pacífico Tropical Este y los archipiélagos e islas oceánicas ..... 10
- Figure 1.** General overview of the Eastern Tropical Pacific Ocean region (light blue) and the main oceanic archipelagos and islands ..... 70
- Figura 2.** Conectividad regional de nueve especies marinas evaluadas en el PTE. Fuente: [www.migramar.org](http://www.migramar.org) ..... 12
- Figure 2.** Regional connectivity depicted from nine studied marine migratory species. Source: [www.migramar.org](http://www.migramar.org) ..... 72
- Figura 3.** Zona en estudio (amarillo) para la creación de un área especial de manejo (MigraVía) que conecte el Parque Nacional Isla del Coco, el Área Marina de Manejo Montes Submarinos y la Reserva Marina de Galápagos ..... 15
- Figure 3.** Area (yellow) under evaluation for the creation of a special managed area (Swimway) between the Cocos Island National Park, the Seamounts Marine Management Area, and the Galapagos Marine Reserve. .... 75
- Figura 4.** Placas tectónicas y cordilleras submarinas de la región del PTE. La escala de colores azules ubicada en la izquierda presenta la profundidad en metros del fondo marino ..... 19
- Figure 4.** Tectonic plate and submarine ridge location in the Eastern Tropical Pacific Ocean. The left blue-gradient colored-scale represents the seafloor depth in meters. .... 79
- Figura 5.** Ubicación geográfica de doce montes submarinos (MS) identificados en el área de influencia de la MCG. La escala de colores representa la profundidad en metros del fondo marino ..... 20
- Figure 5.** Geographic location of 12 seamounts in the Swimway Cocos-Galapagos. The color scale represents the seafloor depth in meters ..... 80
- Figura 6.** Distribución espacial de las gradientes de temperatura superficial del mar (°C) y concentración de clorofila ( $\text{mg m}^{-3}$ ), salinidad (%), y energía cinética de turbulencia ( $\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ) en el PTE. Fuente: NASA Scientific Visualization Studio ([svs.gsfc.nasa.gov](http://svs.gsfc.nasa.gov)).....22
- Figure 6.** Spatial distribution of oceanic surface temperature (°C), surface salinity (%), chlorophyll concentration ( $\text{mg/m}^3$ ), and turbulence kinetic energy ( $\text{kg/m}^2\text{s}^2$ ) within the Eastern Tropical Pacific Ocean. Source: NASA Scientific Visualization Studio ([svs.gsfc.nasa.gov](http://svs.gsfc.nasa.gov)) ..... 82
- Figura 7.** Variabilidad mensual en la temperatura superficial del mar (TSM), concentración de clorofila y energía cinética de turbulencia (ECT) en las Islas de Darwin y Wolf (Galápagos), Isla del Coco (Costa Rica), Isla Malpelo (Colombia), y tres puntos dentro del área de estudio de la MigraVía..... 24
- Figure 7.** Sea surface temperature, chlorophyll concentration, and eddy kinetic energy monthly variations at Darwin and Wolf Islands (Galapagos), Cocos Island (Costa Rica), Malpelo Island (Colombia) and three sites within the MigraVía study area..... 84
- Figura 8.** Tendencia interanual (izquierda) y estacionalidad mensual (derecha) de las series de tiempo de temperatura superficial del mar (TSM), concentración de clorofila (Cl), y energía cinética de turbulencia (ECT) de los seis sitios mostrados en la Figura 7 ..... 26
- Figure 8.** Yearly trends (left) and monthly seasonality (right) of sea surface temperature (TSM), chlorophyll concentration (Cl) and turbulence kinetic energy (ECT) of the six locations shown in Figure 7 ..... 86
- Figura 9.** a) Dominancia de peces de arrecife en siete sitios estudiados de la región del CMAR; b) Similitud en la estructura comunitaria entre los sitios evaluados; c) Comparación de la dominancia de peces de arrecife según la ubicación geográfica de cada sitio; d) Similitud en la estructura comunitaria según la ubicación geográfica de los sitios evaluados. Los datos analizados provienen del Proyecto Reef Fish Life Survey [89]..... 32
- Figure 9.** a) General reef fish dominance in seven study sites of the CMAR region. b) Community structure similarity of the studied sites. c) Reef fish dominance comparison between the studied sites in relation to their geographic location. d) Community structure similarity between the studied sites in relation to their geographic location. Data provided by the Reef Fish Life Survey Project [89]..... 92
- Figura 10.** Contribución a la abundancia anual de las especies que se observan suspendidas en la columna de agua en los sitios de buceo de la Isla del Coco (negro), Malpelo (rojo) y las Islas del norte de Galápagos (Darwin y Wolf; azul). Fuente: Coco (Undersea Hunter), Malpelo (Fundación Malpelo), Galápagos [90] ..... 34
- Figure 10.** Species abundance ranking at Cocos Island (black), Malpelo Island (red), and Galapagos (blue). Source: Cocos (Undersea Hunter), Malpelo (Fundación Malpelo), Galapagos [90] ..... 94
- Figura 11.** Frecuencia de ocurrencia de especies de megafauna observadas durante el viaje de muestreo a ocho montes submarinos de la MCG. Alopel, *Alopias pelagicus*; Carcab, *Caranx caballus*; Carfal, *Carcharhinus falciformis*; Corhyp, *Coryphaena hippurus*; Kajaud, *Kajikia audax*; Sphlew, *Sphyrna lewini*; Turtru, *Tursiops truncatus*. Fuente: Hearn A./Espinoza M. (no publicado) ..... 35
- Figure 11.** Megafauna species observed frequency during the field trip carried out at eight seamounts of the Swimway Cocos-Galapagos: Alopel, *Alopias pelagicus*; Carcab, *Caranx caballus*; Carfal, *Carcharhinus falciformis*; Corhyp, *Coryphaena hippurus*; Kajaud, *Kajikia audax*; Sphlew, *Sphyrna lewini*; Turtru, *Tursiops truncatus*. Source: Hearn A./Espinoza M. (unpublished)..... 95
- Figura 12.** Rastreo satelital de los movimientos de nueve especies de elasmobranchios, dos peces óseos y cuatro de tortugas marinas a lo largo de PTE..... 36
- Figure 12.** Satellite-tracked movements of nine elasmobranchs, two bony fishes, and four marine turtles within the Eastern Tropical Pacific Ocean (ETPO) ..... 96
- Figura 13.** Área de distribución para cada una de las nueve especies de elasmobranchios, dos peces óseos y cuatro especies de tortugas marinas de las que se tiene datos dentro del PTE ..... 40
- Figure 13.** Distribution of all nine elasmobranchs, two bony fish, and four sea turtle species studied in the Eastern Tropical Pacific Ocean ..... 100
- Figura 14.** Comparación de las tendencias poblacionales de los tiburones martillo (a,b), galápagos (c,d) y punta blanca de arrecife (e,f) entre las Islas Galápagos, Isla del Coco y la Isla Malpelo. Fuente: Peñaherrera-Palma [90] ..... 44
- Figure 14.** Hammerhead Shark (a, b), Galapagos Shark (c, d), and Whitetip Reef Shark (e, f) abundance trends comparison between the Galapagos Islands, Cocos Island, and Malpelo Island. Source: Peñaherrera-Palma ..... 104
- Figura 15.** Redes tróficas de un ecosistema pelágico alrededor de islas y montes submarinos (caso de estudio de la RMG). El tamaño de los círculos está escalado a la biomasa del grupo, y el grosor de las líneas de unión representa la cantidad de energía que fluye desde los compartimentos de abajo hacia arriba. Fuente: Wolff, Peñaherrera-Palma y Krutwa [161] ..... 47
- Figure 15.** Trophic food web of a pelagic ecosystem around islands and seamounts (case study of the GMR). Circle size represents the amount of biomass, and line thickness represents the amount of bottom-up energy flux between groups. Source: Wolff, Peñaherrera-Palma, and Krutwa [161] ..... 107
- Figura 16.** Esquema del diseño del área propuesta para la MigraVía Coco-Galápagos. Izquierda, análisis de redes para los puntos calientes de conectividad y montes submarinos. Derecha, área de amortiguamiento creada al unificar el área de amortiguamiento de cada conexión entre los puntos calientes y montes submarinos..... 55
- Figure 16.** Proposed design of the MigraVía (Swimway). Left, network analysis of the connectivity hotspots and seamounts. Right, buffer area unification from connecting each network node ..... 115
- Figura 17.** Superposición de la batimetría, la división política del PTE y la propuesta de área de la MCG ..... 58
- Figure 17.** Overlay for Eastern Tropical Pacific Ocean bathymetry, political boundaries and Swimway Cocos-Galapagos proposed area .... 118
- Figura 18.** Superposición de las capas de movimientos espaciales, área de distribución, ubicación de los montes submarinos y la propuesta de área de la MCG ..... 59
- Figure 18.** Overlay for the movement, distribution, seamount location, and Swimway proposed area. .... 119



Tiburón ballena (*Rhincodon typus*) con una marca satelital adherida frente a su aleta dorsal.

César Peñaherrera P.

## Resumen ejecutivo

Con la creación de áreas marinas protegidas (AMP), como la Reserva Marina de Galápagos (RMG), Parque Nacional Isla del Coco (PNIC) y Santuario de Flora y Fauna Malpelo (SFFM), se ha logrado conservar parcialmente la funcionalidad y diversidad ecológica del Pacífico Tropical Este (PTE).

Existe suficiente evidencia que demuestra la efectividad de estas AMP para proteger las comunidades submareales de arrecife (o bentónicas). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de conservación en cada área, se ha detectado un marcado declive poblacional de especies altamente migratorias, como los tiburones y tortugas marinas que se desplazan entre dichas AMP y los mares territoriales de la región. Esta movilidad transfronteriza dificulta los esfuerzos de conservación de cada país, particularmente en detrimento de aquellas especies sensibles, incluso con niveles de extracción pesquera moderada. Esta problemática se ha observado con anterioridad en otras regiones del mundo, y por ello la adopción de medidas que permitan frenar el declive de especies marinas migratorias ha sido priorizado.

Desde su concepción inicial, el Corredor Marino del Pacífico Tropical Este (CMAR) se creó con el objetivo de conservar la biodiversidad y promover el uso sostenible de los recursos marinos y costeros circunscritos en las Zonas Económicas Exclusivas de Colombia, Costa Rica, Ecuador y Panamá. De hecho, el CMAR considera la región comprendida entre el PNIC y la RMG como un corredor biológico de interés de conservación. Esta región posee una elevada similitud en la composición de sus comunidades bentónicas. Grandes cardúmenes de jureles, pargos y tiburones martillo dominan el paisaje marino de la región. Especies como el tiburón ballena, el tiburón sedoso y el tiburón galápagos también son residentes de las AMP

de las cuatro naciones, pero no exclusivas de cada una. Evidencias científicas muestran una elevada conectividad del PTE, tanto respecto a tiburones como a tortugas marinas y peces.

La conectividad de la región del PNIC y la RMG no solo está dada por organismos que se mueven activamente. El PNIC y la RMG poseen un porcentaje importante de especies endémicas insulares, y un elevado flujo génico en especies no móviles como corales. Las corrientes marinas prevalecientes de la región favorecen la dispersión de peces e invertebrados marinos, elevando la conectividad entre ambas AMP con relación a otras áreas del PTE. Estas evidencias, junto con la marcada similitud en las condiciones oceanográficas del PNIC y la RMG, sugieren la existencia de un solo ecosistema interconectado en esta región.

El concepto de MigraVía nace así en respuesta a la necesidad de implementar áreas especiales de manejo que permitan salvaguardar la integridad de los ecosistemas tanto de aguas abiertas como de arrecifes que están interconectados entre las diferentes AMP de la región. La MigraVía Coco-Galápagos (MCG) es el siguiente paso lógico para fortalecer los esfuerzos de conservación marina oceánicos de los gobiernos de Costa Rica y Ecuador, y responde de manera directa al punto inicial que favoreció la creación de diversas iniciativas como el CMAR.

El área de interés de conservación que se propone toma en cuenta los puntos de alta importancia de conectividad migratoria registrados a la fecha, analizados en función de las redes de conexión actuales con los montes submarinos detectados en la región. El área propuesta para la MCG tiene un área aproximada de 240000 km<sup>2</sup> y un perímetro aproximado de 2430 km. Su extremo norte se ubica en latitud 6.15°N, su extremo sur en

latitud 0.22°N, su extremo este en la longitud 85.84°O, y su extremo oeste en la longitud 92.48°O. El área comprendida por esta región engloba un porcentaje significativo de los

movimientos migratorios de los 389 individuos (15 especies) estudiados. Entre los puntos más importantes que definen la importancia biológica y ecológica de la MCG están:

- 1 La MigraVía representa un área espacial de alto uso (punto caliente) por especies con conducta migratoria.
- 2 Los montes submarinos de la región del MCG poseen una alta similitud oceanográfica con el PNIC y la RMG.
- 3 Los montes submarinos de la región forman la Cordillera del Coco, que juntos conecta al PNIC con la RMG.
- 4 Las especies pelágicas, como el tiburón martillo, siguen la señal magnética de montes y cordilleras submarinos para ubicarse espacialmente y movilizarse entre sitios de agregación y alimentación.
- 5 El PNIC y la RMG comparten un porcentaje importante de especies endémicas insulares y fauna nativa sésil, bentónica y pelágicas.
- 6 La estructura comunitaria del PNIC y la RMG sugieren que ambas AMP pertenecen a un solo ecosistema.
- 7 La MCG es el corredor que permite la conectividad ecológica entre la PNIC y la RMG.
- 8 Las AMP favorecen la recuperación y resiliencia de los ecosistemas marinos bentónicos y pelágicos.
- 9 Las AMP, al favorecer el aumento de biomasa de las especies comerciales, también generan mejoras significativas en el rédito económico de las pesquerías que operan en los mares circundantes.
- 10 La efectividad de una AMP aumenta considerablemente al cubrir más de 74 km de radio alrededor del área de conservación de interés. Este radio de cobertura es similar al modelo adoptado por la RMG.
- 11 El corredor biológico del PTE ha sido reconocido como prioridad de conservación de los países signatarios del CMAR.
- 12 La Meta de Aichi 11 es conservar al menos el 10% de las zonas marinas y costeras de cada país hasta el 2020, por medio de sistemas de áreas protegidas administrados de manera eficaz, ecológicamente representativos y bien conectados.

La creación de la MCG debe complementarse con un aumento en la investigación de los montes submarinos y de la diversidad pelágica en la región. A pesar de que se cuenta con un total de 389 seguimientos satelitales de organismos marinos migratorios, esta información cubre especies de interés debido a sus amenazas actuales.

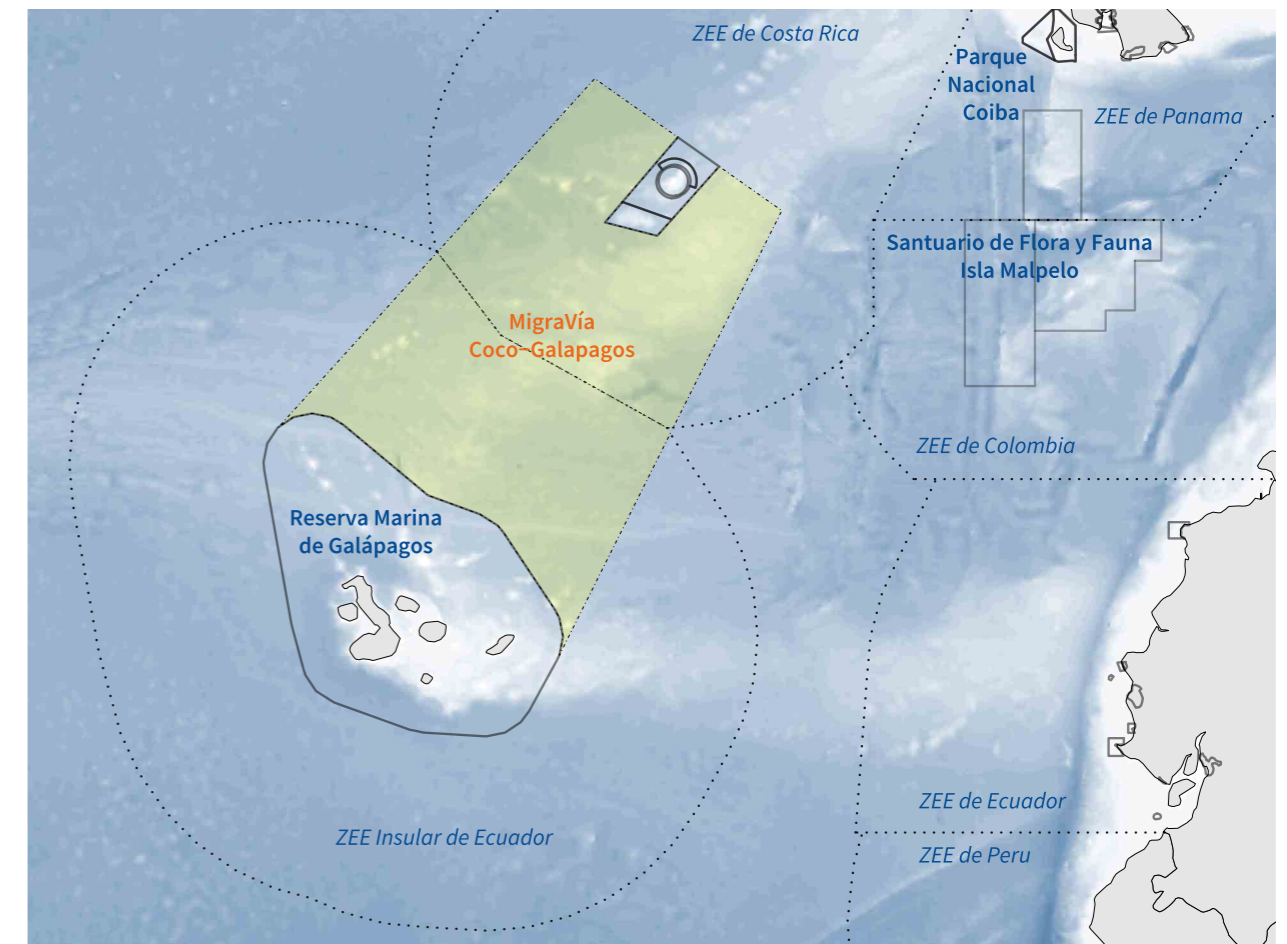
La investigación de estas especies es importante porque permite identificar y entender las áreas de interés de protección y/o regulación, pero es necesario ampliar el estudio de los patrones migratorios y preferencias de hábitat de especies de interés comercial, como el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), el atún patudo (*Thunnus*

*obesus*), los marlines, el dorado (*Coryphaena hippurus*), los tiburones zorros (*Alopias spp*), el tiburón azul (*Prionace glauca*), el tiburón punta blanca oceánico (*Carcharhinus longimanus*), y especies de cetáceos. Se recomienda ampliar la investigación hacia censos pelágicos que permitan evaluar la diversidad de especies de aguas abiertas, no sólo dentro sino fuera de la MCG, y permitan entender de manera integral la significancia biológica del área propuesta para las comunidades de aguas abiertas. Adicionalmente, se recomienda el mapeo de alta resolución y la exploración biológica y geológica sistemática de los montes submarinos que se encuentran en la región.

Las características de la MCG califican para ser declarada tanto como una Reserva de la Biosfera (de acuerdo con las categorías de

manejo de la UNESCO) así como un Área de Gestión de Hábitats y Especies (de acuerdo a la categoría de manejo IV establecida por la UICN). El objetivo de estas áreas protegidas es la conservación de hábitats o especies concretas. En el caso de la MCG, esto podría plasmarse por medio de regulaciones de las actividades que se podrían o no llevar a cabo dentro del área y su manejo sostenible, especialmente en relación con las especies marinas objeto del presente informe.

Cualquier tipo de manejo a implementarse deberá ser evaluado en un estudio de factibilidad legal complementario a esta evaluación biológica. A su vez, la declaración del sistema de manejo deberá ser trabajado en forma colaborativa entre ambos gobiernos, CMAR, MigraMar, PACIFICO y actores claves.





# Antecedentes

Tortugas marinas verdes (*Chelonia mydas*) en cortejo  
Christian Vizl

## Introducción

El Océano Pacífico Tropical Este (PTE) se extiende desde el Golfo de California en el noroeste de México hasta la región de Piura en el noroeste de Perú ([1]; Figura 1). El PTE posee un área de alrededor de 21 millones de km<sup>2</sup> que incluye aguas internacionales y mar territorial de 12 países de la costa oeste de América [2]. La profundidad del fondo marino alcanza en promedio los 3500 m, aunque puede llegar hasta los 8000 m de profundidad en la región de la fosa de Atacama [3].

El sistema oceanográfico del PTE es altamente dinámico, tanto en tiempo como en espacio, debido a la confluencia e influencia de varias corrientes marinas [4]. La Corriente Fría de California forma el límite norte del PTE mientras fluye de norte a sur siguiendo la costa de Norteamérica, y luego fluye en dirección oeste hasta unirse a la Corriente Ecuatorial Norte de aguas cálidas. La corriente fría del Humboldt forma el límite sur del PTE al fluir de sur a norte bordeando la costa oeste de Chile hasta Perú y Ecuador, para luego tomar rumbo hacia el oeste y unirse a la Corriente Ecuatorial Sur. La Contracorriente Ecuatorial fluye a varios grados de latitud al norte del ecuador y en dirección este. La región del PTE es también sujeto de condiciones oceanográficas anómalas como El Niño Oscilación del Sur (ENOS) y la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP). De estas, el ENOS es el más estudiado por sus efectos no sólo a nivel local pero global. El ENOS se caracteriza por presentar temperaturas cálidas del mar que se extienden desde la región del PTE hasta el Pacífico Occidental, principalmente debido a una reubicación de la circulación atmosférica y oceanográfica a lo largo de todo el Océano Pacífico [5].

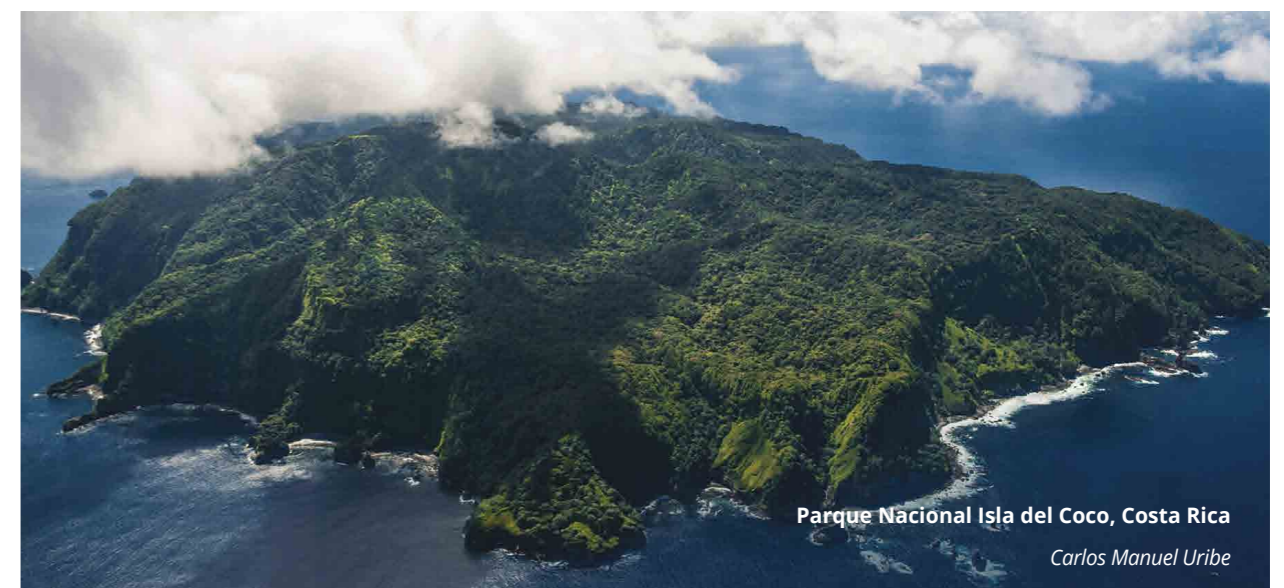
La variabilidad espacial y temporal de las condiciones oceanográficas crea sistemas de hábitats únicos que permiten al PTE alojar una

elevada riqueza de especies y comunidades [1]. Alrededor de 5000 especies de invertebrados marinos [6], más de 1000 de peces [7, 8], 30 de mamíferos marinos [9], 123 aves marinas [10], y más de siete reptiles [11] se han registrado tanto en sus ecosistemas costeros como oceánicos. La elevada diversidad de hábitats y comunidades biológicas hacen que esta región albergue los ecosistemas marinos más diversos y ecológicamente funcionales del mundo [12, 13]. La riqueza biológica de la región no sólo es importante en el plano ecológico y de conservación, sino que además genera más de USD 15000 millones anuales en ingresos económicos producto de los servicios ecosistémicos que brinda [2].

En reconocimiento a la elevada importancia biológica, ecológica y económica de los recursos marinos, los gobiernos de la región del PTE invierten constantemente en mejorar el manejo y la conservación de sus recursos [14]. Una herramienta de manejo muy utilizada es la creación de áreas marinas protegidas (AMP) alrededor de ecosistemas de excepcional riqueza ecológica, cultural y económica. En estas áreas se norma el uso de los recursos bajo regulaciones tanto para actividades extractivas, como no extractivas y de conservación [15]. Actualmente hay cinco de seis archipiélagos e islas oceánicas protegidas en el PET: Parque Nacional Isla del Coco (PNIC, Costa Rica) y su Área Marina de Manejo Montes Submarinos (AMMMS, Costa Rica), Parque Nacional Coiba (PNC, Panamá), Reserva Marina de Galápagos (RMG, Ecuador), Santuario de Flora y Fauna Malpelo (SFFM, Colombia), y Parque Nacional Revillagigedo (PNR, México). La excepcional riqueza biológica de estas áreas les permitió a varias ser catalogadas como Sitios de Patrimonio Mundial de la Humanidad por la UNESCO [16].



**Santuario de Flora y Fauna Isla Malpelo, Colombia**  
*Juan Arellano/Fundacion Malpelo y otros ecosistemas marinos*



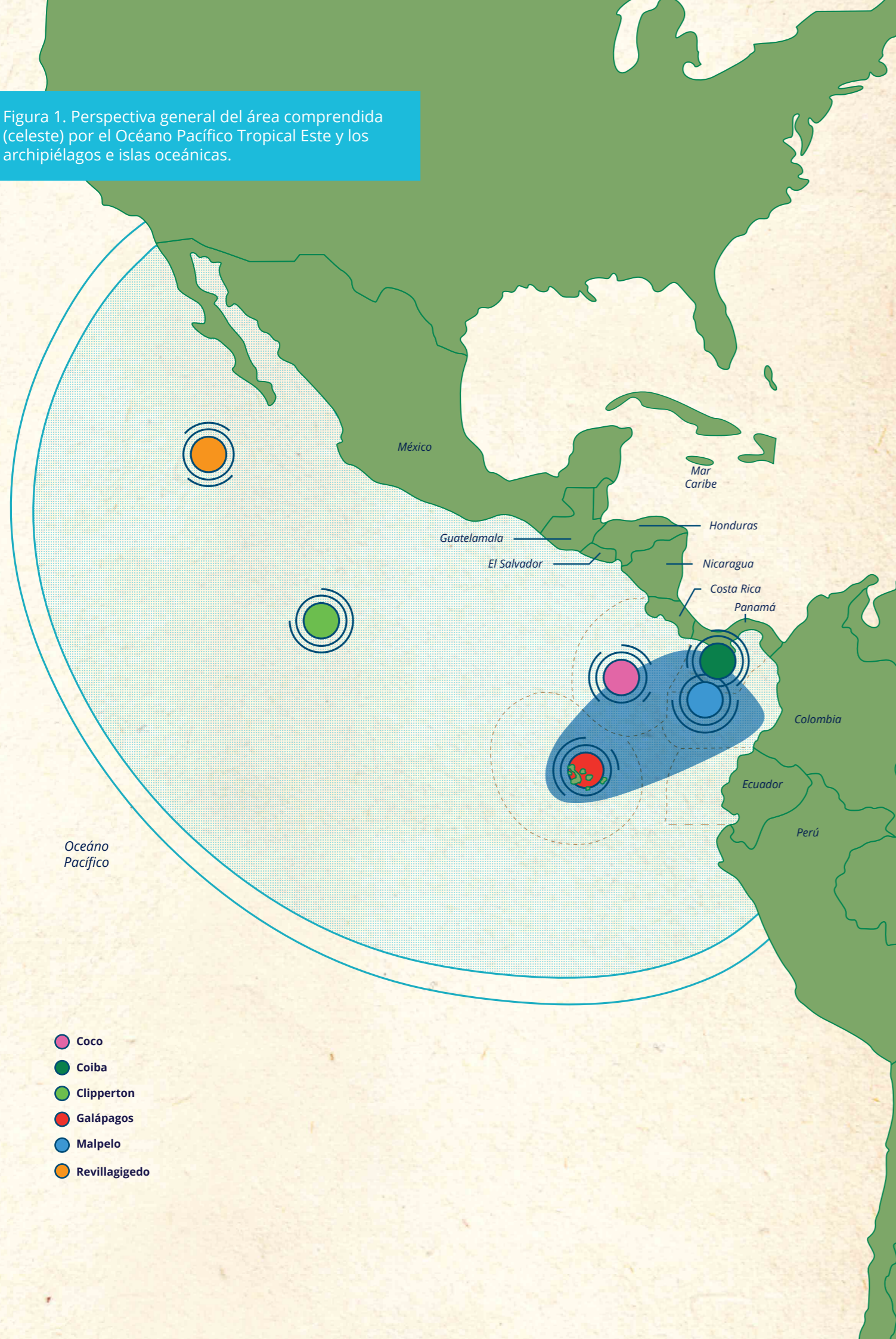
**Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica**  
*Carlos Manuel Uribe*



**Isla Wolf, Reserva Marina de Galápagos, Ecuador**  
*César Peñaherrera P.*



Figura 1. Perspectiva general del área comprendida (celeste) por el Océano Pacífico Tropical Este y los archipiélagos e islas oceánicas.



- Coco
- Coiba
- Clipperton
- Galápagos
- Malpelo
- Revillagigedo

## MigraVías

### Una estrategia necesaria para la conservación de especies migratorias en el PTE

Apesar de la controversia sobre la magnitud en el declive poblacional de las especies marinas [17, 18], y el efecto ecológico que estas pueden producir [19, 20], se ha aceptado que la sobrepesca es la causa principal del detrimento poblacional de muchas especies marinas migratorias [11, 21, 22]. Varias especies de elasmobranchios (tiburones y rayas), así como tortugas, aves marinas y delfines son capturadas como pesca asociada o incidental de las flotas pesqueras industriales y semi-industriales [23].

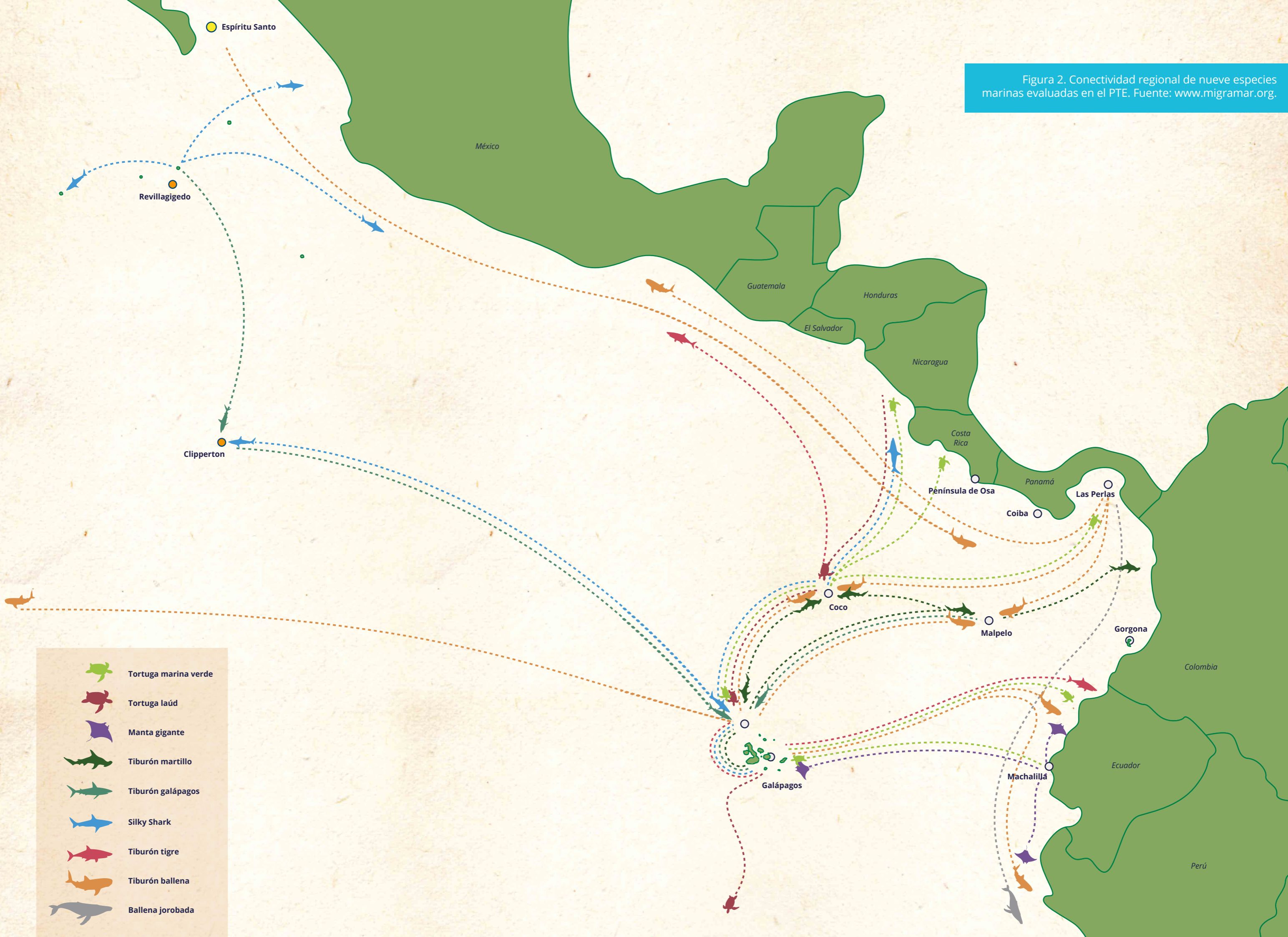
La implementación de herramientas de manejo espacial a través de la creación de AMP (zonas de no pesca o de pesca sostenible) es una estrategia útil para limitar la extracción de especies sensibles y amortiguar el efecto de las pesquerías en los ecosistemas marinos circundantes [15, 24, 25]. Existe suficiente evidencia que la implementación de las AMP logra mantener la biomasa y la diversidad de peces costeros [e.g. 24, 26, 27], sean organismos presas o depredadores [28]. Sin embargo, la naturaleza migratoria de muchas especies de peces, reptiles y mamíferos marinos reduce la efectividad de las AMP cuando aquellas cruzan las fronteras de las reservas e incurrir en aguas nacionales o internacionales no reguladas [29]. Esto vuelve a las especies migratorias particularmente vulnerables cuando migran entre AMPs conectadas ecológicamente.

En el PTE se ha dedicado un esfuerzo considerable en identificar la amplitud de movimientos e identificar las rutas migratorias de varias especies marinas. Usando técnicas moleculares y de telemetría acústica y satelital,

se ha identificado la dirección y movilidad de tiburones, rayas, tortugas marinas y mamíferos marinos que habitan en zonas costeras y oceánicas [30-34]. Estos estudios permiten determinar no sólo el comportamiento espacial y vertical de estas especies, sino también el grado de conectividad entre las diversas AMP en la región (Figura 2). Uno de los resultados más importantes de estos estudios sugiere la existencia de un solo ecosistema interconectado entre el PNIC, el AMMMS, la RMG y el SFFM. De ser así, la conservación de estas AMP no debe manejarse de manera individual, pero de forma conjunta y articulada.

El concepto de MigraVía nace así en respuesta a la necesidad de implementar áreas especiales de manejo que permitan salvaguardar la integridad de los ecosistemas tanto de aguas abiertas como de arrecifes que están interconectados entre las diferentes AMP de la región [35]. Así mismo, la MigraVía Coco-Galápagos (MCG) es el siguiente paso lógico para fortalecer los esfuerzos de conservación de los gobiernos de Ecuador y Costa Rica, y responde de manera directa a varias iniciativas públicas y privadas en la región [36]. La MCG tiene por finalidad proveer un mayor grado de protección a aquellas especies que migran entre las áreas protegidas de Coco y Galápagos, con el fin de preservar la conectividad e integridad ecológica de las tres AMP. El presente estudio técnico tiene como objetivo principal sistematizar la información técnica base y evaluar la factibilidad de crear un área relevante para la conservación biológica y ecológica de las especies migratorias que habitan en el PTE.

Figura 2. Conectividad regional de nueve especies marinas evaluadas en el PTE. Fuente: [www.migramar.org](http://www.migramar.org).



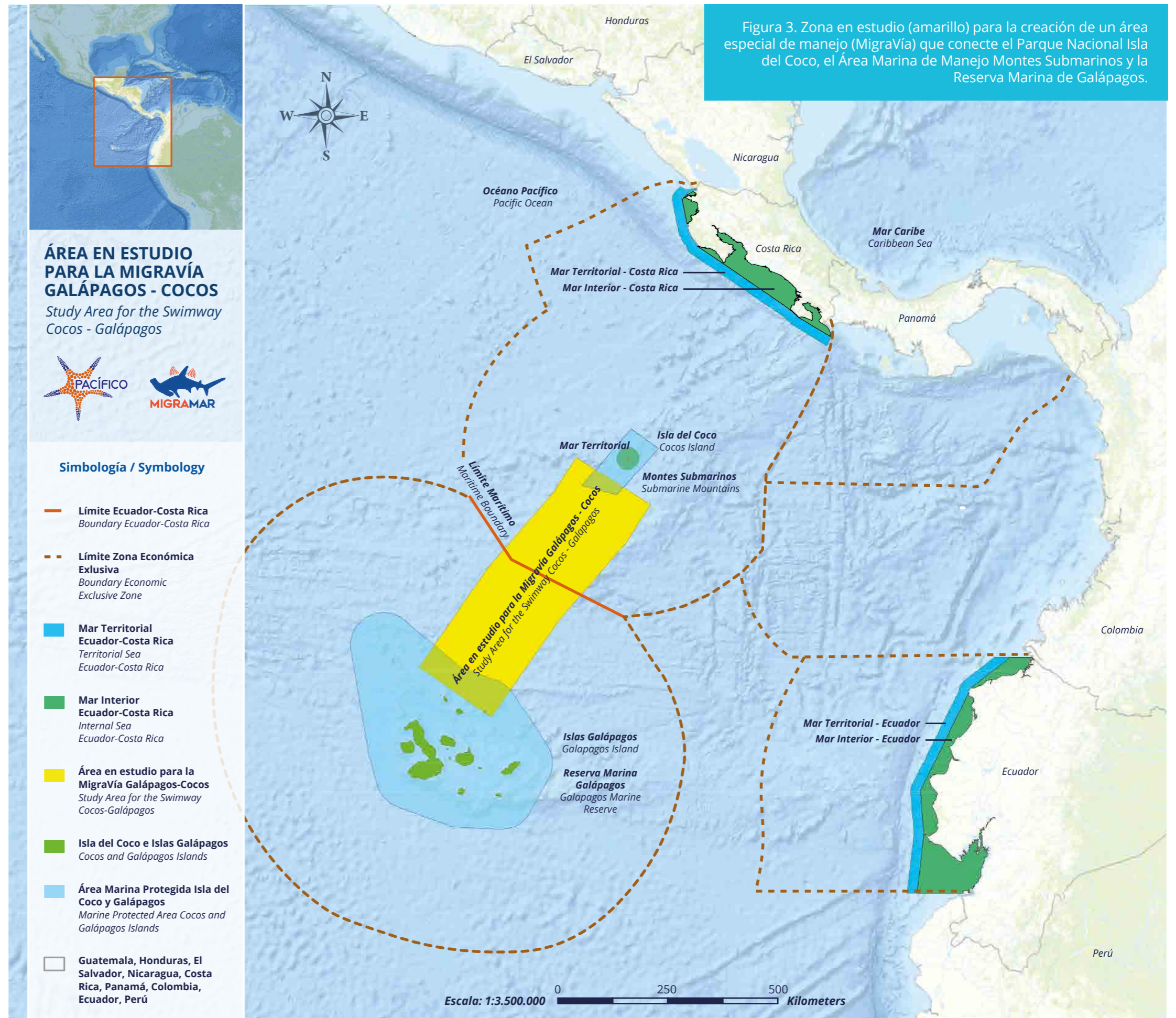
-  Tortuga marina verde
-  Tortuga laúd
-  Manta gigante
-  Tiburón martillo
-  Tiburón galápagos
-  Silky Shark
-  Tiburón tigre
-  Tiburón ballena
-  Ballena jorobada

## Situación geográfica y política

La Isla del Coco se encuentra a más de 500 km de la costa pacífica de Costa Rica, país al cual pertenece. El PNIC fue creado en 1978 bajo el Decreto Ejecutivo No 8748-A. El área de protección marina ha experimentado un incremento paulatino desde su creación en 1984. Actualmente existe un área de protección total de 1520 km<sup>2</sup> en un radio de 22 km alrededor la isla, más un área de 9640 km<sup>2</sup> que corresponde al AMMMS [37].

El Archipiélago de Galápagos se encuentra aproximadamente a 1000 km de la costa de Ecuador, país al cual pertenece. El archipiélago está compuesto por 13 islas grandes, seis pequeñas y más de 100 islotes y rocas expuestas [38]. La RMG que lo circunscribe tiene una superficie total de 138000 km<sup>2</sup> (133000 km<sup>2</sup> sin contar la superficie de las islas), medidos en un radio de 74 km a partir de los puntos más sobresalientes de las islas externas. La RMG fue creada en 1998 luego de un proceso participativo que inició en 1986 [39, 40].

El área bajo estudio para la creación de la MCG se encuentra localizada entre las zona económica exclusiva (ZEE) de Costa Rica y de Ecuador, entre el PNIC, el AMMMS y la RMG (Figura 3). La zona de influencia abarca más de 150000 km<sup>2</sup> y se extiende desde el centro del PNIC hasta la parte centro norte de la RMG. La jurisdicción político-administrativa de esta zona está compartida casi equitativamente entre ambos países, los cuales tienen sus propias leyes y regulaciones de manejo espacial y temporal para la explotación y uso de sus recursos naturales [14].





Manta gigante (*Mobula birostris*)  
Christian Vizl

# Evaluación ambiental

## Aspectos físicos

### Geología y batimetría

En lo que respecta al ámbito geológico, el PTE yace principalmente sobre la placa tectónica del Coco, pero también se ubica sobre ciertas porciones de la placa de Nazca (al sur y este) y la placa del Pacífico (oeste; Figura 5). Las placas continentales de Suramérica, del Caribe y de Norteamérica forman el límite tectónico oriental del PTE, mientras que la placa del Pacífico forma el límite occidental del PTE [41]. La profundidad promedio de la región es de alrededor de 3500 m [3]. Las zonas más someras se encuentran sobre la plataforma continental formadas por las placas de Sudamérica, del Caribe y de Norteamérica. En esta zona la profundidad máxima alcanza entre los 200 m y 500 m antes de caer drásticamente en las fosas de subducción de las placas del Coco y Nazca con las continentales. Hacia el oeste las profundidades alcanzan un promedio de 4000 m de profundidad. La máxima profundidad alcanza los 8000 m en la fosa de Atacama, ubicada en la zona de subducción de la placa de Nazca bajo la de Sudamérica, justo frente a las costas de Perú y el norte de Chile.

En el PTE destacan, por su ubicación y origen, las cordilleras submarinas del Coco y de Carnegie (Figura 4). Ambas se originaron como producto de la elevada actividad volcánica del punto caliente de la dorsal de Galápagos, que se ubica justo entre el PNIC y la RMG [42]. La dorsal de Galápagos es una zona de fractura entre las placas de Coco y de Nazca que se caracteriza por tener alta actividad volcánica, con magmas que asciende directamente desde el manto de la corteza terrestre [43]. El origen de ambas cordilleras remonta hasta hace más de 30 millones de años, tiempo en el cual cada una se ha desplazado de acuerdo con el movimiento de las placas donde yacen. En el caso de la cordillera del Coco, se ha desplazado desde la dorsal de Galápagos hasta la zona

de subducción de la placa del Coco con la del Caribe, justo frente a las costas de Costa Rica [44]. La cordillera de Carnegie yace sobre la placa de Nazca y tuvo dos eventos de formación en el mismo punto caliente de Galápagos. Actualmente, Carnegie presenta una distribución discontinua que inicia en el archipiélago y se extiende hasta la zona de subducción de la placa de Nazca con la de Suramérica, frente a las costas del Ecuador [45]. Ambas cordilleras forman un triángulo de montes submarinos que conectan Centro y Suramérica con el Archipiélago de Galápagos.

La Isla del Coco es un volcán joven que se eleva a más de 2500 m desde el fondo oceánico, y constituye además la única parte emergida de la cordillera submarina de Coco [46]. La isla se formó hace aproximadamente 1.2 a 2 millones de años, producto de anomalías magnéticas y diversos procesos volcánicos y tectónicos asociados a la dorsal de Galápagos [47]. En las zonas colindantes a la isla se han identificado al menos cuatro montes submarinos con cimas a profundidades menores a los 100 m [48].

El Archipiélago de Galápagos se originó hace unos 30 millones de años producto de una intensa actividad volcánica del punto caliente de la dorsal de Galápagos [49]. El archipiélago de islas que conocemos en la actualidad tiene una historia geológica reciente. Las islas más antiguas, San Cristóbal y Española, se formaron hace aproximadamente 2.8 a 5.6 millones de años, mientras que las más jóvenes, Isabela y Fernandina, se formaron entre tan solo 60 a 300 mil años, respectivamente [50]. La plataforma de Galápagos tiene profundidades entre los 200 a 4000 m de profundidad en el lado oeste y sur, donde presenta un gran declive alcanzando una profundidad de 3000 m a tan solo 50 km de la costa. En el lado

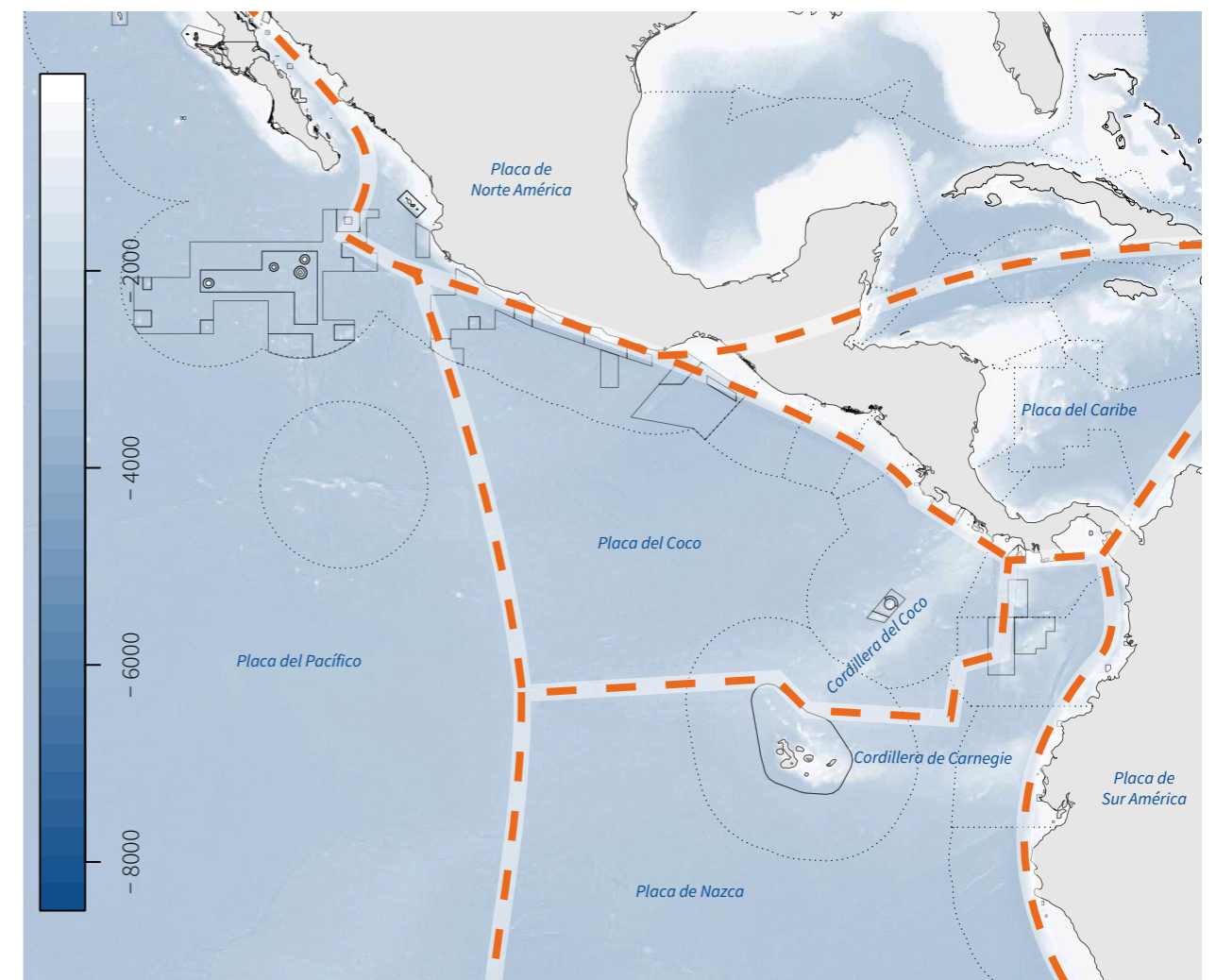


Figura 4. Placas tectónicas y cordilleras submarinas de la región del PTE. La escala de colores azules ubicada en la izquierda presenta la profundidad en metros del fondo marino.

noreste la profundidad varía gradualmente, particularmente en la zona donde se fusionan las cordilleras de Carnegie y del Coco [38].

El área de influencia de la MCG se encuentra sobre la placa tectónica de Coco, englobando a la cordillera del mismo nombre desde su origen norte en el PNIC hasta el lado sur que conecta con la RMG (Figura 4). La profundidad máxima en la MCG alcanza los 3000 m, pero se pueden encontrar áreas con profundidades menores a los 500 m [3]. Al analizar el perfil batimétrico a profundidades menores a los 1500 m, se observa una base más amplia de la cordillera en el lado sureste de la MCG. Adicional a los

montes submarinos reportados por Lizano [48] (MS02, MS11, MS12 en la Figura 5), se pueden identificar al menos nueve montes submarinos con profundidades potencialmente someras (<500 m) dentro de la región del MCG. Uno de estos es el monte MS01 (también conocido como Paramount), uno de los pocos ubicados dentro de la ZEE de Ecuador. Debido a la resolución de la información batimétrica global disponible [30"; 3] no es posible detectar el número total absoluto de montes submarinos someros presentes en la región, o las profundidades exactas de los doce montes submarinos presentados.

## Oceanografía y clima

El sistema oceanográfico del PTE es altamente dinámico tanto en tiempo como en espacio. Esta región se encuentra entre los dos giros subtropicales del norte y del sur [51]. En la zona central, ubicada entre México y Costa Rica, se encuentran aguas cálidas con temperaturas anuales promedio sobre los 27.5°C, y que son la característica principal del PTE [4]. Esta "piscina" cálida se forma como resultado del intercambio de calor y debilitamiento temporal de los vientos alisios predominantes

en la región centroamericana [52, 53]. La "piscina" cálida se extiende hasta el Pacífico oeste a través de una región de aguas cálidas localizadas a 7° de latitud norte (Figura 6).

En el norte, la corriente de California riega la zona con aguas frías (promedio anual ~16°C), poco salinas (~32%), y altas en nutrientes, generando un gradiente latitudinal de temperatura de hasta 10 grados [54]. En el sur, la corriente de Humboldt limita el área tropical

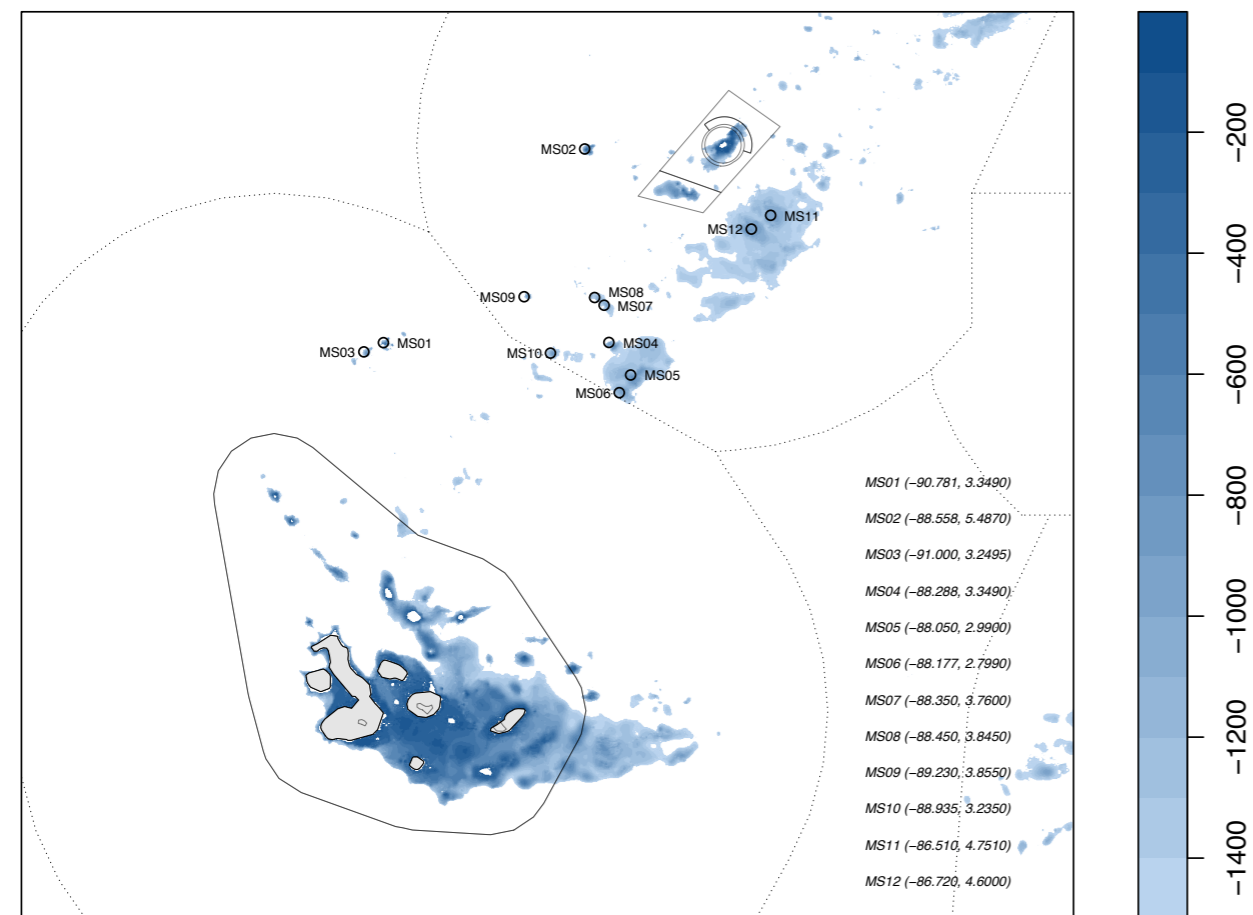


Figura 5. Ubicación geográfica de doce montes submarinos (MS) identificados en el área de influencia de la MCG. La escala de colores representa la profundidad en metros del fondo marino.

del PTE con aguas frías (promedio anual ~18°C) y salinas (~35%) que provienen de la región Antártica, y de la zona de afloramiento frente a las costas de Perú y Chile. En la parte central del PTE, la corriente de Panamá baña las costas de Centroamérica y el norte de Sudamérica con aguas cálidas (promedio anual ~28°C) y de baja salinidad (~32%), para luego girar hacia la zona ecuatorial. La movilidad de las corrientes marinas extiende la zona de la piscina cálida desde la costa centroamericana hasta el suroeste del Océano Pacífico a través la Corriente Ecuatorial del Norte (que fluye de este a oeste) paralela a la de la Contra Corriente Ecuatorial del Norte (que fluye de oeste a este) [51].

La zona de confluencia entre las corrientes ecuatoriales, las cálidas y frías al norte y sur del PTE, generan zonas de alta y baja presión con alto dinamismo, temporalidad, intensidad y polaridad [55]. En estas zonas la energía cinética de turbulencia (ECT) de los océanos se disipa a través del intercambio vertical de calor y otras propiedades del agua [56], pero también ocurren transferencias verticales importantes de minerales y nutrientes que favorecen procesos locales de productividad primaria y secundaria [57]. Los frentes oceánicos suelen ocurrir en estas zonas de alta ECT debido a las fuerzas físicas que genera el choque de corrientes marinas con condiciones físicas (e.g. temperatura y salinidad) distintas.

La variabilidad oceanográfica producida por la constante interacción de estas corrientes es además exacerbada por la ocurrencia de eventos de condiciones climáticas drásticas como El Niño Oscilación del Sur (ENOS) [5]. Este fenómeno se caracteriza por presentar temperaturas superficiales del mar más cálidas que se extienden desde la región del PTE hasta el Pacífico Occidental, principalmente debido a una reubicación de la circulación atmosférica

y oceanográfica. El evento del ENOS hace referencia a la alternancia entre la fase cálida "El Niño" (EN) y la fase fría "La Niña" (LN) de las masas de agua del Océano Pacífico, mismas que producen alteraciones en los patrones de lluvias desde los altiplanos hasta la costa oeste, centro y suramericana [58]. Los efectos modeladores del ambiente del ENOS pueden ser a nivel global y afectar de manera directa procesos físicos, biológicos y ecológicos en los océanos. Entre los principales efectos del ENOS están la marcada reducción de la productividad primaria en zonas de afloramiento [59], reducción en la salud y riqueza de especies marinas [60], el desplazamiento horizontal y vertical de especies migratorias hacia zonas que mantienen sus preferencias de hábitat y alimentación [61], así como la reducción en la productividad de los océanos y su aprovechamiento pesquero [62].

El PNIC se caracteriza por presentar una tasa alta de pluviosidad que alcanza hasta los 7000 mm de precipitación anual [52], particularmente entre los meses de mayo a noviembre (época cálida lluviosa). Las precipitaciones durante esta época ocasionan cambios en la estratificación del agua, donde parámetros como la salinidad se reducen, mientras que la temperatura aumenta en la superficie. Durante la época seca (diciembre a abril) ocurren procesos de afloramiento de aguas cargadas de nutrientes y minerales, como nitrógeno y fósforo, que elevan la productividad primaria de las aguas superficiales [63]. Los cambios de gradiente de presión entre la zona tropical y sub-tropical durante los meses de abril a noviembre contribuyen a los eventos de afloramiento al generar fuertes vientos y oleajes [52]. Los vientos predominantes en los meses de octubre a noviembre tienen dirección suroeste y llegan cargados de una mayor energía cinética [64].

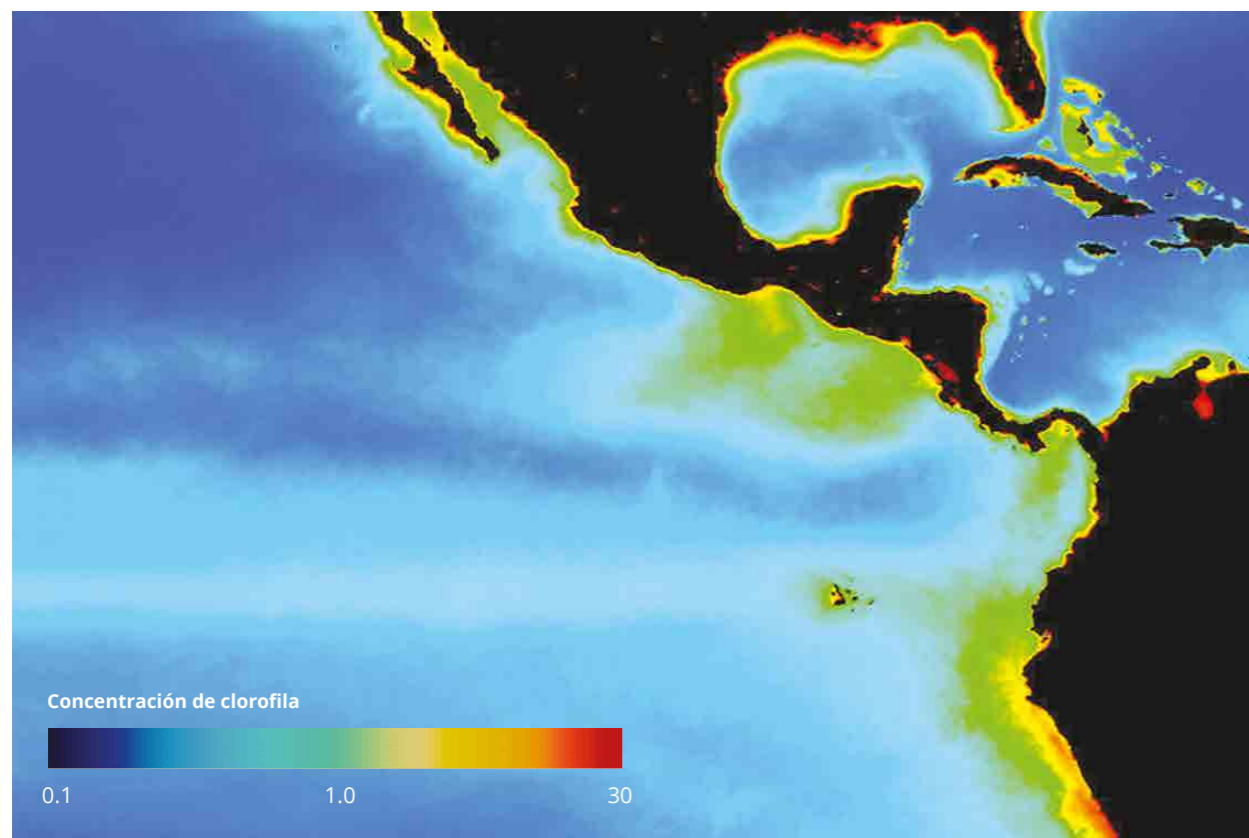
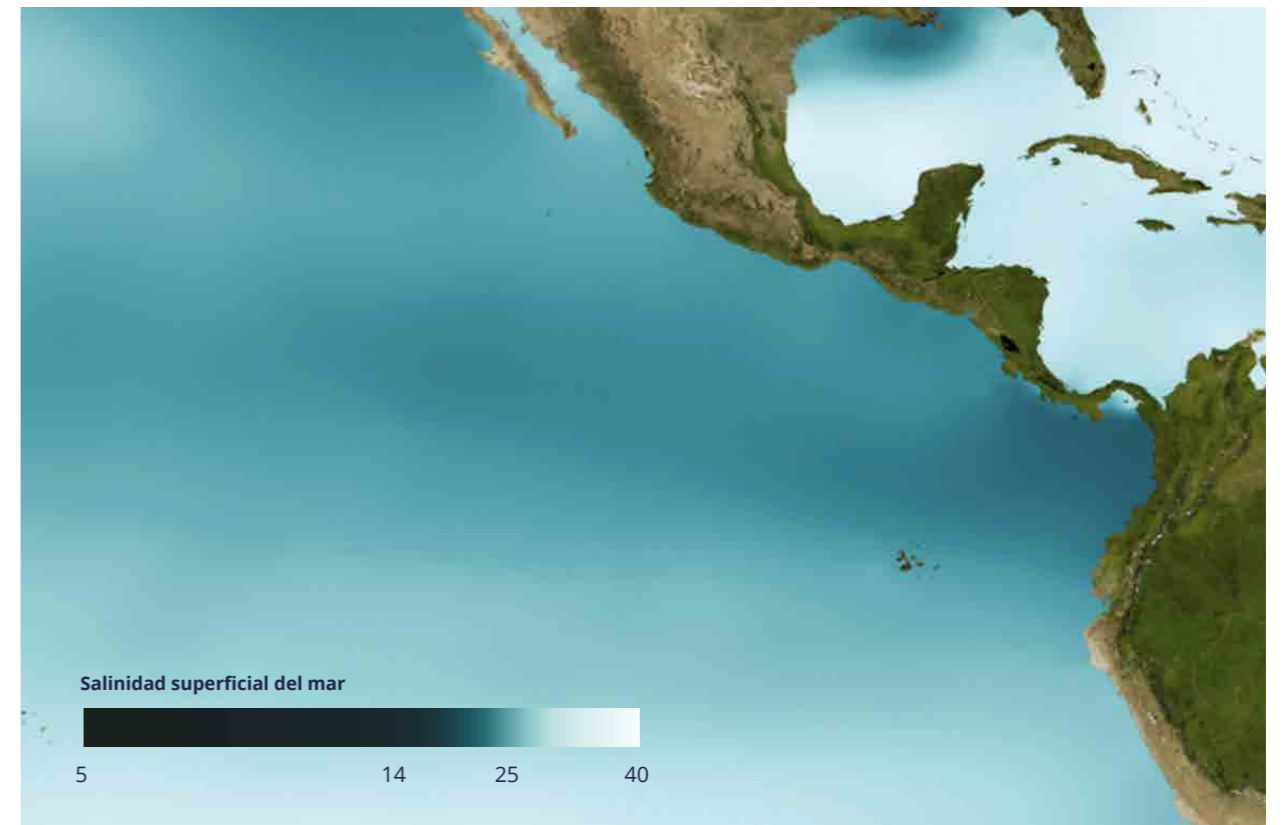
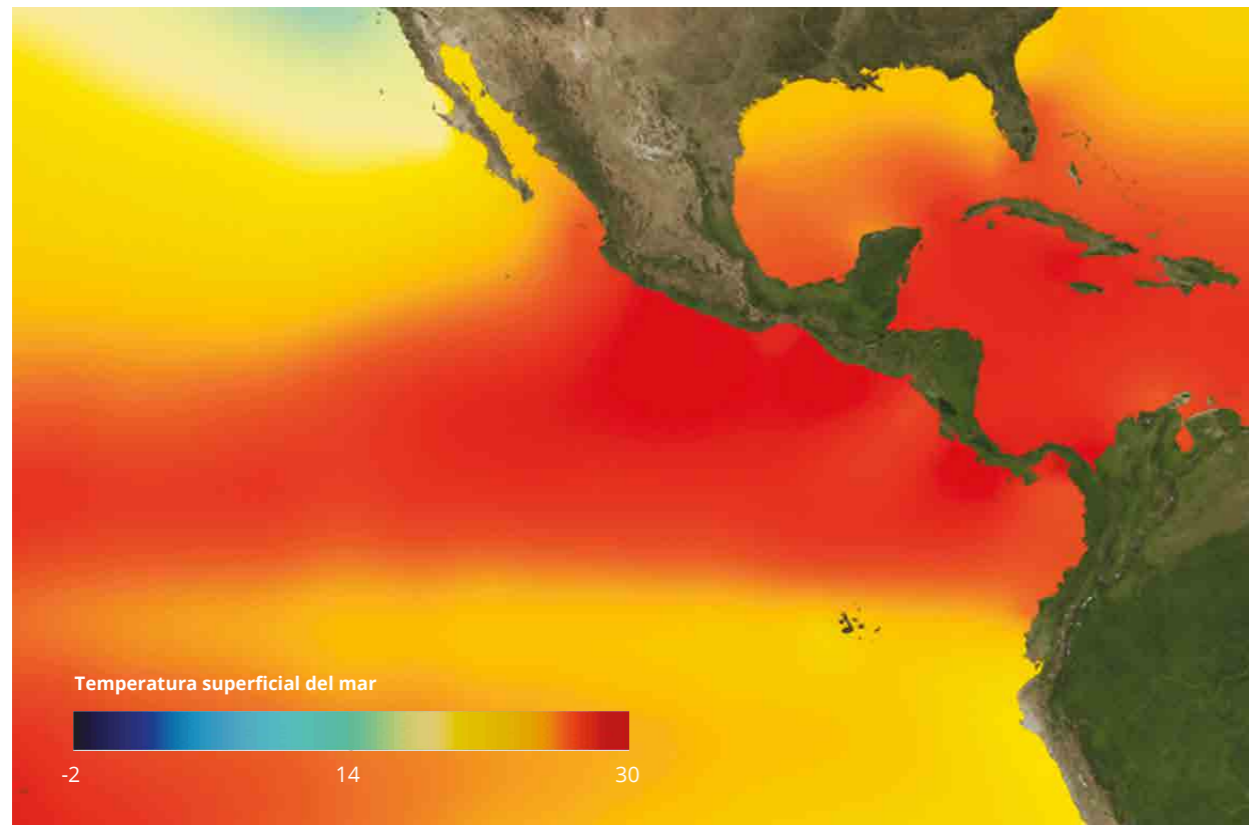


Figura 6. Distribución espacial de las gradientes de temperatura superficial del mar (°C) y concentración de clorofila ( $\text{mg m}^{-3}$ ).

Figura 6 (continuación). Salinidad (%), y energía cinética de turbulencia ( $\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ) en el PTE. Fuente: Nasa Scientific Visualization Studio (svs.gsfc.nasa.gov).

La RMG está afectada por tres corrientes marinas que modelan el clima en dos temporadas climáticas marcadas: la de aguas cálidas (de diciembre a abril) y la de aguas frías (de junio a octubre) [65]. Noviembre y mayo representan meses de transición entre las temporadas. El fortalecimiento de la corriente de Panamá desde Centroamérica produce las condiciones cálidas en el archipiélago,

elevando la TSM de 25°C a 30°C y disminuyendo la salinidad a un rango de 34 a 30‰ [66]. La temporada fría está modelada por la corriente de Humboldt, proveniente de Chile y Perú, la cual disminuye la TSM a un rango de 23°C a 14°C y eleva la salinidad a 35‰, particularmente en la región centro-sur de la RMG [66]. La variación espacial estacional entre las dos corrientes produce una región de mezcla

(frente oceánico) que fluctúa latitudinalmente en el área centro norte del archipiélago. En este frente oceánico existe un marcado gradiente en la TSM, salinidad, productividad primaria y ECT que se extiende hacia el oeste a través de la Contra Ecuatorial Sur (Figura 6). Finalmente, la corriente sumergida de Cromwell fluye de oeste a este a una

profundidad variable de entre 100 m a 300 m, y choca en el oeste de la plataforma insular de Galápagos produciendo parches de elevada productividad primaria [67]. Estos parches están ubicados principalmente en la región oeste de la Isla Fernandina e Isabela, y elevan la productividad primaria de la región hacia el oeste fluyendo con la Corriente Ecuatorial Sur.

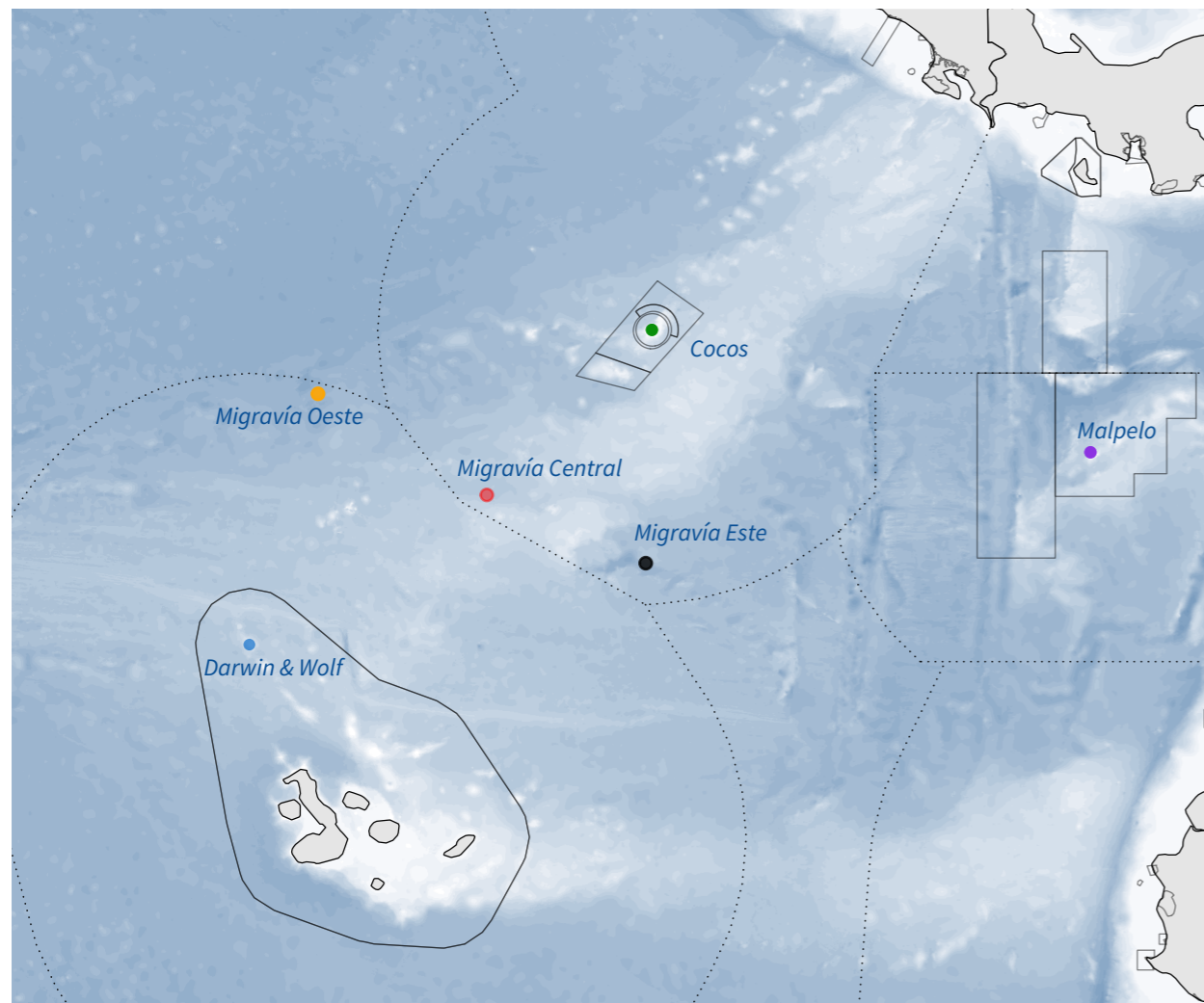


Figura 7. Variabilidad mensual en la temperatura superficial del mar (TSM), concentración de clorofila y energía cinética de turbulencia (ECT) en las Islas de Darwin y Wolf (Galápagos),

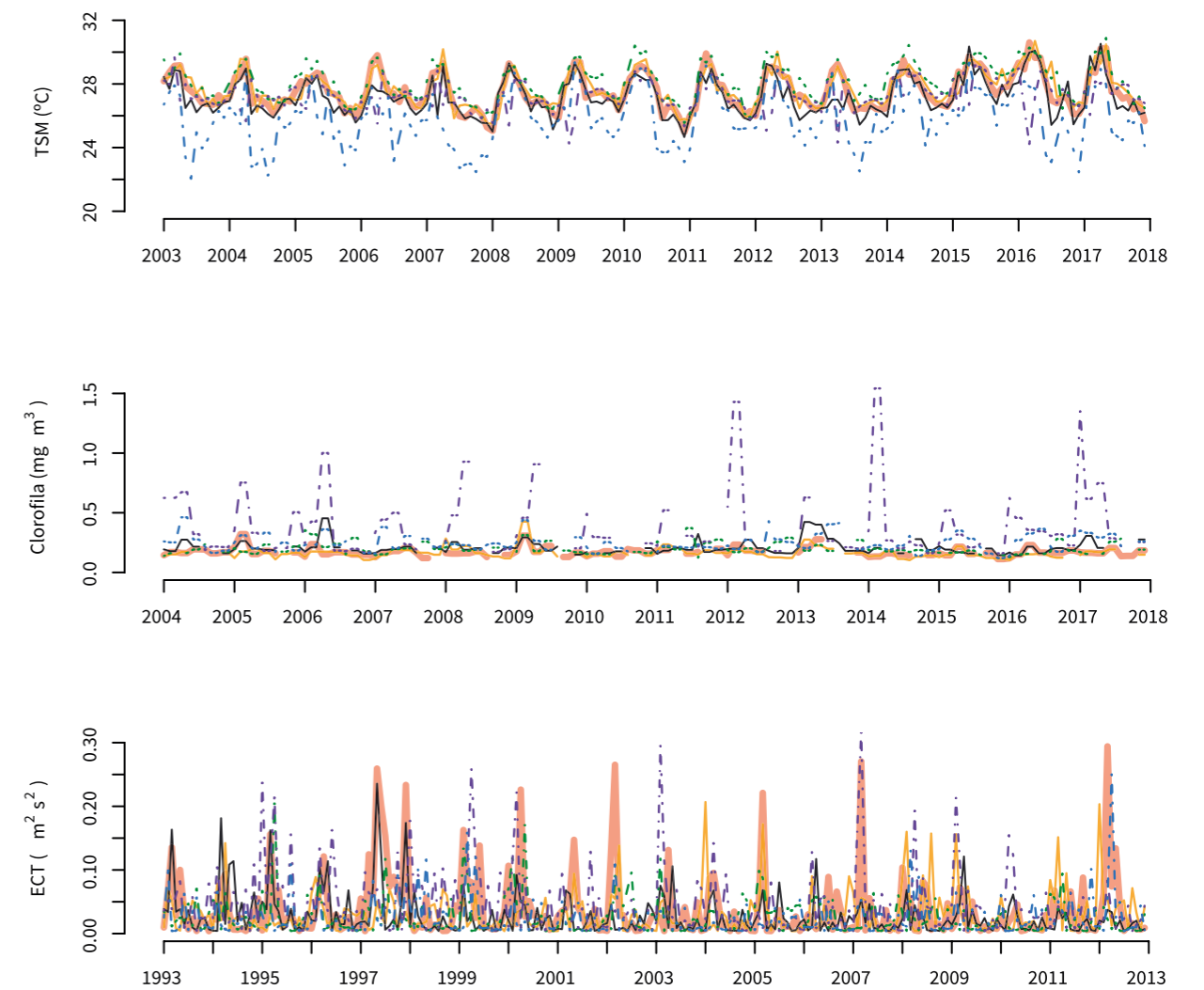


Figura 7 (continuación). Isla del Cocos (Costa Rica), Isla Malpelo (Colombia), y tres puntos dentro del área de estudio de la MigraVía.



La oceanografía en la región de la MCG es altamente variable y dinámica. Sin embargo, la variación observable en la TSM [68], concentración de clorofila [69] y de ECT [70] responde casi al mismo pulso estacional dentro de la MCG como en el PNIC, el norte de la RMG (Darwin y Wolf) y la Isla Malpelo (Figura 7, 8). El promedio regional en la TSM fluctúa entre 27° a 28°C para todos los sitios menos el norte de Galápagos, en el que la TSM promedio es de 25.6°C.

La descomposición analítica de la TSM muestra una clara tendencia de incremento positivo en la temperatura promedio regional para todos los sitios en los últimos 15 años (Mann-Kendall multivariado  $p=0.03$ ; Figura 9). Se puede observar, además, una diferencia muy marcada en la anomalía de TSM para los meses de enero a mayo (cálidos) con los meses de julio a noviembre (fríos; Figura 8). Este patrón mensual es distinto para la Isla de Malpelo, donde las anomalías de TSM frías se extienden desde octubre a abril, y las cálidas de mayo a septiembre.

El promedio regional en la concentración de clorofila fluctúa entre 0.15 a 0.22  $\text{mg m}^{-3}$ , exceptuando la Isla de Malpelo donde el promedio es de 0.35  $\text{mg m}^{-3}$  (Figura 7, 8). A diferencia de la TSM, el patrón de variación en la concentración de clorofila se diferencia significativamente entre cada uno de los sitios. Los valores más bajos en producción de clorofila se encuentran en el área de influencia de la MCG, mientras que Malpelo registra la mayor productividad.

La variación en la producción de clorofila mensual es además mucho más estable y menor para los sitios de la MCG, pero más variable y mayor para la Isla Malpelo (Figura 8). En esta isla se aprecia una mayor producción de clorofila para los meses de febrero a mayo, y menor de junio a diciembre. La descomposición analítica de esta serie tiempo no muestra una

tendencia de cambio interanual en los últimos 15 años (Mann-Kendall multivariado  $p=0.175$ ).

La ECT varía considerablemente para toda la región, y no presenta un patrón claro de correlación entre los sitios evaluados (Figura 7). El promedio regional en la ECT fluctúa entre 0.021 a 0.042  $\text{m}^2\text{s}^{-2}$ . Malpelo y el centro del área de influencia de la MCG son los sitios con mayor energía de turbulencia, mientras la Isla del Coco y el norte de Galápagos presentan los menores valores. La descomposición analítica de esta serie tiempo muestra una ligera pero significativa reducción en la magnitud de la turbulencia regional durante los últimos 15 años (Mann-Kendall multivariado  $p<0.005$ ; Figura 8), particularmente en la Isla del Coco y el este de la MCG. Se observa, además, una clara estacionalidad en la fuerza de la turbulencia del PTE, con mayores valores durante los meses de febrero a abril, y menores durante julio a diciembre (Figura 8).

El análisis de la TSM muestra una clara tendencia de incremento positivo a nivel regional. Los cambios de la TSM pueden generar alteraciones considerables en los parámetros oceanográficos de una región, particularmente en relación de la productividad primaria [71]. Los cambios a gran escala pueden por consiguiente poner en riesgo la resiliencia de ecosistemas enteros incluso dentro de AMP [72]. El PTE y las AMP evaluadas no muestran a la fecha un cambio significativo en la concentración de clorofila, pero si en la ECT.

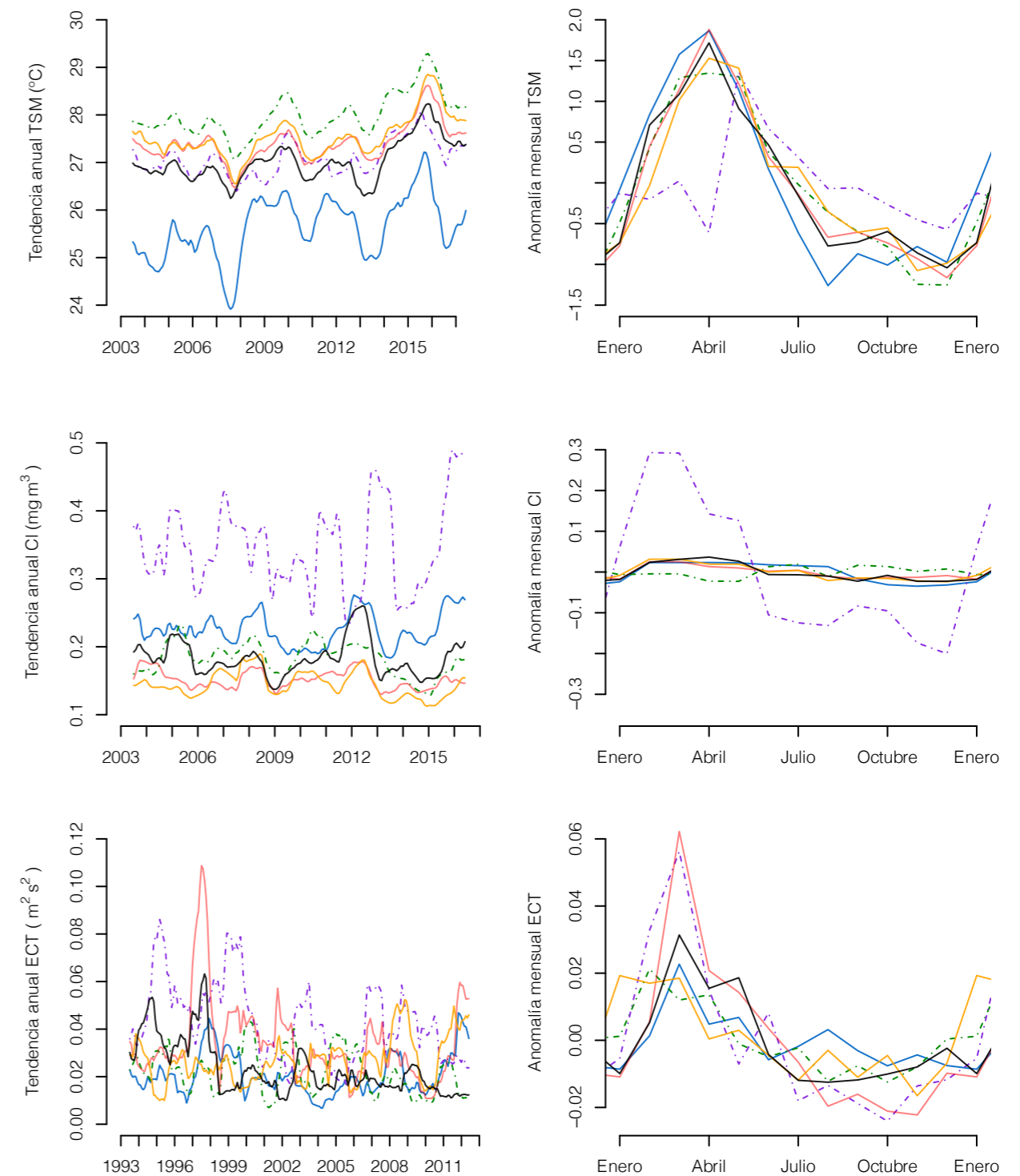


Figura 8. Tendencia interanual (izquierda) y estacionalidad mensual (derecha) de las series de tiempo de temperatura superficial del mar (TSM), concentración de clorofila (CI), y energía cinética de turbulencia (ECT) de los seis sitios mostrados en la Figura 7.

## Aspectos biológicos y ecológicos

### Diversidad

Las características en diversidad y estructura comunitaria diferencian significativamente al PTE de los biomas y bioregiones circundantes. En el PTE se encuentran ecosistemas costeros, oceánicos y abisales con comunidades de origen no solo tropical sino también templado y sub antártico [1]. Más de 5000 especies de invertebrados marinos [6], más de 1000 de peces [7, 8], 30 de mamíferos marinos [9], 123 aves marinas [10], y seis reptiles [11] se han identificado en la región (Tabla 1). Al comparar con los invertebrados marinos, los vertebrados marinos poseen el mayor porcentaje de especies amenazadas. Alrededor del 18% del total de rayas, 34% de tiburones, 66% de reptiles, 16% de mamíferos y un 26% de aves marinas se encuentran en peligro de extinción o en estado vulnerable (de acuerdo a la categorización oficial de la UICN-Lista Roja). Las especies de invertebrados marinos poseen un porcentaje pequeño de especies en peligro de extinción (equinodermos, 0.8%) y ninguna en estado vulnerable; sin embargo, existe aún un número alto de especies no evaluadas de forma sistemática.

El PNIC contiene ambientes insulares, marinos y terrestres, con bahías, islotes, pináculos y arrecifes coralinos que sirven de refugio para especies de aves, peces y mamíferos locales y migratorios [73]. Esta AMP oceánica es el hábitat para alrededor de 514 especies de peces marinos (10% endémicos), de los cuales el 58% son peces bentónicos, y el restante 42% son peces pelágicos y de aguas profundas [74]. Entre los peces con mayor interés turístico están los tiburones punta plateada (*Carcharhinus albimarginatus*), martillo (*Sphyrna lewini*), punta

negra (*Carcharhinus limbatus*), punta blanca de arrecife (*Triaenodon obesus*), tigre (*Galeocerdo cuvier*), raya moteada (*Taeniura meyeni*), raya águila (*Aetobatus narinari*), y ocasionalmente el tiburón ballena (*Rhincodon typus*) y la manta gigante (*Mobula birostris*) [75]. En adición a esto, se han identificado alrededor de 470 especies de moluscos (1,3% endémicas) [76], más de 130 especies de equinodermos (2,4% endémicos; [77]), más de 263 especies de crustáceos (4,9% endémicos) [76], alrededor de 60 especies de algas marinas [78, 79], alrededor de 60 especies de aves marinas locales y migratorias (5% endémicas) [80], y 16 especies de mamíferos marinos [81, 82]. Además, en la Isla del Coco se encuentran alrededor de 83 especies de cnidarios (6.1% endémicos), de los cuales el 48% son corales del grupo Anthozoa (6,4% endémicos) [37, 76]. Entre los organismos coralinos más abundantes están *Porites lobata*, *Psammocora profundacella* y *Pocillopora* spp, las cuales forman los arrecifes de corales más extensos del PTE [37].

La RMG también es una región de alta biodiversidad. Debido a la confluencia de corrientes marinas tanto frías como cálidas, así como la presencia de la zona de afloramiento de Cromwell, esta región comparte especies de origen tanto panámico, como indo-pacífico y austral [83]. De hecho, la riqueza de hábitats permite a Galápagos albergar a las comunidades de peces funcionalmente más diversas del planeta [12]. Los estudios más recientes reportan un total de 565 especies de peces costeros y costero pelágicos (50km cerca de la costa), de los que 13.6% son endémicos del archipiélago, y

un 17.8% son endémicos de la región Coco-Galápagos y Coco-Galápagos-Malpelo [84]. Dentro de este grupo se pueden encontrar 33 especies de tiburones y 20 especies de rayas, de los cuales 17 tiburones y seis rayas son de distribución circumtropical; nueve tiburones y seis rayas son especies del Pacífico Oriental; tres tiburones y tres rayas son especies de Perú y Chile; y dos tiburones y tres rayas posiblemente son endémicas de Galápagos o de la región Coco-Galápagos [85]. Dentro de la RMG se han reportado un total de 26 especies de mamíferos marinos (7% endémicos), seis especies de reptiles marinos (1 especie endémica), y aproximadamente 88

especies de aves marinas (6.8% endémicas) [38]. En lo que respecta a invertebrados marinos, se estima que en la RMG habitan alrededor de 4500 especies, de las cuales 435 son especies de cnidarios, 790 especies son especies de crustáceos, alrededor de 400 son especies de equinodermos, 1400 son especies de moluscos, y alrededor de 900 son especies de algas [86].

Actualmente no existe información que permita conocer la totalidad de especies que habitan dentro de la región de la MCG.

Tabla 1. Porcentaje aproximado del número de especies totales presentes en PTE cuyo estado de conservación ha sido evaluado por la IUCN.

Grupo Funcional	En peligro (%)	Vulnerable (%)	Casi amenazado (%)	Deficiente de datos (%)	Preocupación menor (%)	No evaluado (%)
Equinodermos	0.8	0.0	0.0	3.1	5.3	90.8
Porífera	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Anélidos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Cnidaria	0.0	0.0	4.5	0.0	18.2	77.3
Moluscos	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	90.5
Crustáceos	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	97.3
Quimeras	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Rayas	8.3	10.4	14.6	58.3	6.3	2.1
Tiburones	6.3	28.1	23.4	31.3	9.4	1.6
Peces óseos	0.6	4.1	1.6	6.7	67.3	19.7
Reptiles	50.0	33.3	0.0	0.0	16.7	0.0
Mamíferos	10.0	6.7	0.0	43.3	40.0	0.0
Aves	11.4	15.4	11.4	2.4	59.3	0.0

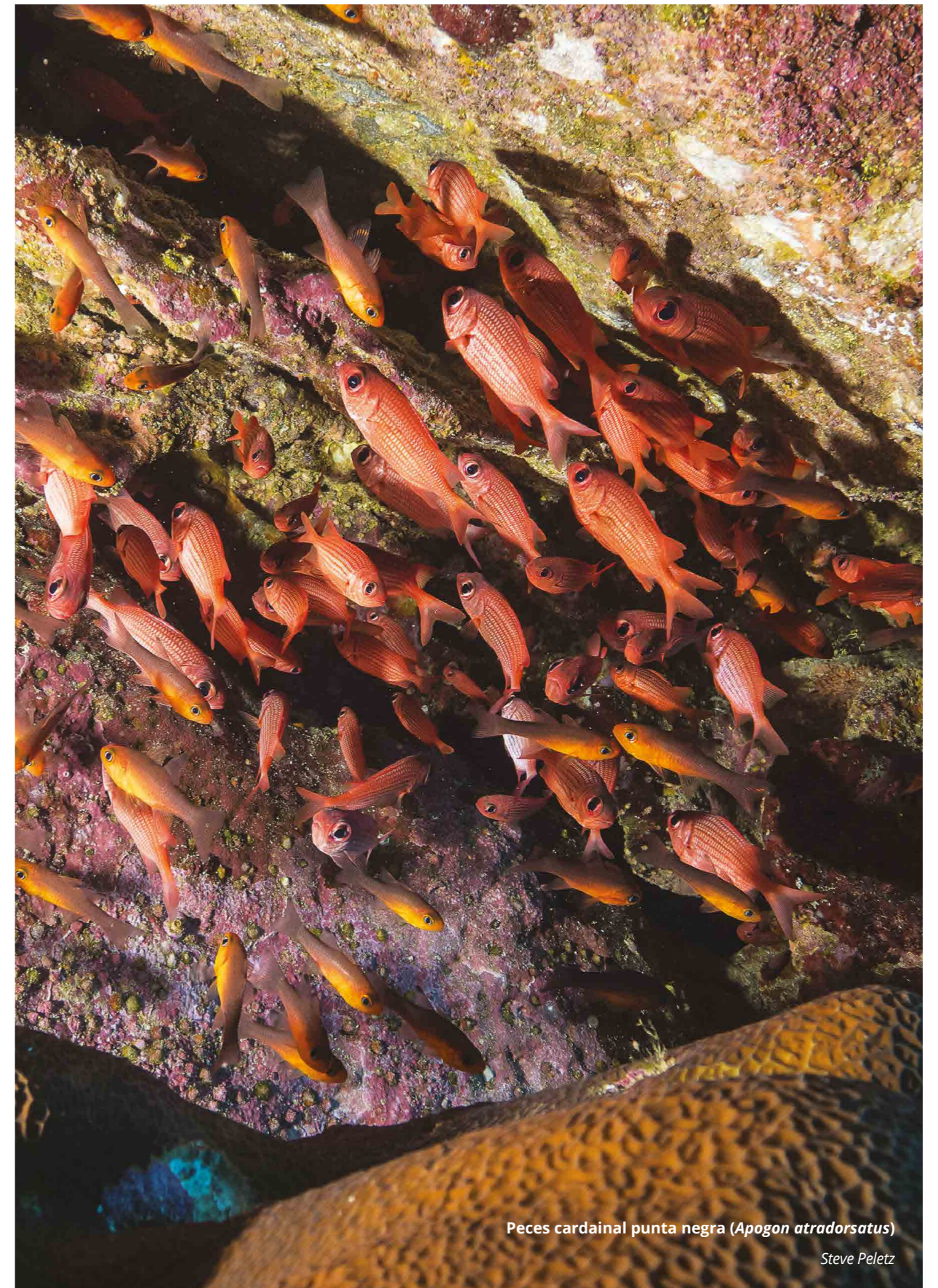
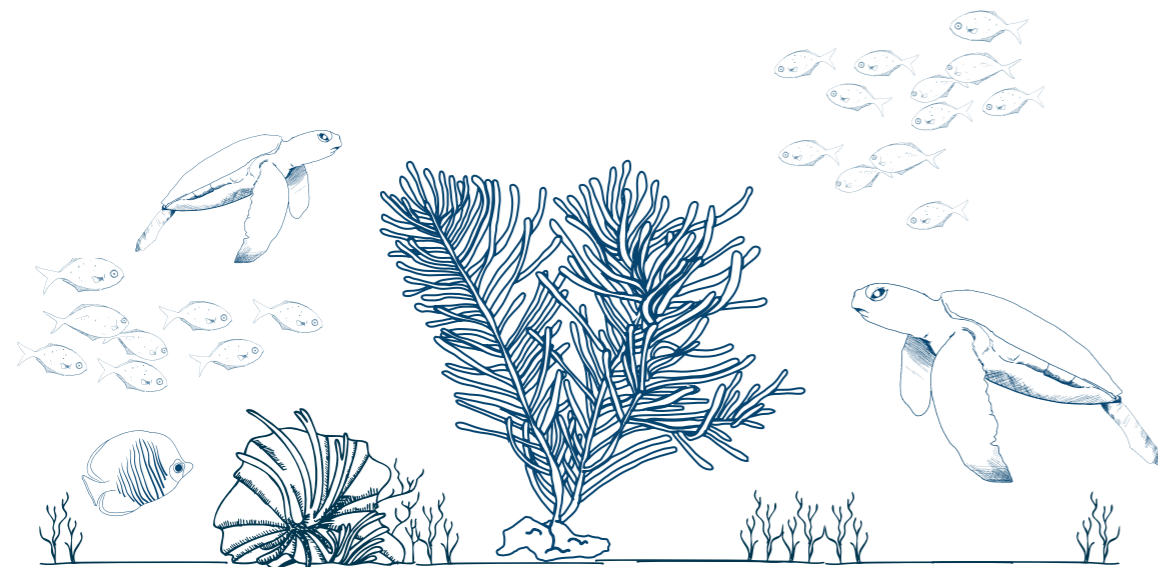
## Estructura comunitaria

Las comunidades bentónicas están conformadas por las comunidades de plantas y animales que viven asociados con el fondo, ya sea semi-enterrados, fijos o con cortos desplazamiento lejos del fondo [87]. Estas comunidades son muy variadas dependiendo del tipo de sustrato (rocoso o arenoso) y la profundidad en que se desenvuelvan [87]. Las comunidades de arrecifes rocosos y coralinos son consideradas como áreas de mayor productividad frente a las comunidades arenosas, principalmente porque la complejidad estructural del sustrato puede albergar a una mayor riqueza de especies [88].

Existe poca información disponible que permita analizar la estructura comunitaria bentónica y pelágica dentro de la PTE, particularmente dentro de la MCG. De acuerdo a los datos colectados por el Reef Fish Life Surveys [89], las comunidades de peces que habitan las zonas de arrecife continentales y oceánicas del PTE están dominadas principalmente por peces damisela (*Chromis atrilobata*), viejas arcoíris (*Thalassoma lucassanum*), cardenales punta negra (*Apogon atradorsatus*), pargos rollizos (*Paranthias colonus*), y viejas camaleón (*Halichoeres dispilus*; Figura 9). La abundancia de estas cinco especies representa el 46%

del total cuantificado para varias localidades submareales alrededor de la Isla del Coco, las Islas Galápagos, la Isla Malpelo, y sitios de la costa pacífica de Colombia, Costa Rica, Ecuador y Panamá.

Sin embargo, al tomar en cuenta su ubicación geográfica (áreas continentales y oceánicas) se observan diferencias significativas en la estructura comunitaria de las comunidades de peces (ANOSIM  $p=0.001$ ; Figura 10). Todos los sitios evaluados en la zona continental presentan una estructura comunitaria dominada por peces damisela (*Chromis atrilobata*), viejas arcoíris (*Thalassoma lucassanum*), viejas camaleón (*Halichoeres dispilus*), clupeidos (sardinas y arenques), y los roncadores (*Haemulon maculicauda*), los cuales representan el 54% del total de la abundancia cuantificada. Al contrario, los sitios evaluados en los ecosistemas oceánicos (Coco, Malpelo y Galápagos) están dominados principalmente por los cardenales punta negra (*Apogon atradorsatus*), pargos rollizos (*Paranthias colonus*), viejas arcoíris (*Thalassoma lucassanum*), pargos de Jordán (*Lutjanus jordanis*) y ojones (*Xenocys jessiae*), totalizando el 52.4% del total de la abundancia cuantificada.



Peces cardinal punta negra (*Apogon atradorsatus*)

Steve Peletz

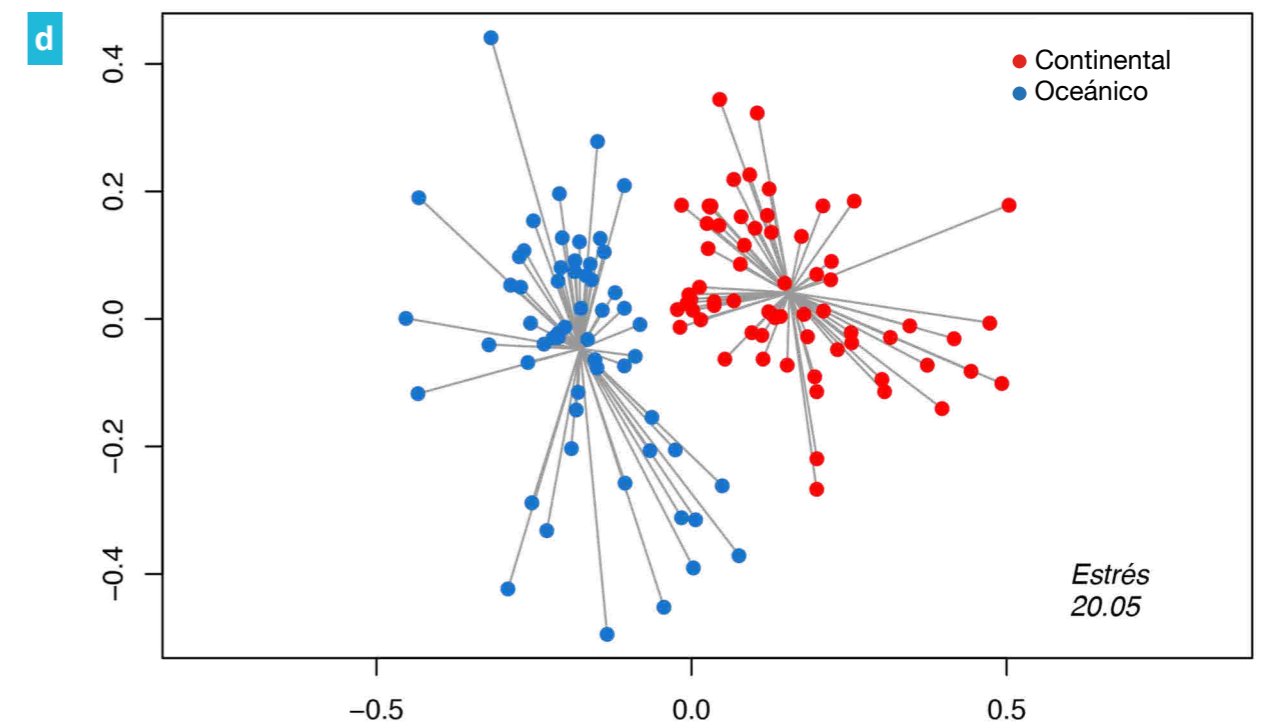
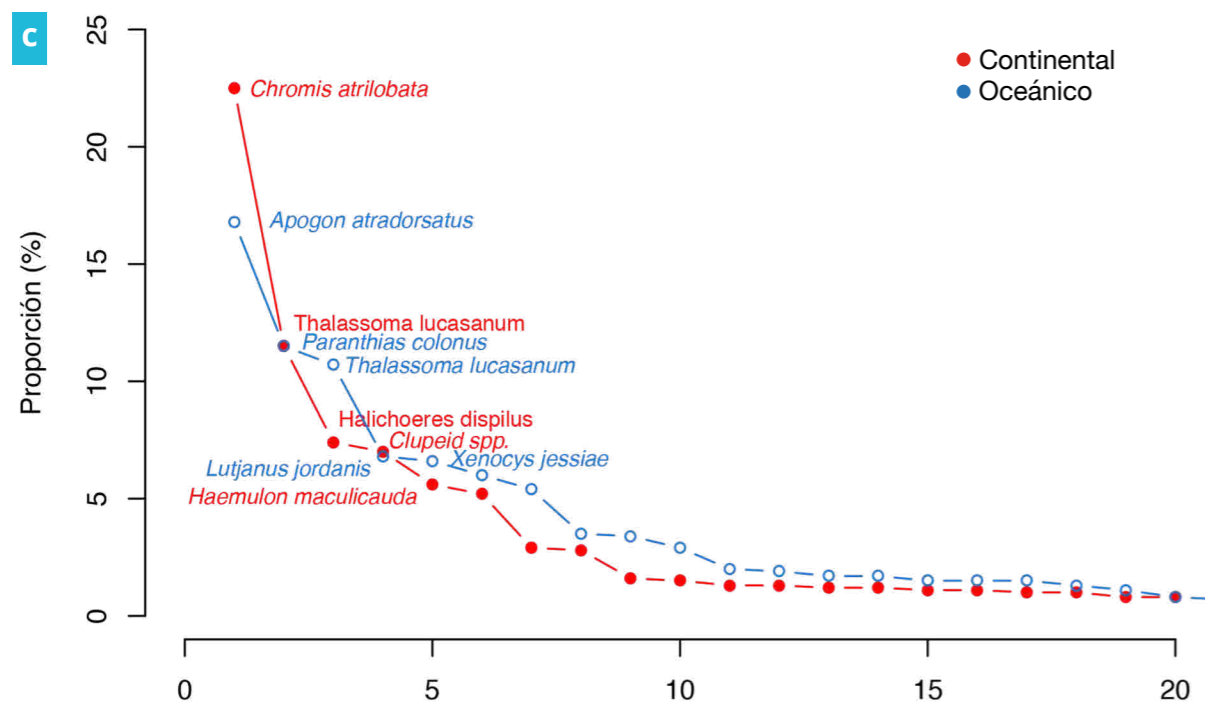
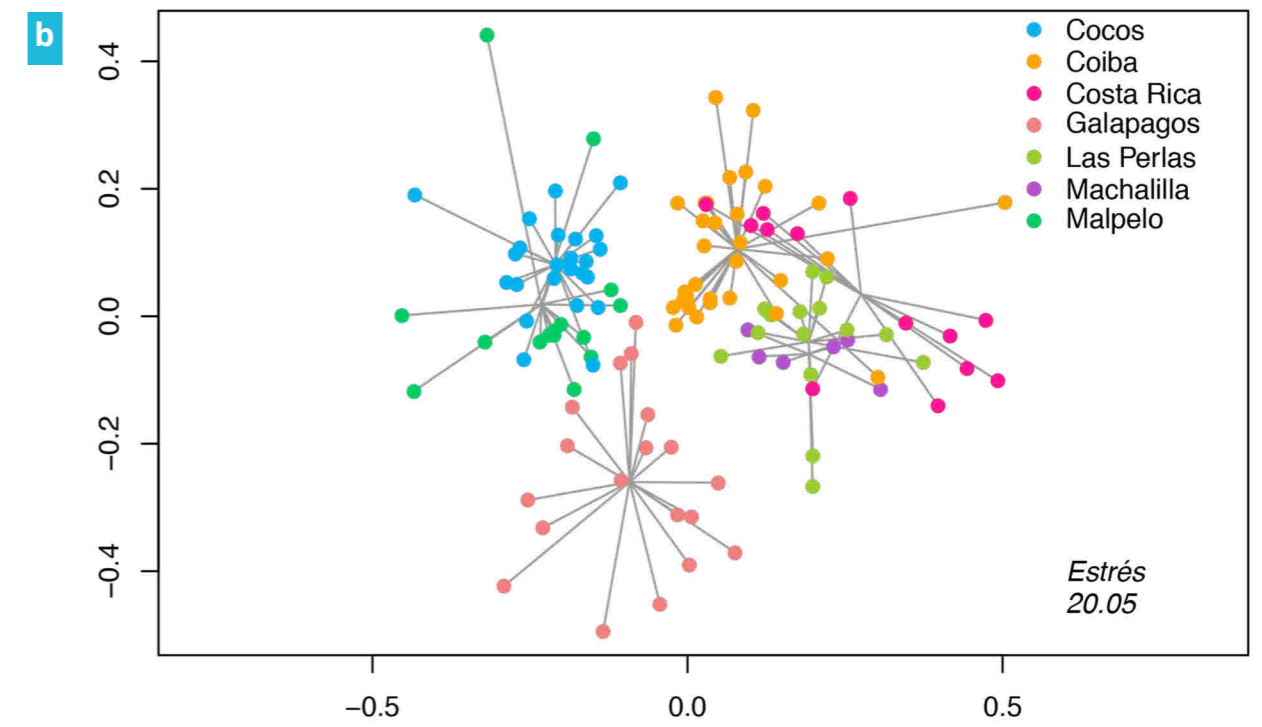
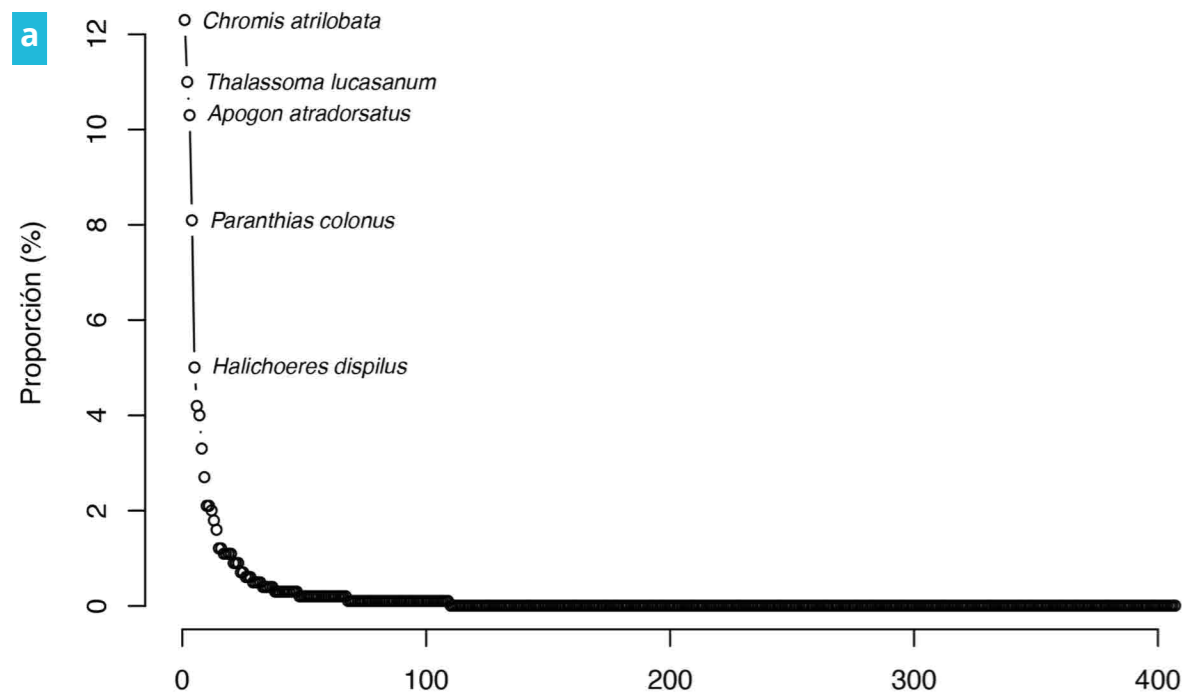


Figura 9. a) Dominancia de peces de arrecife en siete sitios estudiados de la región del CMAR; b) Similitud en la estructura comunitaria entre los sitios evaluados; c) Comparación de la dominancia de peces de arrecife según la ubicación geográfica de cada sitio;

Figura 9 (continuación). d) Similitud en la estructura comunitaria según la ubicación geográfica de los sitios evaluados. Los datos analizados provienen del Proyecto Reef Fish Life Survey [89].

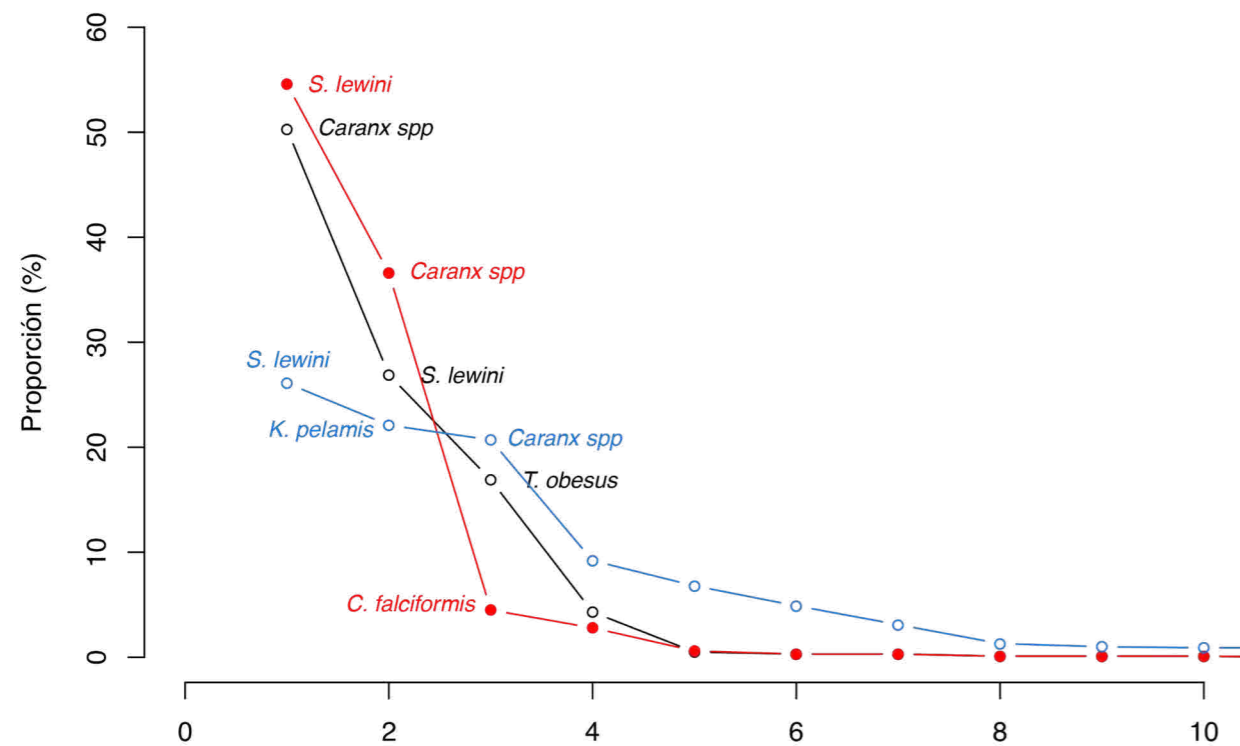


Figura 10. Contribución a la abundancia anual de las especies que se observan suspendidas en la columna de agua en los sitios de buceo de la Isla del Coco (negro), Malpelo (rojo) y las Islas del norte de Galápagos (Darwin y Wolf; azul). Fuente: Cocos (Undersea Hunter), Malpelo (Fundación Malpelo), Galápagos [90].

En términos de las especies de megafauna, se ha estudiado la abundancia relativa (número de encuentros) de las especies que se mueven en la columna de agua cerca de los arrecifes tanto la Isla del Coco como las islas de Darwin y Wolf (norte de la RMG), y Malpelo [75, 85, 91]. Los resultados de estos estudios muestran una elevada similitud en la composición de especies, situación mediada principalmente por la abundancia de tiburones martillo, jureles (*Caranx* spp), tiburones sedosos y barriletes (*Euthynnus lineatus*; Figura 10). Otras especies de fauna marina que son frecuentes en esta región son el tiburón galápagos (*Carcharhinus galapagensis*), el tiburón ballena (*Rhincodon typus*), las tortugas marinas, los atunes aleta amarilla y bonitos, así como los barriletes y macarelas arco iris. La abundancia de algunas de estas especies es significativamente inferior a las agregaciones de tiburones martillo y jureles (test-t  $p < 0.05$ ), pero son

componentes importantes del paisaje marino de las tres AMP.

La abundancia del tiburón martillo (*Sphyrna lewini*) representa una de las características más notables de la región. En las tres AMP se pueden observar grandes cardúmenes agregando alrededor de las islas oceánicas y montes submarinos, más de las veces compuestas por hembras de gran tamaño y en números que van de 70 a 90 individuos [75, 85, 91]. Un estudio reciente ha estimado que pueden observarse entre 400 a 600 individuos únicos por buceo, y alrededor de 3000 individuos únicos por día en los sitios de agregación de esta especie en la RMG [90]. A pesar de que otros estudios también reportan una elevada abundancia de esta especie en estas tres AMP [92], se ha sugerido que el tamaño del hábitat limita la cantidad de individuos que puedan coexistir en un mismo momento en islas y montes submarinos oceánicos [90].

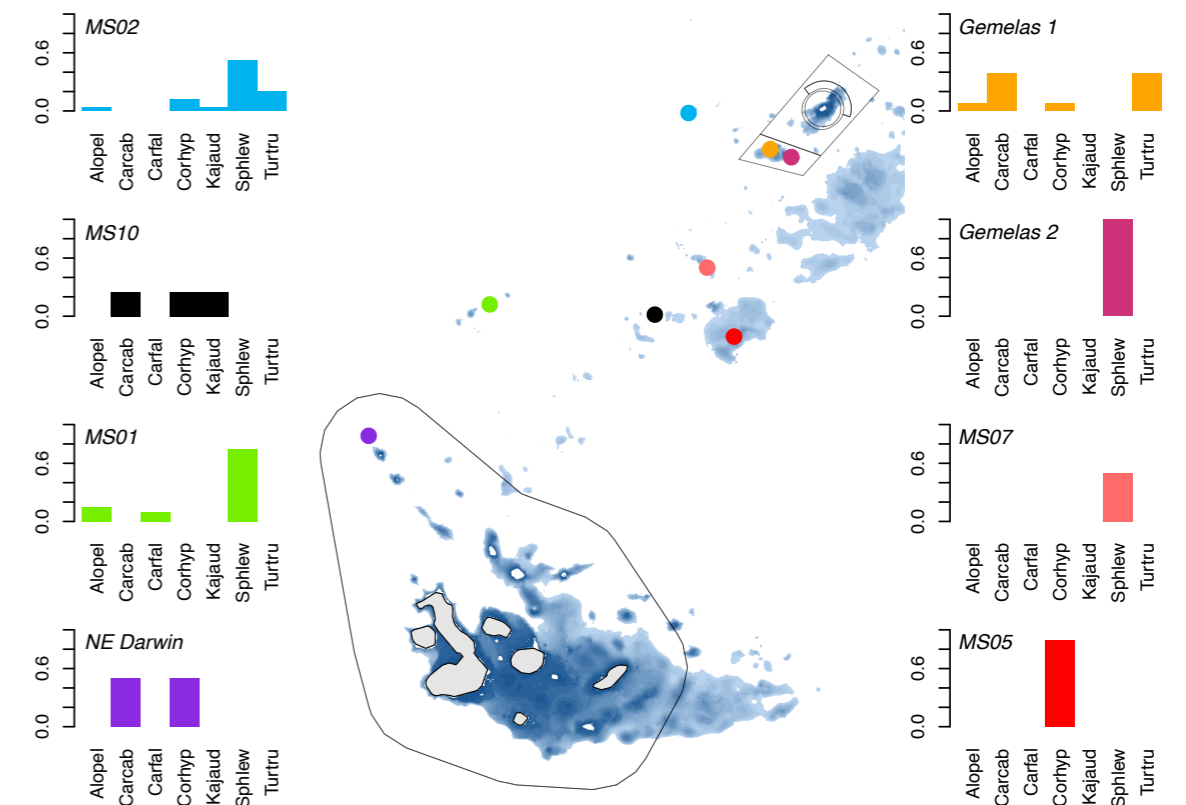


Figura 11. Frecuencia de ocurrencia especies de megafauna observadas durante el viaje de muestreo a ocho montes submarinos de la MCG. Alopel, *Alopias pelagicus*; Carcab, *Caranx caballus*; Carfal, *Carcharhinus falciformis*; Corhypp, *Coryphaena hippurus*; Kajaud, *Kajikia audax*; Sphlew, *Sphyrna lewini*; Turtru, *Tursiops truncatus*. Fuente: Hearn A./Espinoza M. (no publicado).

La información revisada en esta sección sugiere que la estructura comunitaria de la MCG debería ser muy similar a la observada tanto dentro del PNIC, RMG y el SFFM. Sin embargo, no existe información suficiente para evaluar la estructura comunitaria de la MCG. La única información disponible a la fecha se basa en resultados preliminares de un estudio con cámaras submarinas operadas con carnada realizado recientemente en la región [93]. Este viaje fue realizado para cuantificar la abundancia de especies pelágicas y bento-pelágicas en varios de los montes submarinos de la MCG presentados en la Figura 6. El tiburón martillo (*S. lewini*) y el dorado (*Coryphaena hippurus*) fueron las especies más frecuentes en los montes submarinos muestreados (Figura 11). Además, se registraron un máximo de 28 y 12 individuos de tiburón martillo y dorado, respectivamente, ocurriendo al mismo momento en una sola cámara. Estas especies fueron así las más abundantes dentro del muestreo luego del jurel

verde (*Caranx caballus*), del que se observaron hasta 500 individuos ocurriendo en una sola cámara y en un mismo sitio.

En la región del PTE también existen comunidades de fondos profundos (abisales), algunas desconectadas casi en su totalidad con los ambientes de la superficie. El área de influencia de la MCG aloja justo en el lado sur una de las comunidades hidrotermales más representativas del planeta: las fumarolas hidrotermales de Galápagos [94]. Estas comunidades se encuentran a casi 2500 m de profundidad y se caracterizan por tener su propio ciclo de productividad primaria [95], que les permite tener aislamiento biogeoquímico con el resto del océano. Se caracterizan, además, por tener un elevado nivel de endemismo tanto en especies de invertebrados como de vertebrados marinos [96]. Estas zonas son también lugares de importancia para la incubación de especies de rayas de profundidad [97].

## Distribución y preferencias ambientales

Los hábitos de vida de las comunidades pelágicas son altamente influenciados por los cambios en las condiciones oceanográficas (e.g. los flujos de temperatura y oxígeno disuelto), particularmente por las corrientes marinas y ondas de propagación oceánicas [98-100]. Esta situación implica que las

especies marinas migratorias se distribuyen de manera heterogénea de acuerdo a sus preferencias fisiológicas (e.g. temperatura, salinidad [98, 101, 102]), biológicas (e.g. reproducción y alimentación [103, 104]) o ecológicas (e.g. presencia de depredadores [105]).

No existe información detallada sobre el comportamiento espacial de todas las especies de vertebrados marinos presentes en la región, ni tampoco información detallada del efecto de la variabilidad ambiental sobre ellas. Sin embargo, información recabada en los últimos

20 años sobre las rutas migratorias de peces cartilaginosos, peces óseos y reptiles, nos permite dilucidar las relaciones que existen entre los ecosistemas marinos del continente con las AMP oceánicas, particularmente la región de la MCG (Tabla 2).

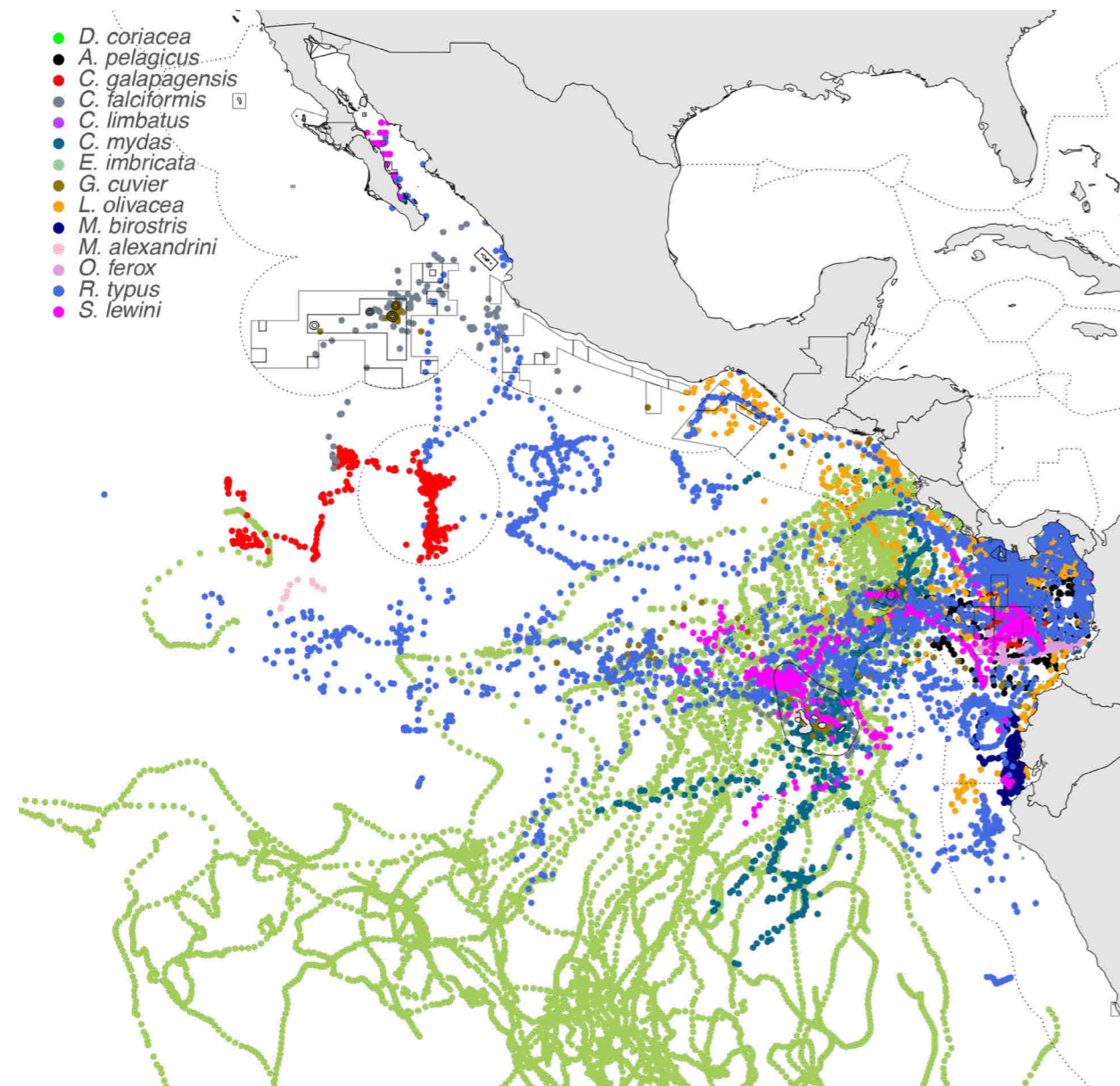


Figura 12. Rastreo satelital de los movimientos de nueve especies de elasmobranquios, dos peces óseos y cuatro de tortugas marinas a lo largo de PTE.

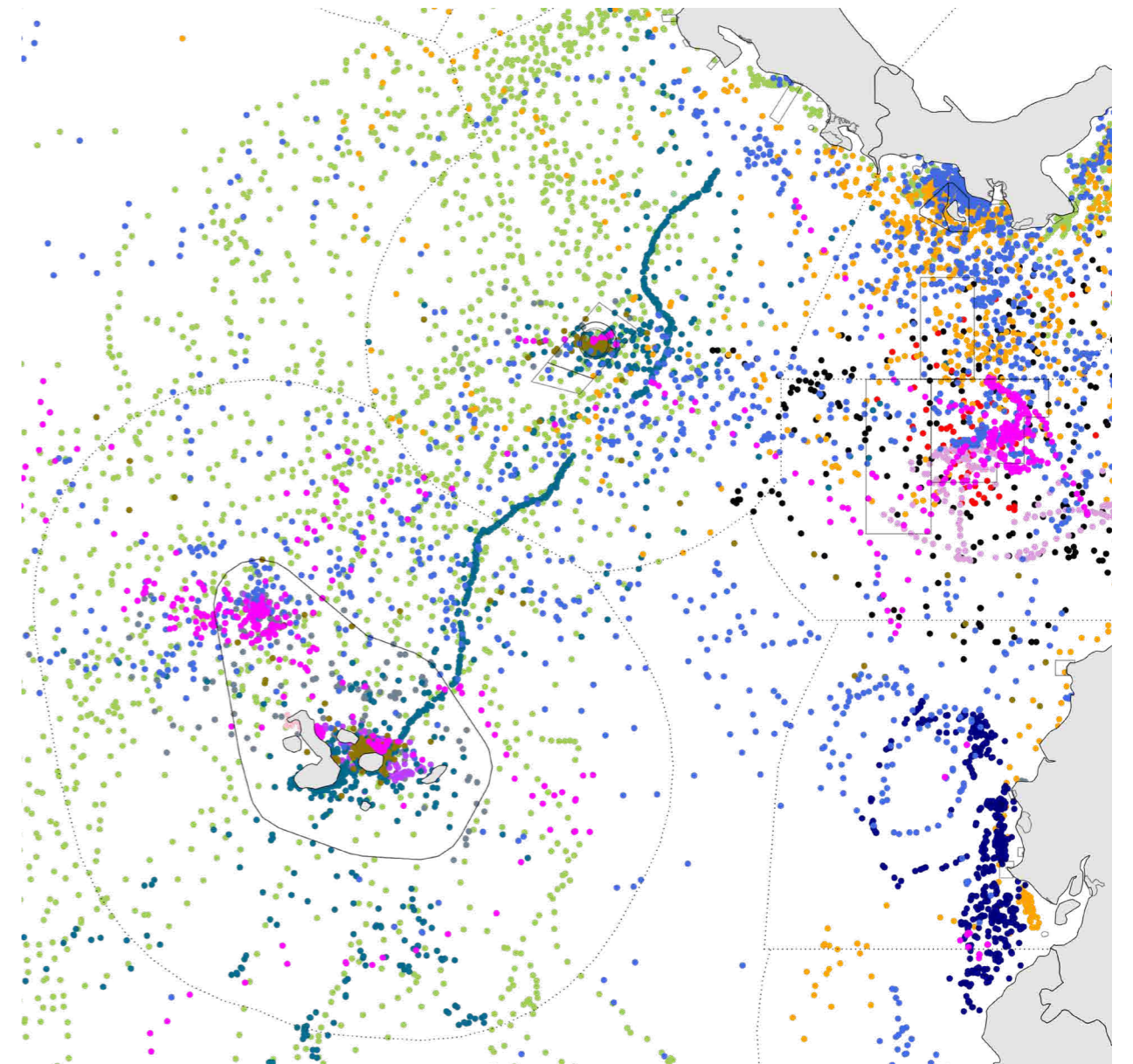


Figura 12 (continuación). Rastreo satelital de los movimientos de las especies de elasmobranquios, dos peces óseos y cuatro de tortugas marinas a lo largo de la región centro-sur del PTE.

Tabla 2. Especies estudiadas con técnicas de telemetría satelital en la región del PTE. Datos del marlín rayado pertenecen a Domeier [106].

No	Especie	Nombre común	Estado de conservación	Ind. rastreados	Distribución mundial	Conectividad regional
<b>Peces óseos</b>						
1	<i>Kajikia audax</i>	Marlín rayado	CA	48	Tropical y sub-tropical, pelágico	Galápagos, Coco y Malpelo [106]
2	<i>Mola alexandrini</i>	Pez luna del sur	NE	2	Tropical y sub-tropical, pelágico	Galápagos y Pacífico central [107, 108]
<b>Peces cartilagosos</b>						
3	<i>Alopias pelagicus</i>	Tiburón zorro	VU	7	Circumtropical, pelágica	Malpelo, y costa de Colombia (Fundación Malpelo, no publicado)
4	<i>Carcharhinus falciformis</i>	Tiburón sedoso	VU	28	Circumtropical, costero-pelágico	Clipperton, Galápagos y Malpelo [85, 109]
5	<i>Carcharhin galapagensis</i>	Tiburón galápagos	CA	8	Circumtropical, insular oceánico	Revillagigedo, Clipperton y Galápagos (Ketchum, no publicado; [109])
6	<i>Carcharhinus limbatus</i>	Tiburón punta negra	CA	19	Circumtropical, costero	Interno a cada AMP [90]
7	<i>Galeocerdo cuvier</i>	Tiburón tigre	CA	12	Circumtropical, costero	Galápagos, Coco, costa de Ecuador y Colombia [85, 110]
8	<i>Mobula birostris</i>	Manta gigante	VU	3	Circumtropical	Perú, Ecuador y Galápagos (Peñaherrera-Palma, no publicado; [86])
9	<i>Odontaspis ferox</i>	Tiburón solrayo	VU	5	Circumtropical, a profundidades de 200 a 1000m.	Malpelo [111]
10	<i>Rhincodon typus</i>	Tiburón ballena	EP	112	Circumtropical	Perú a Panamá, AMP oceánicas (Guzmán, no publicado, [112, 113])
11	<i>Sphyrna lewini</i>	Tiburón martillo	EP	29	Circumtropical, costero-pelágico	Coco, Malpelo, Galápagos y costa de Colombia [90, 114, 115]
<b>Tortugas marinas</b>						
12	<i>Chelonia mydas</i>	Tortuga marina verde	EP	35	Circumtropical	Galápagos, Coco, costa de Ecuador y Costa Rica (Vallejo, no publicado; [116, 117])
13	<i>Dermochelys coriacea</i>	Tortuga laúd	EPC	46	Circumtropical	Costa de Costa Rica, Coco, Galápagos, zona del giro anticiclónico sur [33]
14	<i>Eretmochelys imbricata</i>	Tortuga carey	EPC	3	Circumtropical	Restringido a cada zona (Arauz, no publicado; [118, 119])
15	<i>Lepidochelys olivacea</i>	Tortuga golfina	VU	32	Circumtropical	Coco, Malpelo, y costa de Nicaragua hasta Panamá [61]

La distribución espacial de un total de 15 especies se ha evaluado dado el estado de amenaza que presentan sus poblaciones en el ámbito regional y mundial. Sus movimientos

fueron rastreados usando dispositivos satelitales mientras migraban a lo largo del PTE (Figura 12). A partir de esto, se analizó la densidad de las posiciones geográficas

de cada individuo para determinar el área de distribución de cada especie (mediante análisis kernel [120]), y determinar las posibles conexiones entre las diversas AMP, y con las regiones continentales del PTE (Figura 13). Los resultados de estos análisis muestran que la extensión de los movimientos de estas especies pueden sobrepasar el área de protección circunscrita no solo por las reservas, pero incluso las ZEE de cada país. La amplitud de los movimientos ocurre indistintamente de si los individuos fueron marcados dentro o fuera de cada AMP. Los principales resultados de estos estudios para cada especie muestran que:

## 1 Marlín rayado (*Kajikia audax*)

Es una especie pelágica casi amenazada que habita en todos los mares tropicales y subtropicales del mundo [8]. Estudios realizados en todo el Pacífico muestran que esta especie presenta fidelidad regional, además de un grado importante de temporalidad en la distribución de sus movimientos [106]. En la región del CMAR, individuos marcados en Galápagos se movilizan alrededor del este y norte de la RMG, particularmente en el área de influencia de la MCG (Figura 13). En esta zona, los individuos rastreados prefirieron aguas con temperaturas promedio entre 22° y 25°C, y profundidades promedio menores a los 40 m [121].

## 2 Pez luna (*Mola alexandrini*)

Especie pelágica que se distribuye en todos los mares tropicales y templados del mundo [122]. Sus preferencias de hábitat son bastante amplias, encontrándose a temperaturas que varían desde los 9° a 22°C, y a profundidades promedio menores a 200 m [123]. Individuos marcados en el oeste de Galápagos se han observado aprovechando las zonas del frente ecuatorial desde la RMG hacia el Pacífico Central (Figura 13), atravesando aguas con TSM de 20° a 24°C.

## 3 Tiburón zorro pelágico (*Alopias pelagicus*)

Se encuentra en estado de conservación vulnerable a lo largo de su distribución mundial tropical y subtropical [124]. Las poblaciones que habitan el PTE han sido determinadas como unidades evolutivas genéticamente separadas de las poblaciones del Pacífico Oeste [125]. Esta especie habita las zonas pelágicas preferentemente a profundidades promedio de 150 m. Su movilidad dentro del PTE solo ha sido evaluada en el Pacífico colombiano, y ha mostrado movimientos amplios que se extienden desde la costa colombiana hasta casi llegar al PNIC (Fundación Malpelo, no publicado; Figura 13).

## 4 Tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*)

Es una especie pelágica, también catalogada como vulnerable, y es considerada históricamente como de las más comunes en los mares tropicales y sub-tropicales del mundo [126]. Al igual que otras especies migratorias, las poblaciones del PTE de esta especie muestran un aislamiento genético significativo con relación a otras partes del Pacífico y del Índico [127]. Dentro del PTE se ha confirmado la conectividad entre las poblaciones que habitan las islas de Clipperton y Galápagos (Lara F, no publicado), así como movimientos amplios que cubren toda la región del MCG hasta la isla Malpelo (Hearn A., no publicado; Figura 13).

## 5 Tiburón galápagos (*C. galapagensis*)

Se encuentra casi amenazado, habita en zonas costero-pelágicas de mares tropicales de todos los océanos, particularmente alrededor de archipiélagos y montes submarinos costeros y oceánicos [128]. Esta especie reporta una fuerte diferenciación genética entre las poblaciones del PTE con el resto del Pacífico [129]. Los movimientos estudiados en la costa del Pacífico

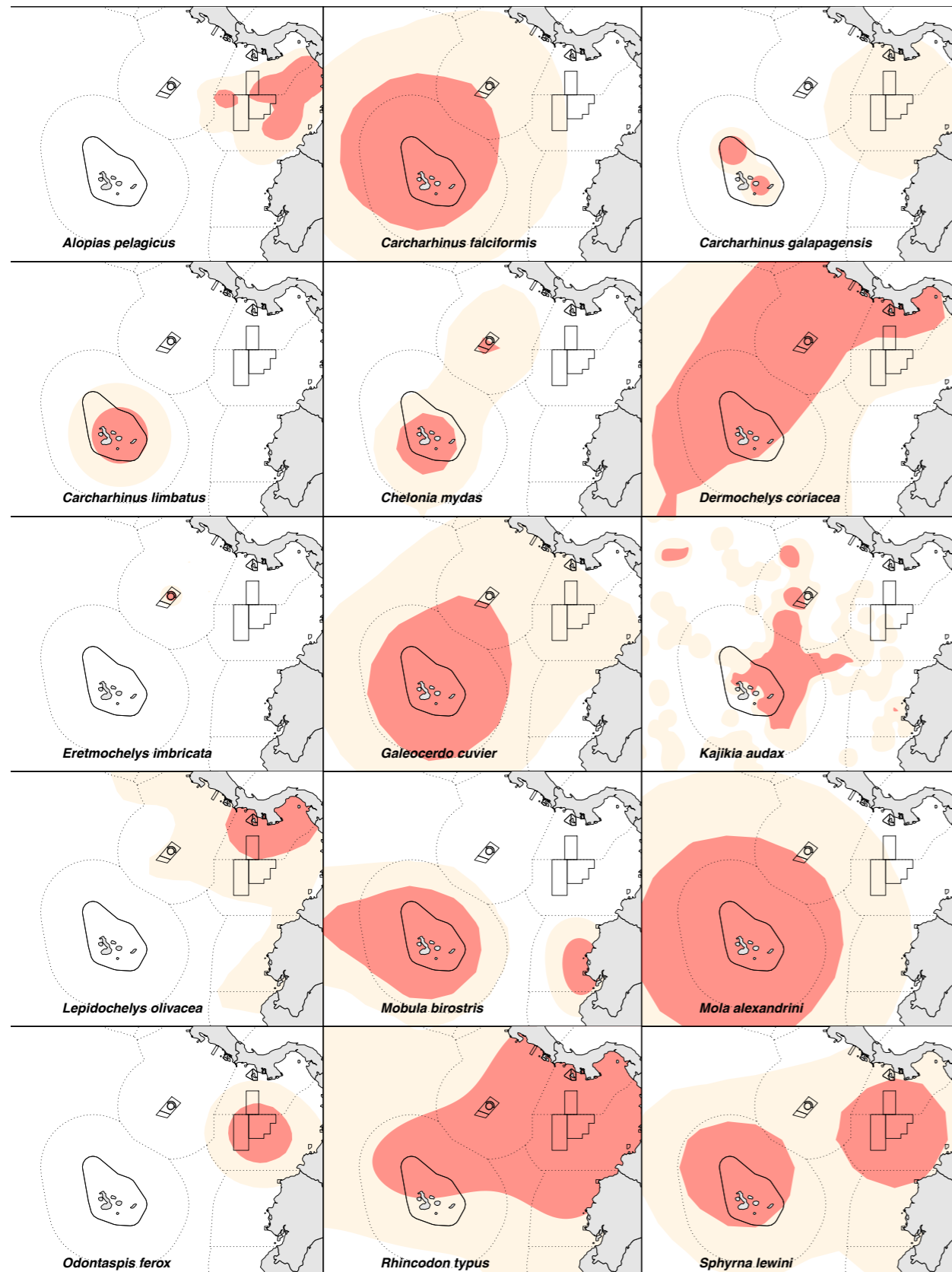


Figura 13. Área de distribución para cada una de las nueve especies de elasmobranquios, dos peces óseos y cuatro especies de tortugas marinas de las que se tiene datos dentro del PTE.

colombiano y en la RMG son en su mayoría restringidos (Hearn A., no publicado; Figura 13); sin embargo, recientes hallazgos muestran conectividad desde Revillagigedo y Clipperton hasta Galápagos (Lara F., en preparación).

## 6 Tiburón punta negra (*C. limbatus*)

Es una especie casi amenazada que habita en todos los mares tropicales del mundo, particularmente asociado a zonas costeras bentónicas y montes submarinos [128]. Esta especie no presenta una diferenciación genética entre las poblaciones de los océanos Pacífico e Índico [130]. Los movimientos de esta especie en el PTE solo han sido evaluados dentro de la RMG, reportándose una distribución en su mayoría dentro de los límites de la RMG (Figura 13), y con preferencia a aguas con TSM promedio de 25.6°C y profundidades menores a 140 m [90].

## 7 Tiburón tigre (*Galeocerdo cuvier*)

Es una especie casi amenazada que habita en zonas costero-pelágicas de todos los mares tropicales del mundo [128], particularmente en aguas con temperaturas desde 20°C a 26°C [131]. En el PTE esta especie se mueve en las AMP oceánicas de Coco y Galápagos (en la región del MCG) hasta áreas de la costa de Ecuador y Colombia ([110]; Figura 13).

## 8 Manta gigante (*Mobula birostris*)

Es una especie costero pelágica, actualmente catalogada como vulnerable, que habita en los mares tropicales y subtropicales del mundo [132]. Aunque esta especie puede migrar grandes distancias, su distribución es en su mayoría restringida, y responde más a cambios en las temporadas climáticas y a segregación por tallas [133]. No existen estudios disponibles en la región del MCG o sus alrededores. Estudios en Isla de la Plata (Ecuador) muestran movimientos restringidos para la zona de la costa continental de Ecuador y Perú (Peñaherrera C, no publicado; Figura

13), pero con capacidad de moverse hasta el noroeste de la RMG [85].

## 9 Tiburón solrayo (*Odontaspis ferox*)

Es una especie categorizada como vulnerable que habita por lo general aguas profundas de entre 100 a 800 m [128]. En el PTE esta especie está registrada para la Isla del Coco [134], la Isla Malpelo [135], las Islas Galápagos [136], y la costa del Ecuador [137]. Aunque se desconoce mucho sobre las preferencias de hábitat de esta especie, el tiburón solrayo solo se ha observado en aguas someras (~15 m) cuando las condiciones del agua son relativamente frías (14° - 18°C) [135, 136]. La distribución de la especie tanto en el PTE como a nivel mundial es poco conocida [135]. El único estudio de comportamiento muestra a individuos marcados en la Isla Malpelo moverse con dirección hacia la costa continental de Colombia y regresar de vuelta a la isla ([111]; Figura 13).

## 10 Tiburón ballena (*Rhincodon typus*)

Ha sido recientemente catalogado como en peligro de extinción [138]. Esta especie habita en todos los mares tropicales, donde se cree forma una sola población a nivel mundial [139]. Los movimientos de hembras adultas, estudiadas en Galápagos, se extienden desde Perú hasta la región ecuatorial del Pacífico central [112], donde siguen los frentes térmicos oceánicos del sur del PTE ([113]; Figura 13). Los individuos juveniles y sub-adultos marcados en Panamá muestran una clara conectividad regional con Coco, Malpelo y Galápagos siguiendo zonas de alta ECT (Guzmán H, no publicado; Figura 13).

## 11 Tiburón martillo (*Sphyrna lewini*)

Está en peligro de extinción a lo largo de toda su distribución tropical mundial [140]. Esta especie agrega en islas y montes submarinos oceánicos [128] prefiriendo zonas con temperaturas entre 22°C a 25°C, y profundidades menores a 100m [90, 141]. Las poblaciones que habitan



en el PTE están genéticamente conectadas debido a las migraciones principalmente de machos [142]; sin embargo, el flujo genético es relativamente bajo [143]. Los estudios de conectividad muestran que estas especies se mueve preferentemente entre las AMP oceánicas de Coco, Galápagos e Isla Malpelo, particularmente en la región del MCG ([32, 114]; Figura 13), Además, se aprecia un efecto importante de las temporadas en los movimientos de esta especie, con un área de distribución concentrados en las AMP durante los meses de aguas frías, pero amplia fuera de las AMP durante los meses de aguas cálidas [90].

## 12 Tortuga verde

(*Chelonia mydas*)

Está catalogada como en peligro de extinción [144]. Esta especie habita en las zonas costeras y pelágicas de todos los mares tropicales; sin embargo, presenta diferencias genéticas significativas entre las poblaciones del Pacífico con las del Índico y Atlántico [145]. En el PTE, esta especie muestra movimientos amplios desde Costa Rica hasta el giro del Pacífico sur [116], con una clara residencia y conectividad en el área de la MCG ([116, 117]; Figura 13).

## 13 Tortuga laúd

(*Dermochelys coriacea*)

Está catalogada mundialmente como vulnerable, pero en peligro de crítico de extinción dentro del PTE [146]. Esta especie anida en regiones tropicales, pero se alimenta en regiones de aguas templadas y subpolares [11]. A pesar de la naturaleza migratoria de esta especie, las poblaciones muestran diferencias genéticas significativas entre los océanos y sus regiones [147]. En el PTE, esta especie anida principalmente en las costas de Centroamérica, pero su distribución se extiende hasta la región del giro del Pacífico sur [148]. Luego de la temporada de anidación, esta especie muestra una conducta migratoria

altamente direccional hacia la zonas de alimentación del Pacífico sur, mostrando solo residencia temporal en el PTE dentro del área de influencia de la MCG [149]. La preferencia de temperatura de esta especie en el PTE es en promedio de 26°C, pero con un rango amplio de 13°C a 34°C ([33]; Figura 13).

## 14 Tortuga carey

(*Eretmochelys imbricata*)

Es una especie principalmente costera, y que se encuentran en peligro crítico de extinción a lo largo de su distribución tropical mundial [150]. A pesar de que esta especie puede mostrar movimientos de larga distancia [151], los movimientos de esta especie son bastante restringidos en el PTE [118, 119, 152]. Su preferencia de hábitat es de temperaturas entre 25°C y 30° C, y profundidades promedio de 10 m [119]. Individuos marcados dentro del PNIC mostraron una elevada residencia a la zona dentro del área protegida y por todo el tiempo que duró el rastreo satelital (Arauz R, no publicado; Figura 13).

## 15 Tortuga golfina

(*Lepidochelys olivacea*)

Es una especie costero-pelágica que está en estado vulnerable de conservación a lo largo de toda su distribución tropical mundial [153]. Esta especie es altamente migratoria pero restringe sus movimientos alrededor de las zonas costeras sin cruzar grandes masas de aguas oceánicas [154]. Esto ha provocado que las poblaciones presenten ligeras divergencias genéticas entre las regiones oceánicas del PTE, Atlántico e Indo-Pacífico [155]. En el PTE, estudios de marcaje en Costa Rica muestran movimientos amplios dentro de las zonas económicas exclusivas continentales de Costa Rica, Panamá, Colombia y Ecuador y Perú ([61]; Figura 13).



Marlin rayado (*Kajikia audax*)

Cristian VzI



Tiburón galápagos (*Carcharhinus galapagensis*)

Jonathan R. Green

## Tendencias poblacionales

Las tendencias poblacionales de peces y megafauna marina migratoria se han evaluado desde la década de 1990 en la Isla del Coco [75], desde el 2000 en Malpelo [91], y desde el 2007 en Galápagos [85]. Estos estudios cubren principalmente las especies pelágicas o bentónicas que tienen conducta migratoria pero que agregan en los sitios de buceo más importantes de cada área. Adicional a estos, en la RMG se realizó un estudio complementario que evaluó el conocimiento ecológico de guías respecto las tendencias poblacionales de seis especies de tiburones [90]. Tanto los estudios empíricos como el estudio social reportan una reducción en la abundancia relativa de los tiburones martillo, galápagos, sedosos, y punta blanca de arrecife en toda la región (Figura 14). Particularmente, los resultados más importantes que se pueden recabar para el PTE indican que:

**1** El tiburón sedoso muestra una tendencia negativa en Galápagos con una reducción en la abundancia del 25% [90]. En la Isla del Coco esta especie ha experimentado una reducción de casi el 91% [75]. En Malpelo, esta especie se ha reducido casi en un 50% [91].

**2** El tiburón punta negra es el único de las especies de tiburones evaluadas que presenta ciertos indicios de aumento en su abundancia poblacional. En Galápagos, esta especie fue percibida de aumentar en un 15% en las últimas dos décadas, particularmente luego de sufrir un importante declive poblacional a principios de la década de 1980 [90]. En la Isla del Coco, la frecuencia de ocurrencia de esta especie ha mostrado un incremento del 9% anual [75].

**3** El tiburón galápagos presenta una historia distinta en cada región (Figura 14). En el caso de la RMG, la percepción de los

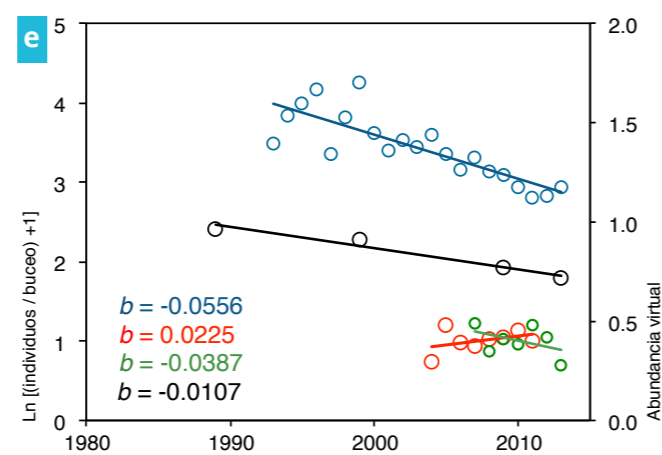
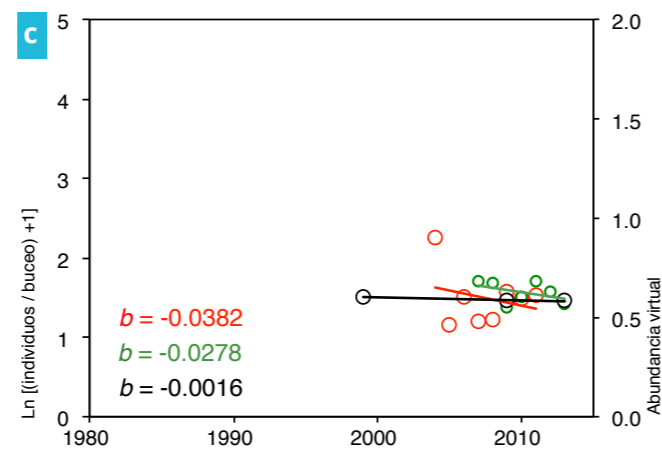
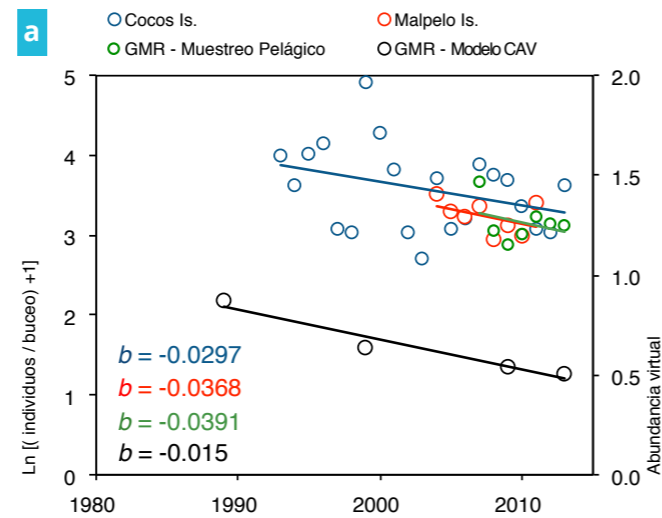


Figura 14. Comparación de las tendencias poblacionales de los tiburones martillo (a,b), galápagos (c,d) y punta blanca de

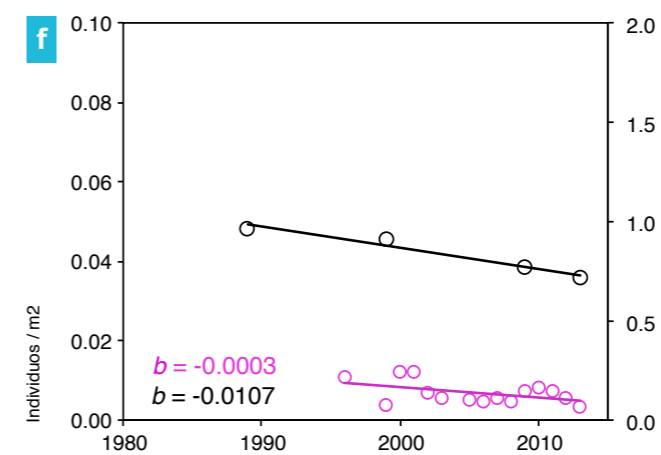
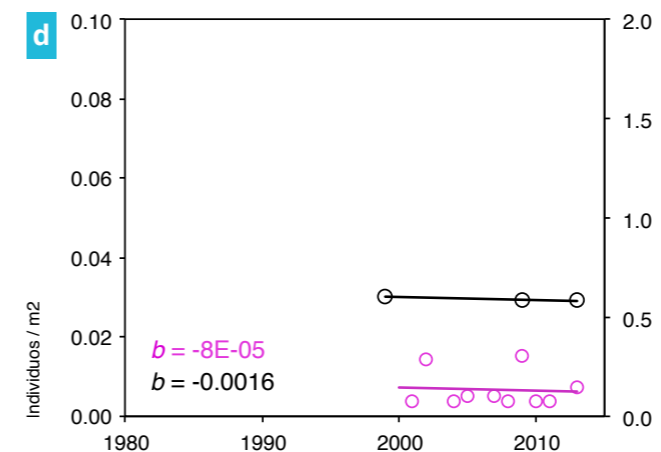
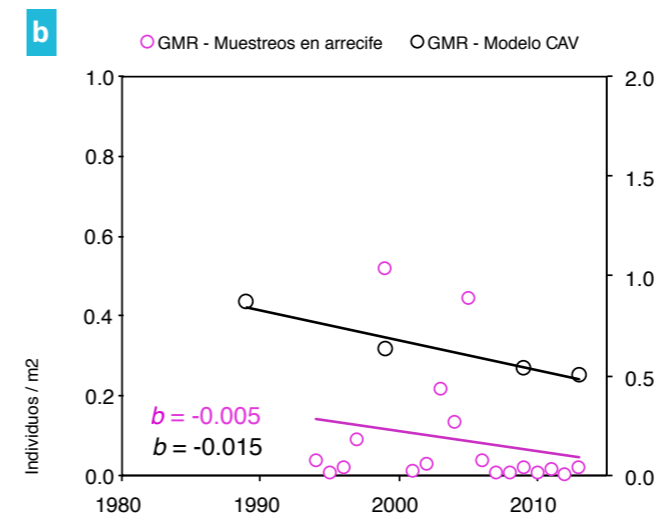


Figura 14 (continuación). arrecife (e,f) entre las Islas Galápagos, Isla del Coco y la Isla Malpelo. Fuente: Peñaherrera-Palma [90].

usuarios indica que la abundancia de esta especie se ha reducido en un 30% en las últimas tres décadas [90]. Sin embargo, la frecuencia de observación de esta especie ha aumentado casi en un 30% por año en la Isla del Coco [75]. La tendencia de esta especie no es clara en la Isla Malpelo [91].

**4** El tiburón ballena es la única especie cuya abundancia aparenta estar en relativo equilibrio poblacional tanto en la Isla del Coco como en Galápagos en las últimas tres décadas [75, 90].

El tiburón martillo es la única especie que presenta un declive similar a lo largo de la región central del PTE (Figura 14). La reducción poblacional en la abundancia de esta especie llega al 50% tanto en la Isla del Coco [75], como en Galápagos [90], y en la Isla Malpelo [91].

**5** El tiburón punta blanca de arrecife (*Triaenodon obesus*) se ha percibido de sufrir una reducción de casi el 30% en Galápagos [90], y casi un 70% en la Isla del Coco ([75]; Figura 14). En la Isla Malpelo esta especie está relativamente estable [91].

**6** No se poseen datos de conteos de tortugas laúd en sitios dentro de ninguna AMP oceánica o en la MCG. Sin embargo, los datos de Playa Grande, Costa Rica, sugieren una reducción de casi el 90% en la abundancia de hembras anidantes en los últimos 30 años [11].

**7** Además, existen notables registros de tendencias poblacionales de otras especies en la Isla del Coco: la abundancia del tiburón tigre ha aumentado casi en un 79% [75]; las tortugas verdes, carey y golfinas, se han dejado de observar alrededor del PNIC en la última década (Chavez E., no publicado); la abundancia de la raya águila (*Aetobatus narinari*) y raya moteada (*Taeniura meyeni*) también ha disminuido casi en un 70% y 34% en la Isla del Coco [75].

## Funcionamiento de los ecosistemas marinos

La riqueza de biodiversidad y hábitats de éstas AMP oceánicas representan situaciones geográficas e históricas únicas [1]. Los hábitats bentónicos (fondo marino) se relacionan estrechamente con los pelágicos (aguas abiertas) y abisales (fondos de profundidad) tanto por la acción de fuerzas físicas y los ciclos biogeoquímicos [156], como por las interacciones tróficas (alimenticias) [157] y los ciclos de vida las especies marinas [e.g. 158, 159]. Entender la dinámica y funcionamiento entre los diversos componentes de un ecosistema es un paso importante para evaluar la productividad natural y pesquera de una región, así como su susceptibilidad y resiliencia a cambios ambientales drásticos [160].

Para la región del PTE existen dos modelos de relevancia que explican el funcionamiento de los ecosistemas pelágicos en términos de las relaciones alimenticias. El primero de estos fue desarrollado por la Comisión Inter-Americana del Atún Tropical [157] para toda la región del PTE, y el segundo por Wolff, Peñaherrera-Palma y Krutwa [161], como una adaptación del primero para la RMG y sus alrededores. Ambos trabajos se basan en un modelo de redes alimenticias (Ecopath con Ecosim) que evalúan un ecosistema en términos de la producción de biomasa y el flujo de energía entre las presas, depredadores y la descomposición del material orgánico [162]. La diferencia en los dos estudios radica en que el primero asume un estado continuo de operación pesquera [157], mientras que el segundo usa la RMG para modelar el efecto de la creación de una AMP pelágica alrededor de islas y montes submarinos con reducido o nulo esfuerzo pesquero [161].

Los dos modelos usan como componentes a las principales especies emblemáticas depredadoras (tiburones, cefalópodos, mamíferos marinos), especies explotadas (atunes

y marlines), especies sensibles (delfines, tortugas marinas, aves marinas), peces bentónicos, así como grupos de fitoplancton y zooplancton. La estructura del ecosistema pelágico del PTE resultante de ambos estudios muestra que los niveles bajos de consumidores (1 a 3) están dominados por grupos de especies de macrobentos, plancton gelatinoso, peces pelágicos pequeños, peces mesopelágicos pequeños y peces bentónicos (Figura 15). La energía de estos grupos es distribuida a continuación a los niveles superiores (3 a 5), los cuales están conformados principalmente por aves, mamíferos, peces óseos pelágicos y tiburones [161]. Ambos modelos muestran a los tiburones como predadores tope de los ecosistemas pelágicos [157] y bento-pelágicos [161] del PTE. Los niveles alimenticios máximos son compartidos con marlines grandes y ballenas dentadas en los sistemas de aguas abiertas [157], pero con orcas, peces vela y espada en los sistemas bento-pelágicos ([161]; Figura 16). Adicional a esto, el modelo de Wolff, Peñaherrera-Palma y Krutwa [161] destaca un rol importante de los peces bentónicos como eslabón de transferencia entre organismos bentónicos hacia predadores costero-pelágicos.

Las simulaciones de ambos trabajos muestran además que la productividad de ecosistema pelágico del PTE es sensible a cambios en la temperatura del agua producto del ENOS. Los cefalópodos y escómbridos (*Auxis* spp) son los grupos más sensibles del sistema frente a cambios en la producción primaria [157]. Los efectos de cambios en la producción de clorofila se transmiten con mayor rapidez hacia los niveles medios (e.g. peces pelágicos pequeños, cefalópodos, plancton gelatinoso, etc.), que son consumidores directos de algas y consumidores primarios (e.g. tiburones, orcas, etc.). Los depredadores tope responden más lento pero con efectos más duraderos que los niveles medios frente a reducciones en

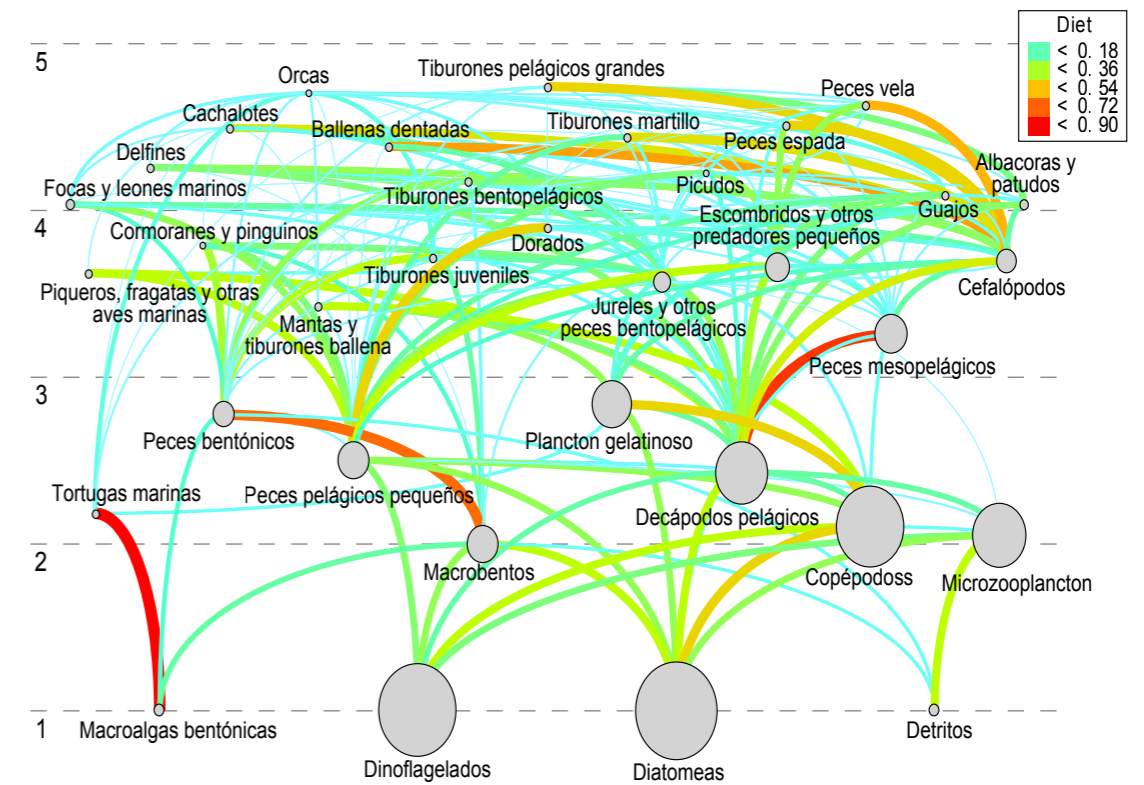


Figura 15. Redes tróficas de un ecosistema pelágico alrededor de islas y montes submarinos (caso de estudio de la RMG). El tamaño de los círculos está escalado a la biomasa del grupo, y el grosor de las líneas de unión representa la cantidad de energía que fluye desde los compartimientos de abajo hacia arriba. Fuente Wolff, Peñaherrera-Palma y Krutwa [161].

la productividad primaria [161, 163, 164]. Sin embargo, pulsos positivos de productividad en condiciones de La Niña podrían ser beneficiosos a un ecosistema que haya estado bajo un fuerte régimen pesquero. De acuerdo a Wolff, Peñaherrera-Palma y Krutwa [161], la reducción del esfuerzo pesquero conjugada con el ENOS pudo generar aumentos en la biomasa de tiburones bento-pelágicos de hasta un 37%, seguidos por tiburones pelágicos grandes por 24%; guajos, 13%; atunes, 13%; tiburones martillo, 15%; marlines, 6.3%; y, peces espada, 2%. En el caso de las especies bento-pelágicas, la creación de AMP en el PTE ha generado aumentos en la abundancia de tiburones punta negra [75, 90], galápagos [75] y tigres [75], aunque el grado de respuesta de cada especie depende mucho de las condiciones ecológicas

y de manejo de cada área protegida. De igual manera, la pesca de atunes aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y barriletes (*Katsuwonus pelamis*) se ha beneficiado significativamente con la creación de la RMG [165], sugiriendo un potencial efecto positivo en la biomasa de estas especies similar al propuesto por Wolff, Peñaherrera-Palma y Krutwa [161].

En el caso de los tiburones pelágicos y marlillos la situación es contradictoria a estos resultados, pues no se ha registrado aumentos sino reducción en sus abundancias dentro de las AMP de la región. Se ha sugerido que esta contradicción es producto del tamaño inadecuado de la AMP en estudio (la RMG) para proteger la amplitud de los movimientos de los tiburones pelágicos y marlillos [90].



Cardumen de jureles negro (*Caranx lugubris*)  
César Peñaherrera

# Valoración de conservación de la MigraVía Coco-Galápagos

## Características de la MigraVía Coco - Galápagos

Aunque las tres AMP relacionadas con la MCG se encuentren en dos localidades políticamente separadas, esta región es un sistema altamente conectado, no sólo desde el punto de vista geológico, sino también desde el punto de vista oceanográfico y ecológico. En el ámbito físico, la Isla del Coco y las Islas de Darwin y Wolf (ubicadas al norte de la RMG) tienen la misma formación y origen geológico en la dorsal de Galápagos ([47]; Tabla 3; Figura 4). La actividad volcánica de la región formó la cordillera de Coco, la cual conecta el PNIC y el AMMMS con la RMG a través de un sistema

de montes submarinos localizados tanto en la ZEE de Costa Rica como de Ecuador (Figura 5). La caracterización y análisis de los parámetros oceanográficos muestra además una región modelada por las mismas fuerzas ambientales. Las variaciones de TSM, producción de clorofila y ECT varían en el corto plazo producto de las características propias de cada sitio, pero este no es el caso a una escala temporal mayor. El patrón de variación intra e interanual de estos parámetros responde de la misma manera para cada región de la MCG (Figura 8), incluyendo condiciones oceanográficas

Tabla 3. Resumen de los indicadores físicos evaluados para el PNIC y la RMG.

Indicador	Coco	Galápagos
<b>Origen geológico</b>	Cordillera de Coco que nace en el centro de dispersión de Galápagos.	Islas de Darwin y Wolf nacen en el centro de dispersión de Galápagos y forman su propia cordillera hasta Roca Redonda. Resto de islas en Galápagos nacen del punto caliente de Galápagos.
<b>Conectividad geológica</b>	Cordillera del Coco conecta el PNIC con la parte continental de Costa Rica (extremo norte), y con la porción norte de la RMG (extremo sur).	Cordillera de Coco conecta al norte con la Isla del Coco y Costa Rica, al este la cordillera de Carnegie conecta con Ecuador continental.
<b>Corrientes marinas</b>	Afectado principalmente por la corriente cálida de Panamá. Se ubica al norte del frente oceánico ecuatorial.	Afectado tanto por la corriente cálida de Panamá como la fría de Humboldt. Se ubica en la zona de variación.
<b>Parámetros oceanográficos</b>	TSM similar a Malpelo, pero superior a las Islas Darwin y Wolf (en Galápagos). Productividad de clorofila igual que Galápagos, menor que Isla Malpelo. ECT igual a Galápagos y Malpelo.	TSM menor que Isla del Coco e Isla Malpelo. Productividad de clorofila igual que Isla del Coco, menor que Isla Malpelo. ECT igual a Isla del Coco y Malpelo.
<b>Productividad de los ecosistemas existentes</b>	Baja. Presencia temporal de afloramiento de nutrientes y productividad primaria. Similar a la productividad de Darwin y Wolf, pero reducida en comparación con la Isla Malpelo.	Baja en el norte de la RMG. Alta en el centro sur y oeste de la RMG, presencia importante de zonas de afloramiento y productividad primaria.
<b>Presencia de fenómenos naturales importantes</b>	El Niño Oscilación del sur (ENOS) y Oscilación Decadal del Pacífico (ODP).	El Niño Oscilación del sur (ENOS) y Oscilación Decadal del Pacífico (ODP).

excepcionales como el ENOS y el la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP).

El PNIC y la RMG también poseen un número elevado de similitudes biológicas, ecológicas, además de enfrentar los mismos riesgos de conservación (Tabla 4). Ambas áreas tienen una elevada riqueza de especies, pero se diferencian principalmente por la extensión y la cantidad de hábitats disponibles en la RMG (Tabla 4). El PNIC registra cerca de 1700 especies

marinas [76], mientras que la RMG, cerca de 6000 [86]. El nivel de endemismo en cada región también es distinto. El PNIC alcanza cerca del 2.7% [76]; mientras que la RMG asciende a cerca del 20% [38]. Sin embargo, si se compara el PNIC sólo con la región de Darwin y Wolf, la diferencia entre ambas regiones no es significativa (Figura 9). La estructura comunitaria de las Islas de Darwin y Wolf tienen más similitud con la Isla del Coco que con el sector al oeste de la RMG. Los arrecifes de esas tres islas están

Tabla 4. Resumen de los indicadores biológicos evaluados para el PNIC y la RMG.

Indicador	Coco	Galápagos
<b>Riqueza de especies</b>	Media. ~1700 especies de vertebrados, invertebrados y flora marina.	Alta. ~6000 especies de vertebrados, invertebrados y flora marina.
<b>Endemismos</b>	Bajo. Cerca del 2.7% de la flora y fauna marina total. Cerca del 20 % del total de peces son endémicos entre Coco, Malpelo y Galápagos.	Medio. Cerca del 20% de la flora y fauna marina total. Cerca del 17 % del total de peces son endémicos entre Coco, Malpelo y Galápagos.
<b>Presencia de especies con distribución restringida</b>	Medio. Particularmente especies endémicas de baja o nula movilidad.	Medio. Particularmente especies endémicas de baja o nula movilidad.
<b>Presencia de especies en riesgo</b>	Medio. Acoge a un porcentaje significativo de vertebrados marinos en estado vulnerable o en peligro de extinción.	Medio. Acoge a un porcentaje significativo de vertebrados marinos en estado vulnerable o en peligro de extinción.
<b>Diferencia de especies con respecto a otras AMP</b>	Baja. Estructura comunitaria similar con Malpelo, y ligeramente distinta con toda la RMG. No significativa si se compara sólo con el norte de la RMG. Alta, si se comparan con las comunidades submareales del continente. Desconocida respecto a ecosistemas abisales.	Baja, no significativa si se evalúa el norte de la RMG con la Isla del Coco y Malpelo. Media, si se evalúa toda la RMG con la Isla del Coco y Malpelo. Alta, si se comparan con las comunidades submareales del continente. Desconocida respecto a ecosistemas abisales.
<b>Diversidad de ecosistemas presentes</b>	Media. No presenta ecosistemas de aguas templadas como la RMG.	Alta. Comunidades de peces funcionalmente más diversos del planeta.
<b>Presencia de ecosistemas de distribución restringida</b>	Ecosistemas coralinos afectados por el ENOS del 82-83 y 97-98.	Ecosistemas coralinos, afectados por el ENOS del 82-83 y 97-98, presentes solo en Darwin y Wolf. Ecosistemas de aguas frías con alto endemismo solo en el Canal Bolívar, entre Fernandina e Isabela.
<b>Integridad funcional de los ecosistemas</b>	Alta.	Alta.

dominados por una elevada abundancia de tiburones martillo, pargos rollizos, y grandes cardúmenes de jureles que brindan un paisaje marino único.

En la región de la MCG habitan un gran número de especies amenazadas o en peligro de extinción. Las tortugas marinas verdes, laúd, y carey son tres de las seis especies de reptiles que habitan en la región y que se encuentran en peligro de extinción [11]. Los tiburones martillo y los tiburones ballena sufren de un problema similar. Estas especies se han catalogado en peligro de extinción debido a fuertes reducciones poblacionales en su distribución mundial, en algunos casos producto de la sobrepesca [166]. En el PTE, la abundancia de tiburones martillo en los sitios de buceo se ha reducido casi en un 50% en los últimos 30 años ([90]; Figura 14). En total, cerca del 19% de rayas, 34% de tiburones, 17% de mamíferos marinos y un 27% de las aves marinas que habitan ambas AMP se encuentran amenazadas o en peligro de extinción.

La similitud en la estructura comunitaria de estas islas está mediada por la significativa conectividad ecológica que permite la región del MCG, tanto para especies bentónicas como para especies migratorias. En el primer caso, las fases larvianas planctónicas de peces e invertebrados marinos viajan largas distancias arrastradas por las corrientes marinas hasta encontrarse con un arrecife con condiciones favorables para su desarrollo [167]. El asentamiento en estos lugares favorece la colonización continua de arrecifes y montes submarinos circundantes, o alejados, donde se presenten condiciones favorables para su desarrollo [168, 169]. Ejemplos claros de esta conectividad pasiva (por dispersión) son los corales *Porites* spp y *Pocillopora* spp los cuales mantienen una elevada tasas de flujo

génico entre el PNIC y la RMG [170]. De igual manera, la presencia de especies insulares endémicas, como los serránidos *Epinephelus labriformis* y *Mycteroperca olfax*, así como peces mariposa y ángel, muestran un constante flujo génico entre estas AMP, a pesar de que estén separados geográficamente. Es probable que la presencia de los montes submarinos entre el PNIC y la RMG sirvan de puente entre las dos áreas en los procesos de dispersión larvaria de vertebrados e invertebrados marinos. Los ejemplos de conectividad (activa) mediada por individuos migratorios han sido revisados en este estudio, mostrando una elevada actividad en la región de influencia de la MCG (Figura 12,13). Tiburones martillo [32], tiburones ballena [113], tortugas marinas verdes [116], tortugas laúd [33], así como marlines rayado [106], se mueven constantemente en la región del PTE, pero muestran una mayor afinidad a la región de la MCG.

Los servicios ecosistémicos que brinda esta región son significativos. Sólo en términos de la captación de carbono, esta región produce alrededor de USD 12000 millones por año [2]. La captación de carbono ocurre durante la fotosíntesis cuando el carbono inorgánico es asimilado en moléculas orgánicas para ser usadas como alimento [171]. Los beneficios de este proceso no sólo se miden en términos del alimento total producido sino también en la cantidad de dióxido de carbono retirado de la atmósfera. En relación a la producción de alimento para el ser humano, en la región del PTE se genera alrededor de USD 2000 millones de dólares anuales solo de la pesca de las diez especies comerciales más importantes [2]. En este aspecto se ha demostrado que la creación de la RMG (que engloba islas y montes submarinos) aumentó significativamente la productividad pesquera del mar circundante [165], sugiriendo que los réditos económicos

de esta región podrían aumentar con el tiempo. Otros beneficios económicos provienen del aprovechamiento no extractivo de los ecosistemas marinos. En Galápagos, el turismo marino genera un comercio valorado en USD 236 millones anuales [172], del cual el 63% se

genera por el turismo de buceo que llega para observar principalmente tiburones [173]. No se posee información similar sobre el valor económico del turismo en la Isla del Coco, pero se estima que las cifras pudiesen variar entre el 40 al 70% de lo generado en la RMG.

Tabla 5. Resumen de los indicadores antropogénicos del PNIC y la RMG.

Indicador	Coco	Galápagos
<b>Importancia de los servicios ecosistémicos y/o ambientales generados</b>	Alta.	Alta.
<b>Productividad de los ecosistemas existentes</b>	Baja. Picos de afloramiento de nutrientes y productividad primaria por temporadas. Similar a la productividad de Darwin y Wolf, pero reducida en comparación con la Isla Malpelo.	Baja en el norte del a RMG. Alta en el centro sur y oeste de la RMG (presencia importante de zonas de afloramiento y productividad primaria).
<b>Grado de intervención humana o estado natural</b>	Baja actualmente. Intervención humana histórica media. Actualmente existen facilidades habitacionales y senderos en un sector reducido de la isla para turismo y control y vigilancia. No existen estructuras submarinas humanas, solo presencia de boyas de anclaje ubicadas en algunos sitios de buceo.	Media. Hay cuatro islas habitadas (Isabela, Floreana, Santa Cruz, San Cristóbal). Nivel de intervención se reduce con la lejanía a las áreas pobladas. Sistema de boyas de anclaje ubicadas en algunos sitios de visita turística. Islas de Darwin y Wolf no son habitadas.
<b>Sensibilidad / resistencia a disturbios</b>	Comunidades submareales costeras con signos de aumento positivo de biomasa de peces e invertebrados marinos. Sin embargo, área marina bajo protección carece de suficiente redundancia ecológica para asegurar resiliencia a eventos drásticos como ENOS.	Comunidades submareales costeras con signos de aumento positivo de biomasa de peces e invertebrados marinos. Redundancia de hábitats y ecosistemas ofrece mayor resiliencia que el PNIC.
<b>Potencial a recuperarse de disturbios / resiliencia de los ecosistemas</b>	Comunidades submareales costeras con signos de aumento positivo de biomasa de peces e invertebrados marinos. Sin embargo, área marina bajo protección carece de suficiente redundancia ecológica para asegurar resiliencia a eventos drásticos como ENOS.	Comunidades submareales costeras con signos de aumento positivo de biomasa de peces e invertebrados marinos. Redundancia de hábitats y ecosistemas ofrece mayor resiliencia que el PNIC.

## Propuesta de área de conservación

A través de este estudio se han identificado aspectos físicos, biológicos y ecológicos de la región comprendida entre el PNIC y la RMG que destacan la importancia de implementación y conservación de la MCG. La MCG representa un área espacial que aloja a un sistema de montes submarinos donde se concentra una importante actividad marina migratoria. Esto se aprecia con claridad al superponer la información espacial del rastreo satelital de 389 individuos de 15 especies de vertebrados marinos amenazados, junto con el análisis de sus áreas de distribución y la ubicación de los montes submarinos en la MCG. Tomando en consideración que:

- 1 La MigraVía Coco-Galápagos representa un área espacial de alto uso (punto caliente) por especies amenazadas y en peligro de extinción con conducta migratoria.
- 2 Los montes submarinos de la región de la MCG poseen una alta similitud oceanográfica con el PNIC y la RMG.
- 3 Los montes submarinos de la región forman la Cordillera de Coco, que juntos conectan el PNIC con la RMG.
- 4 Las especies pelágicas, como el tiburón martillo, siguen la estructura magnética de montes submarinos para ubicarse espacialmente y movilizarse entre sitios de agregación y alimentación [174].
- 5 El PNIC y la RMG comparten un porcentaje importante de especies endémicas insulares y fauna nativa sésil, bentónica y pelágica [84, 174].

- 6 La estructura comunitaria del PNIC y la RMG sugieren que ambas AMP pertenecen a un solo ecosistema.
- 7 La MCG es el corredor que permite la conectividad ecológica entre la PNIC y la RMG.
- 8 Las AMP favorecen la recuperación y resiliencia de los ecosistemas marinos bentónicos [26] y pelágicos [90, 175].
- 9 Las AMP, al favorecer el aumento de biomasa de las especies comerciales, mejoran el rédito económico de las pesquerías que operan en los mares circundantes [165].
- 10 La efectividad de una AMP aumenta considerablemente al cubrir más de 74 km de radio alrededor del punto caliente de actividad [176]. Este radio de cobertura es similar al modelo adoptado por la RMG y el Parque Nacional Revillagigedo.
- 11 El corredor biológico del PTE ha sido reconocido como prioridad de conservación de los países signatarios del CMAR [177].
- 12 La Meta del Acuerdo de Aichi 11 es conservar al menos el 10% de las zonas marinas y costeras de cada país hasta el 2020, por medio de sistemas de áreas protegidas administrados de manera eficaz, ecológicamente representativos y bien conectados [178].

MigraMar propone crear un área protegida de límites fijos que proteja la integridad de los ecosistemas marinos del PNIC, del AMMMS y de la RMG al asegurar la redundancia espacial, favoreciendo la resiliencia de los ecosistemas de las tres AMP. El área protegida que se propone toma en cuenta los puntos de alta prioridad de conectividad migratoria registrados a la fecha, e incluye las redes de conexión actuales y los puntos de alta prioridad de actividad dentro de la MCG (Figura 16). De estas redes se estima el radio de cobertura en 74 km (40 millas náuticas), y se define el área de amortiguamiento mediante la unificación de las áreas de cobertura de cada conexión. Finalmente, se simplifica el área de cobertura

espacial extrayendo el área del PNIC, del AMMMS y de la RMG, y mediante la suavización lineal del perímetro de la MCG. La forma final de la propuesta de amortiguamiento ecológico de la MigraVía Coco-Galápagos tiene un área de 239502 km<sup>2</sup>, con un perímetro de 2435 km. La ubicación central está en la latitud 3°N, y longitud 89°S, el extremo norte llega a la latitud 6.15°N, su extremo sur a la latitud 0.22°N, su extremo este a la longitud 85.84°O, y su extremo oeste a la longitud 92.48°O (Figura 17). El área comprendida por esta región engloba un porcentaje significativo de los movimientos migratorios de los 375 individuos estudiados (Figura 18).

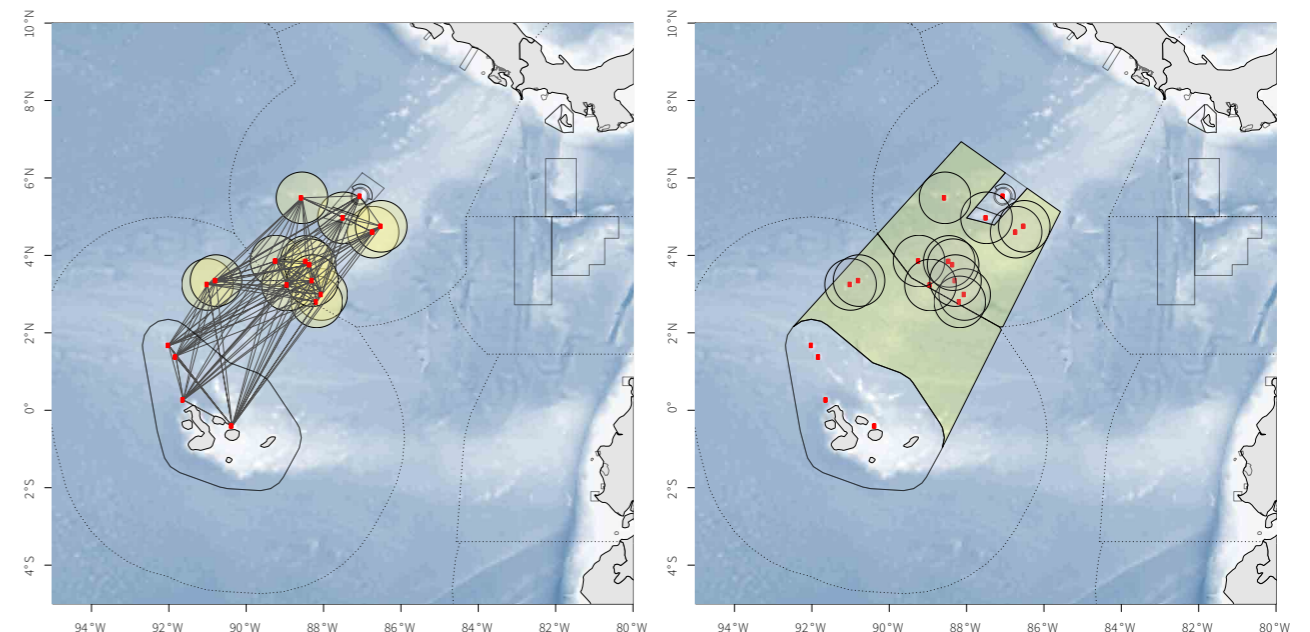


Figura 16. Esquema del diseño del área propuesta para la MigraVía Coco-Galápagos. Izquierda, análisis de redes para los puntos calientes de conectividad y montes submarinos. Derecha, área de amortiguamiento creada al unificar el área de amortiguamiento de cada conexión entre los puntos calientes y montes submarinos.

El área de la MCG podría establecerse como una Reserva de la Biósfera marina binacional transfronteriza. Las Islas Galápagos obtuvieron el estatus de Reserva de la Biósfera del área terrestre desde 1984 y recientemente se amplió al área marina en el 2019. Además, tanto las Islas Galápagos (1976) como la Isla del Coco (1997) son Sitio Patrimonio Natural de la Humanidad, ambas designaciones por UNESCO.

Otra opción es la designación de un área protegida binacional y transfronteriza de acuerdo con la categoría de manejo IV establecida por la UICN [178]: Área de Gestión de Hábitats y Especies Migravía Coco-Galápagos. El objetivo de las áreas protegidas de categoría IV es la conservación y manejo sostenible de hábitats o especies concretas, y su gestión refleja dicha prioridad. Muchas áreas protegidas de categoría IV requieren de intervenciones activas habituales para abordar las necesidades de especies específicas o para mantener hábitats, pero esto no es un requisito de la categoría. Entre los objetivos de conservación y manejo de la MCG se podrían incluir:

- 1 Contribuir a la conservación de la composición, estructura, función y potencial evolutivo de la biodiversidad betónica y pelágica del PTE.
- 2 Contribuir a la estrategia de conservación y desarrollo sostenible del PTE.
- 3 Mantener la diversidad de paisajes marinos y submarinos, de hábitats, y de las especies y ecosistemas asociados entre Coco y Galápagos.
- 4 Funcionar de acuerdo con un plan de gestión y de un programa de monitoreo y evaluación que sirva de apoyo a una gestión adaptativa.

- 5 Contar con un sistema de gobernanza claro y equitativo.
- 6 Conservar rasgos significativos de la geomorfología y la geología submarina entre Coco y Galápagos.
- 7 Proporcionar servicios reguladores del ecosistema, incluyendo la mitigación de los impactos del cambio climático.
- 8 Beneficiar a las comunidades residentes o locales en consistencia con la gestión sostenible de los recursos pesqueros.
- 9 Facilitar las actividades de investigación científica de bajo impacto y el monitoreo ecológico relacionado y consecuente con los valores de la MCG.
- 10 Contribuir a desarrollar el apoyo público a la protección de los recursos marinos.

La delimitación geoespacial de la MCG podría incluir zonas de conservación absoluta constituidas por el radio de 40 millas náuticas desde el centro de los montes submarinos en el paisaje marino. Esta delimitación es similar a la usada para el diseño de la zona de no pesca del Parque Nacional Revillagigedo [179] y de la RMG [40]. De igual manera, se incluyen zonas de manejo sostenible en la matriz de la MCG, en donde se pudieran aplicar prácticas de pesca sostenible y manejo temporal de los recursos, con especial consideración de proteger las especies amenazadas y en peligro documentadas en este informe.

Cualquier tipo de manejo a implementarse deberá ser evaluado en un estudio de factibilidad legal complementario a esta evaluación biológica.

## Consideraciones a futuro

La creación de la Reserva de la Biósfera, Área de Gestión de Hábitats y Especies, u otra herramienta de manejo espacial, debe complementarse con un aumento en la investigación de montes submarinos y diversidad pelágica en la región. A pesar de que se cuenta con un total de 389 individuos seguidos por satélite, esta información cubre en su mayoría a aquellas que son de interés debido a su estado de conservación. La investigación de estas especies es importante porque permite definir y entender las áreas de interés de protección y/o regulación, pero es necesario aumentar el número de especies bajo estudio. Particularmente, se recomienda el estudio de los patrones migratorios y preferencias de hábitat de especies de interés comercial como el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), el atún patudo (*Thunnus obesus*), los

marlines, y el dorado (*Coryphaena hippurus*). De igual manera, se recomienda ampliar en otras regiones el estudio de especies poco representadas o no adecuadamente protegidas como los tiburones zorros (*Alopias* spp), el tiburón azul (*Prionace glauca*), el tiburón punta blanca oceánico (*Carcharhinus longimanus*), y los cetáceos. Se recomienda ampliar la investigación hacia censos pelágicos que permitan conocer la diversidad y estructura comunitaria de la megafauna de aguas abiertas, no sólo dentro sino fuera de la MCG. Estos estudios permitirán, entender de manera integral la significancia biológica del área propuesta para las comunidades de aguas abiertas. Adicionalmente, se recomienda el mapeo de alta resolución y la exploración biológica y geológica sistemática de los montes submarinos que se encuentran en la región.



Arco e Isla de Darwin, Reserva Marina de Galápagos

César Peñaherrera P.



Figura 17. Superposición de la batimetría, la división política del PTE y la propuesta de área de la MCG.

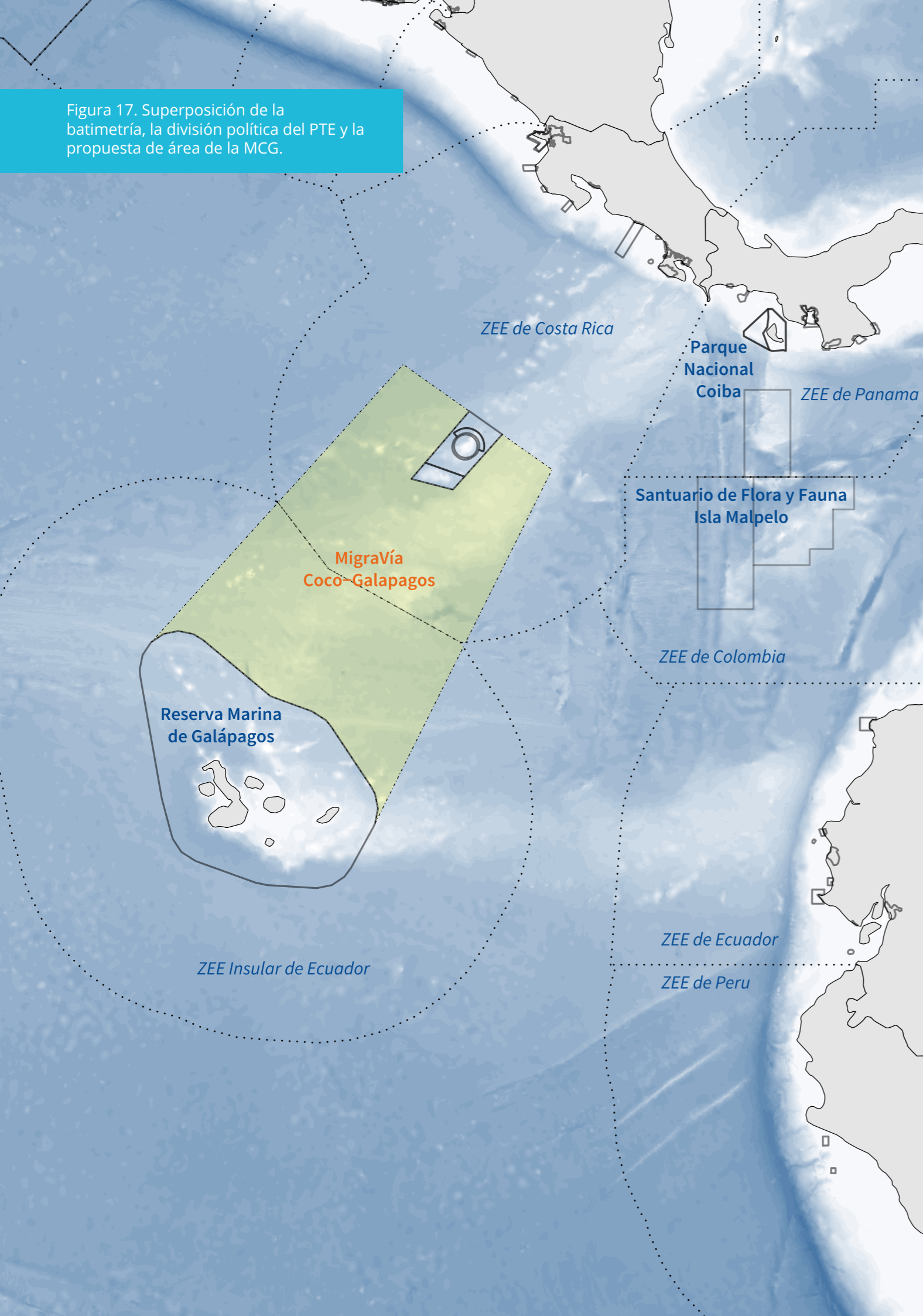
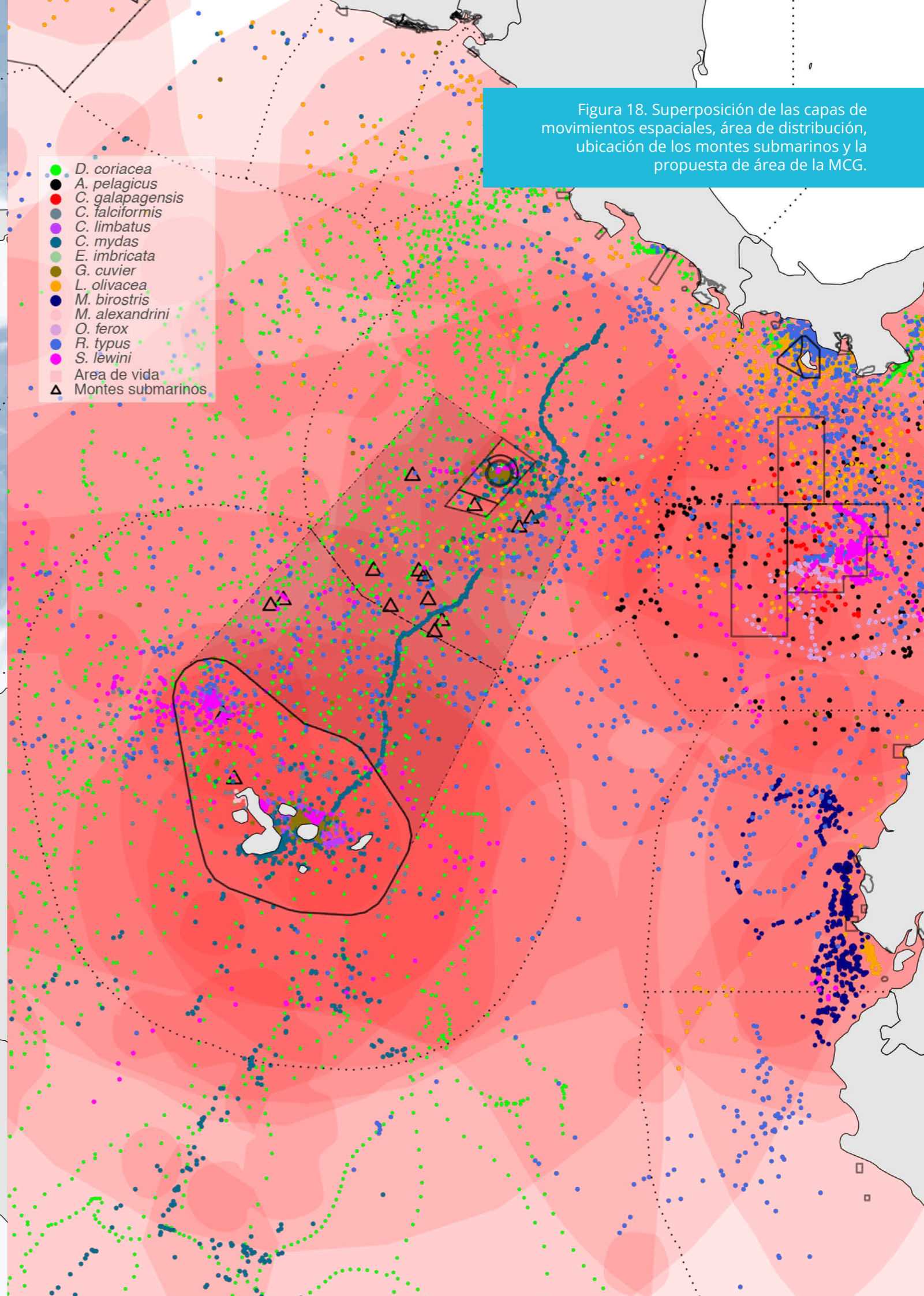


Figura 18. Superposición de las capas de movimientos espaciales, área de distribución, ubicación de los montes submarinos y la propuesta de área de la MCG.





Biological justification  
for the creation of the

# MIGRAVIA

COCO-GALAPAGOS

## Foreword

With the dawn of the 21st century, Todd Steiner and George Shillinger, marine scientists that currently serve on the board of MigraMar, were the first ones to coin the term swimways. They used it to describe specific routes that they identified that seaturtles and sharks follow during the year in the Marine Corridor of the Eastern Tropical Pacific (CMAR). Analyzing data from satellite and acoustic tags placed on several highly migratory species, they saw clear patterns. The tracks showed that those and other emblematic species, known to be inside specific coastal and oceanic marine protected areas (MPAs) of the region, such as Galapagos, Cocos, Baulas, Malpelo and Coiba, migrate during the year outside of those MPAs following specific routes that connect them.

Now, with over twenty years of additional data from MigraMar and other recognized scientists, the need to propose the special management of swimways is becoming a priority in the marine conservation field. In the CMAR this task requires the active collaboration of the four countries of the region. Accordingly, PACIFICO, CMAR and MigraMar have joined forces to work with others to implement a road map for the special management of two priority swimways in this region: Coco (Costa Rica) - Galapagos (Ecuador) & Coiba (Panama) - Malpelo (Colombia).

With support of the Helmsley Charitable Trust, the Shark Conservation Fund and the Waitt Foundation, one of the key outputs of the collaboration between MigraMar and PACIFICO is this publication of the Biological Justification for the creation of the Coco - Galapagos Swimway. This document summarizes the results of years of scientific expeditions and advanced research with state-of-the-art technology. On the other hand, to foster a science-based approach to scale up transboundary marine policy and management in the Coco - Galapagos Swimway, PACIFICO has also supported the development of socioeconomic and legal studies.

It is our intent that this publication provides important information to the scientific community, decision-makers and general public, of the need to work together on the special management of the Coco - Galapagos Swimway, for the benefit of local communities, the conservation of key species and the socioeconomic well-being of our region.

  
Rosario Alvarez  
Director Executive  
MigraMar

  
Zdenka Piskulich  
Presidency  
PACIFICO

  
Carlos M. Chacón M.  
Coordinator  
PACIFICO

## Executive summary

With the creation of marine protected areas (MPAs), such as the Galapagos Marine Reserve (GMR), Cocos Island National Park (CINP), and Malpelo Flora and Fauna Sanctuary (MFFS), functionality and ecological diversity of the Eastern Tropical Pacific Ocean (ETPO) have been largely preserved. There is sufficient evidence to demonstrate the effectiveness of these MPAs in protecting subtidal (or benthic) reef communities. Despite conservation efforts in each area, however, a marked population decline of highly migratory species has been detected, such as with sharks and sea turtles that move between the regional seas. This transboundary mobility hinders each country's individual conservation efforts, particularly for highly sensitive species, and even with moderate fishing intensities. This problem has been observed previously in other regions of the world, and the adoption of measures to halt the decline of marine migratory species has been prioritized.

Since its initial conception, the Marine Corridor of the Eastern Tropical Pacific (CMAR) was created to conserve biodiversity and promote sustainable use of marine and coastal resources in the Exclusive Economic Zones of Colombia, Costa Rica, Ecuador, and Panama. In fact, the CMAR considers the region between the CINP and the GMR as a biological corridor with significant conservation value. This region exhibits a high similarity in its benthic community composition. Large schools of jacks, snappers, and Hammerhead Sharks dominate the region's marine seascape. Species

such as the Whale Shark, Silky Shark, and sea turtles are also residents of the four nations' MPAs, but not exclusive to any. Scientific evidence shows a high connectivity within the ETPO, both with respect to sharks, sea turtles and fish. The concept of Swimway was born in response to the need to safeguard the integrity of both open water and reef ecosystems interconnected among the different MPAs. The Swimway Coco-Galapagos is the next logical step to strengthen conservation efforts by CMAR signatory governments and respond directly to the initial motive for the creation of this multi-governmental entity.

The proposed conservation area takes into account data demonstrating the importance of migratory connectivity recorded to date, analyzed in terms of current networks with seamounts documented in the region. The proposed area for the Swimway is approximately 240,000 km<sup>2</sup> and an approximate perimeter of 2,430 km. Its northern end is located at latitude 6.15°N, its southern end at latitude 0.22°N, its eastern end at longitude 85.84°W, and its western end at longitude 92.48°W. The area covered by this region encompasses a significant percentage of the migratory movements of the 389 individuals (15 species) studied.

Among the most significant points that define the biological and ecological importance of the Swimway are:

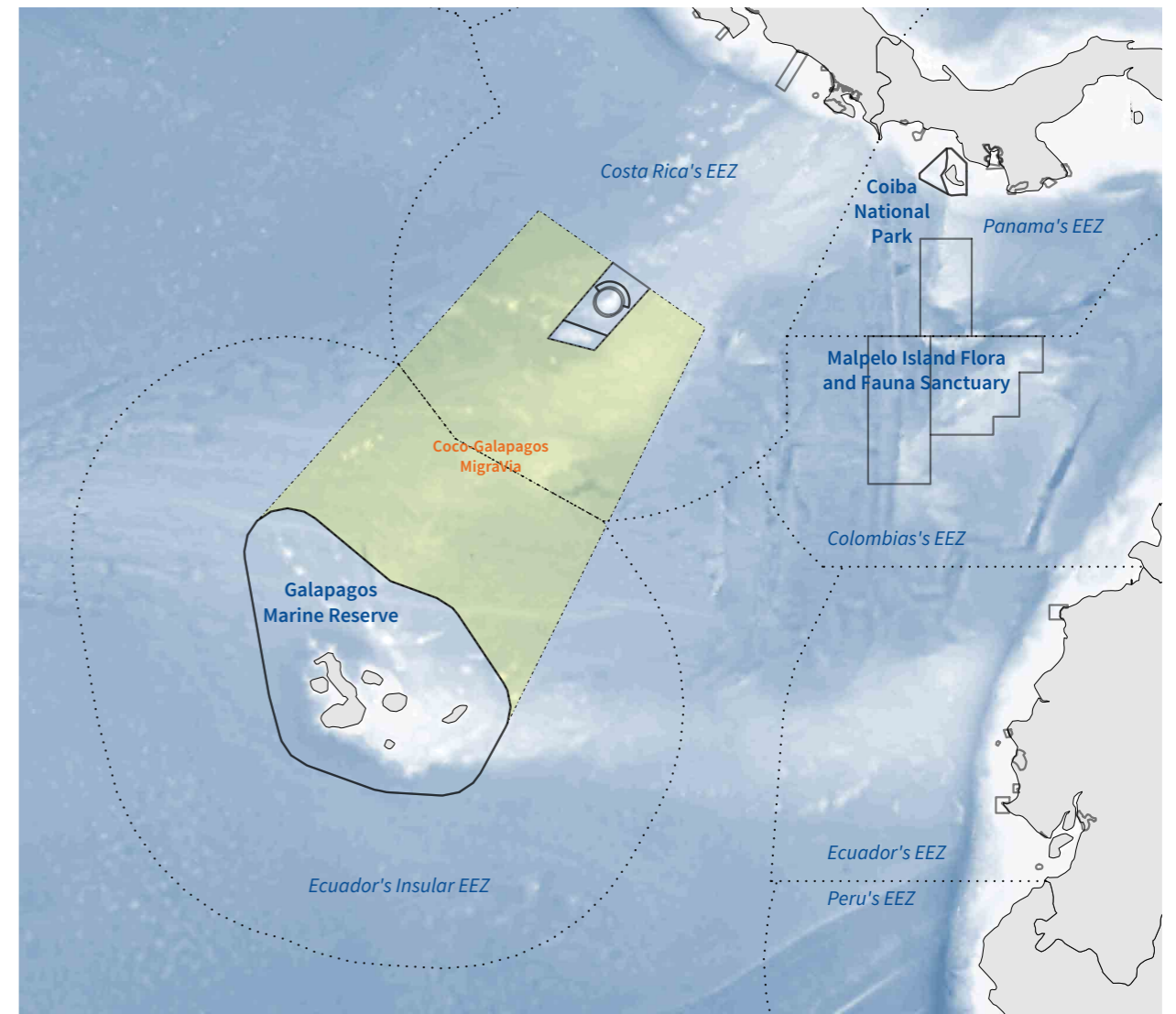
Whale Shark (*Rhincodon typus*)

César Peñaherrera P.

- 1 The Swimway represents a high-use area (hotspot) for migratory species.
- 2 The seamounts of the Swimway have a high oceanographic similarity to the CINP and the GMR.
- 3 The seamounts form the Cocos Ridge, which connects the CINP with the GMR.
- 4 Pelagic species, such as the Hammerhead Shark, follow the magnetic signals of seamounts and submarine ridges to locate themselves spatially and move between aggregating and feeding sites.
- 5 The CINP and the GMR share a significant percentage of island endemic species, and native sessile, benthic, and pelagic species as well.
- 6 CINP and GMR community structure similarity suggest both MPAs belong to the same type of ecosystem.
- 7 The Swimway is the marine corridor that facilitates ecological connectivity between CINP and RMG.
- 8 MPAs favor the recovery and resilience of benthic and pelagic marine ecosystems.
- 9 MPAs, by encouraging the increase of biomass of commercial species, also generate significant improvements in the economic performance of fisheries that operate in surrounding seas.
- 10 The effectiveness of an MPA increases considerably by covering more than 74 km of radius around the hotspot of activity. This coverage radius is similar to the model adopted by the GMR.
- 11 The biological corridor of the ETPO has been recognized as a conservation priority of CMAR signatory countries.
- 12 Aichi Goal 11 is to conserve at least 10% of the marine and coastal areas of each country by 2020 with protected area systems that are managed efficiently, ecologically representative, and well connected.

The creation of the Swimway should be complemented by an increase in research on seamounts and pelagic diversity. Although there are 389 satellite-tracked migratory marine organisms, these were chosen largely because of their threatened conservation status. The investigation of these species is important to better design protected areas

and regulations; but, it is also necessary to broaden the study of migratory patterns and habitat preferences of species such as Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*), Bigeye Tuna (*Thunnus obesus*), billfish, Dolphinfish (*Coryphaena hippurus*), Thresher Shark (*Alopias* spp), Blue Shark (*t glauca*), Whitetip Shark (*Carcharhinus longimanus*), and cetacean



species. Additionally, research should include pelagic surveys to establish diversity of open water species inside and outside the Swimway.

The characteristics of the MCG qualify it to be declared both as a Biosphere Reserve (according to the UNESCO management categories) as well as a Habitat/Species Management Area (according to the IUCN management categories).

The objective of these areas is the conservation of specific habitats or species. In the case

of the Swimway, this could be expressed by regulations of the activities that could take place within the protected area and their sustainable management, especially in relation to migratory marine species.

The implementation of any type of management system should be evaluated in a complementary legal feasibility analysis and collaboratively defined between both governments, CMAR, MigraMar, PACIFICO and key stakeholders.



Mating Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*)  
Christian Vizl

Background

## Introduction

The Eastern Tropical Pacific Ocean (ETPO) extends from the Gulf of California to north-west Mexico to the Piura region in northwest Peru ([1]; Figure 1). ETPO covers 21 million km<sup>2</sup> including inter-national and national waters of 12 countries on the west coast of the Americas [2]. The waters reach an average depth of 3,500 m, with a maximum depth of 8,000 m in the Atacama Trench [3].

The oceanographic system of ETPO is highly dynamic in time and space, because of the confluence and influence of various marine currents [4]. The cold California Current represents the northern limit of ETPO while it flows north to south following the North American coastline and then flows west until it joins the warmer North Equatorial Current. The cold Humboldt Current defines the southern border as it flows north along the western border of Chile to Peru and Ecuador and then turns west to unite with the South Equatorial Current. The Equatorial Counter Current flows east various latitude degrees north of Ecuador. ETPO is also subject to anomalous oceanographic conditions such as the El Niño Southern Oscillation (ENSO) and the Pacific Decadal Oscillation (PDO). The ENSO is the most studied of such phenomena because its effects are not just local, but global. The ENSO generates warm sea temperatures that extend from ETPO to the western Pacific, principally because of an atmospheric and oceanographic shift all along the Pacific Ocean [5].

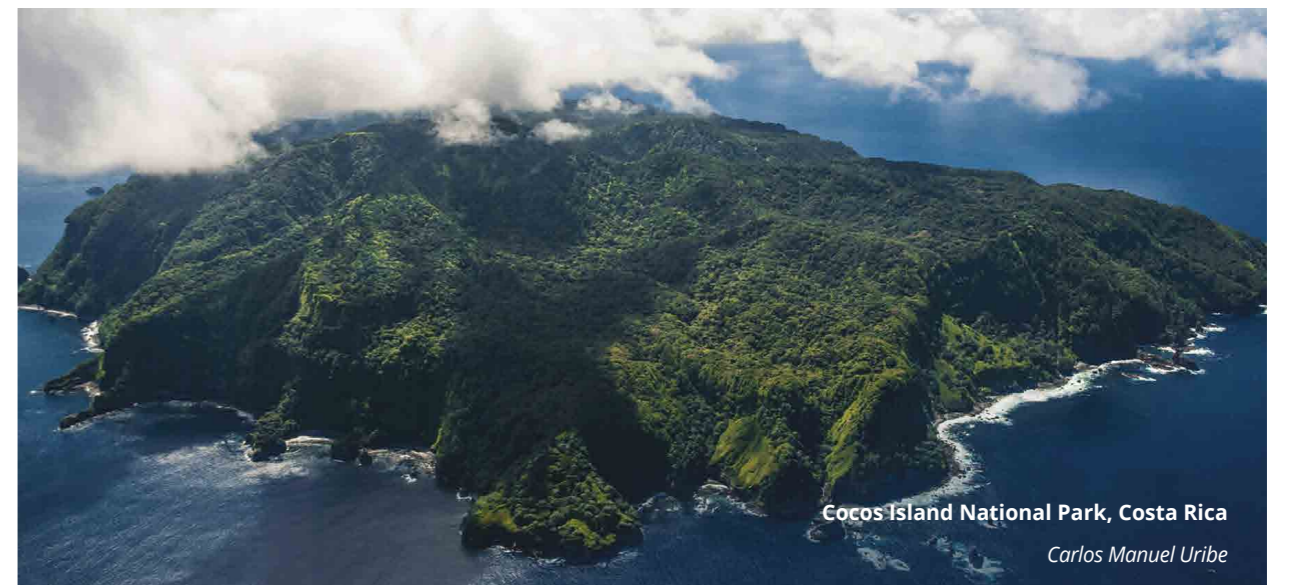
The spatial and temporal variability of oceanographic conditions creates unique habitat systems that permit ETPO to sustain an elevated species and community richness [1]. Around 5,000 marine invertebrate species [6], more than 1,000 species of fish [7,8], 30 marine mammals [9], 123 marine birds [10], and seven reptiles [11] have been recorded in coastal as well as oceanic ecosystems. The high habitat and biological community diversity represent the world's most ecologically diverse and functional marine ecosystems [12, 13]. The region's biological richness is not only ecologically important, but generates more than \$1.5 billion annually in ecosystem services [2].

In recognition of the high biological, ecological, and economic importance of marine resources, ETPO governments constantly invest in the improvement of resource management and conservation [14]. One much used management tool is the creation of marine protected areas (MPA) for ecosystems of exceptional ecological, cultural, and economic value. Regulations for these areas control extractive, non-extractive, and conservation activity [15]. Currently five of six archipelagos and islands are protected in ETPO: Cocos Island National Park (Costa Rica) and its Seamount Marine Management Area, Coiba National Park (Panama), Galapagos Marine Reserve (Ecuador), Malpelo Flora and Fauna Sanctuary (Colombia), and Revillagigedo National Park (Mexico). Some of these areas exceptional biological richness have earned them UNESCO World Heritage status [16].



**Malpelo Island Flora and Fauna Sanctuary, Colombia**

*Juan Arellano/Fundación Malpelo and other marine ecosystems*



**Cocos Island National Park, Costa Rica**

*Carlos Manuel Uribe*



**Galapagos Marine Reserve, Ecuador**

*César Peñaherrera P.*

Figure 1. General overview of the Eastern Tropical Pacific Ocean region (light blue) and the main oceanic archipelagos and islands.



## MigraVias (Swimways)

### A needed strategy for the conservation of migratory species in the eastern tropical pacific ocean

Despite the controversy concerning the magnitude of marine species population declines [17, 18], and ecological effects that these might produce [19, 20], it is generally accepted that overfishing represents the principal cause of such declines for many migratory marine species [11, 21, 22]. Various species of elasmobranchs (sharks and rays), as well as sea turtles, marine birds, and dolphins become fishing bycatch by industrial and semi-industrial fishing fleets [23].

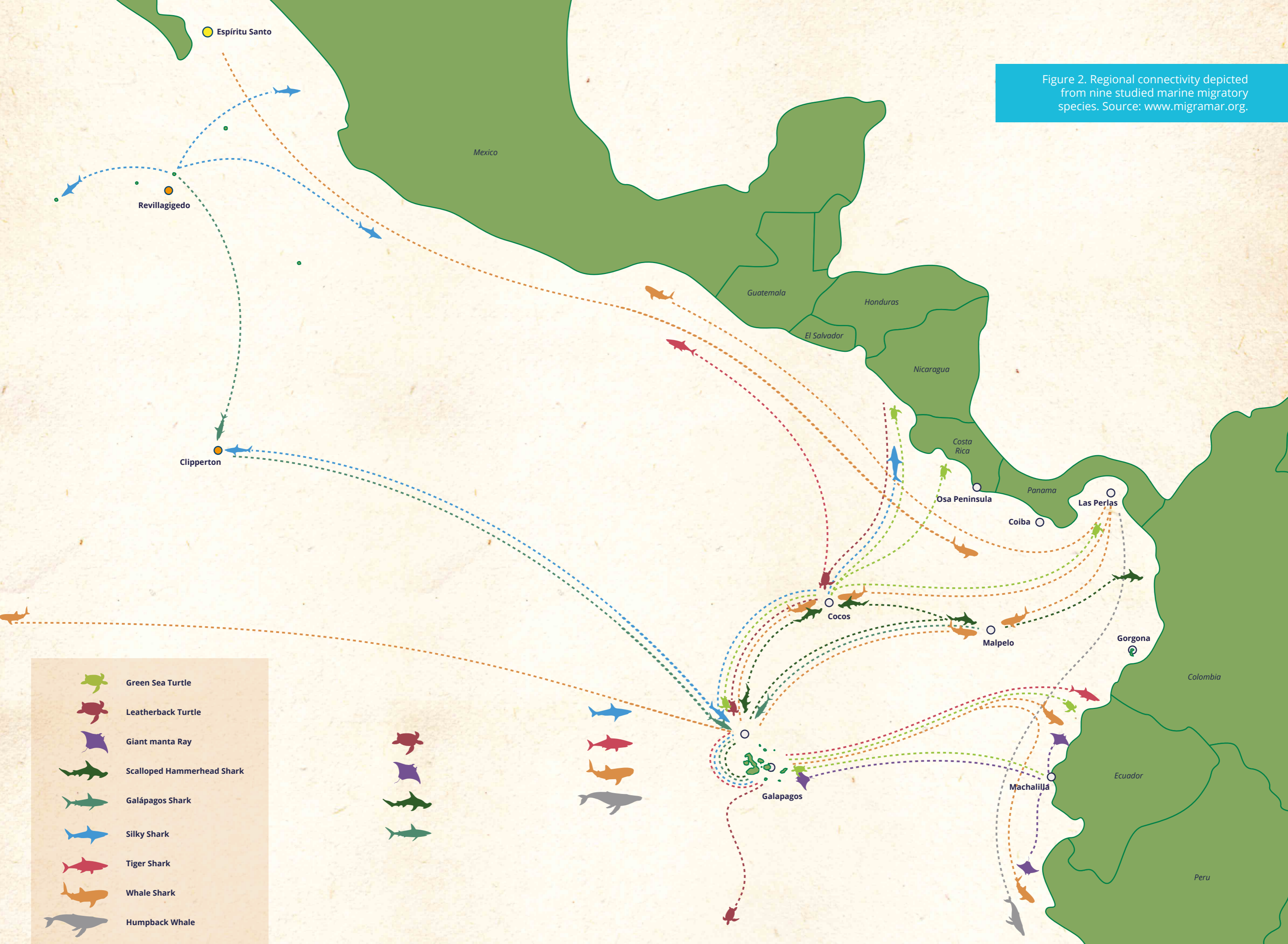
The use of spatial management tools during marine protected area creation (no fish, and sustainable fish zones) is useful for limiting extraction of sensitive species and buffering fishing effects on surrounding marine ecosystems [15, 24, 25]. There exists sufficient evidence that MPAs maintain coastal fish biomass and diversity [e.g. 24, 26, 27], whether predator or prey [28]. The migratory nature of many fish, reptile, and marine mammal species, nevertheless, reduces the effectiveness of MPAs when those animals cross protected area borders into unregulated national and international waters [29]. They then become particularly vulnerable when traveling between ecologically connected MPAs.

In ETPO, a considerable effort has been made to identify the breadth of movements and the migratory routes of various marine species. Using molecular techniques and acoustical

and satellite telemetry, the direction and movement of sharks, rays, sea turtles, and marine mammals that inhabit coastal and oceanic zones have been identified [30–34]. These studies determine no longer just spatial and vertical behavior of these species, but also the degree of connectivity between diverse MPAs in the region (Figure 2). One of the most important results suggests the existence of just one interconnected ecosystem between CINP, SMMA, the GMR, and MFFS. Because of this finding, these reserves should not be managed individually, rather as part of one consolidated ecological system.

The concept of Swimway was born in response to the need to protect ecosystem integrity, as much for open waters as for reefs that connect regional MPAs [35]. For this reason, the Swimway Coco-Galapagos is the next logical step to strengthen state conservation efforts by Ecuador and Costa Rica and respond directly to various public and private initiatives in the region [36]. Swimway would then, as a matter of mission, provide greater protection to those species that migrate between Cocos and Galapagos protected areas in order to preserve the ecological connectivity and integrity of the three MPAs. This study synthesizes the technical information and evaluates the feasibility of creating an area for the biological and ecological conservation of migratory species that inhabit ETPO.

Figure 2. Regional connectivity depicted from nine studied marine migratory species. Source: [www.migramar.org](http://www.migramar.org).



-  Green Sea Turtle
-  Leatherback Turtle
-  Giant manta Ray
-  Scalloped Hammerhead Shark
-  Galapagos Shark
-  Silky Shark
-  Tiger Shark
-  Whale Shark
-  Humpback Whale

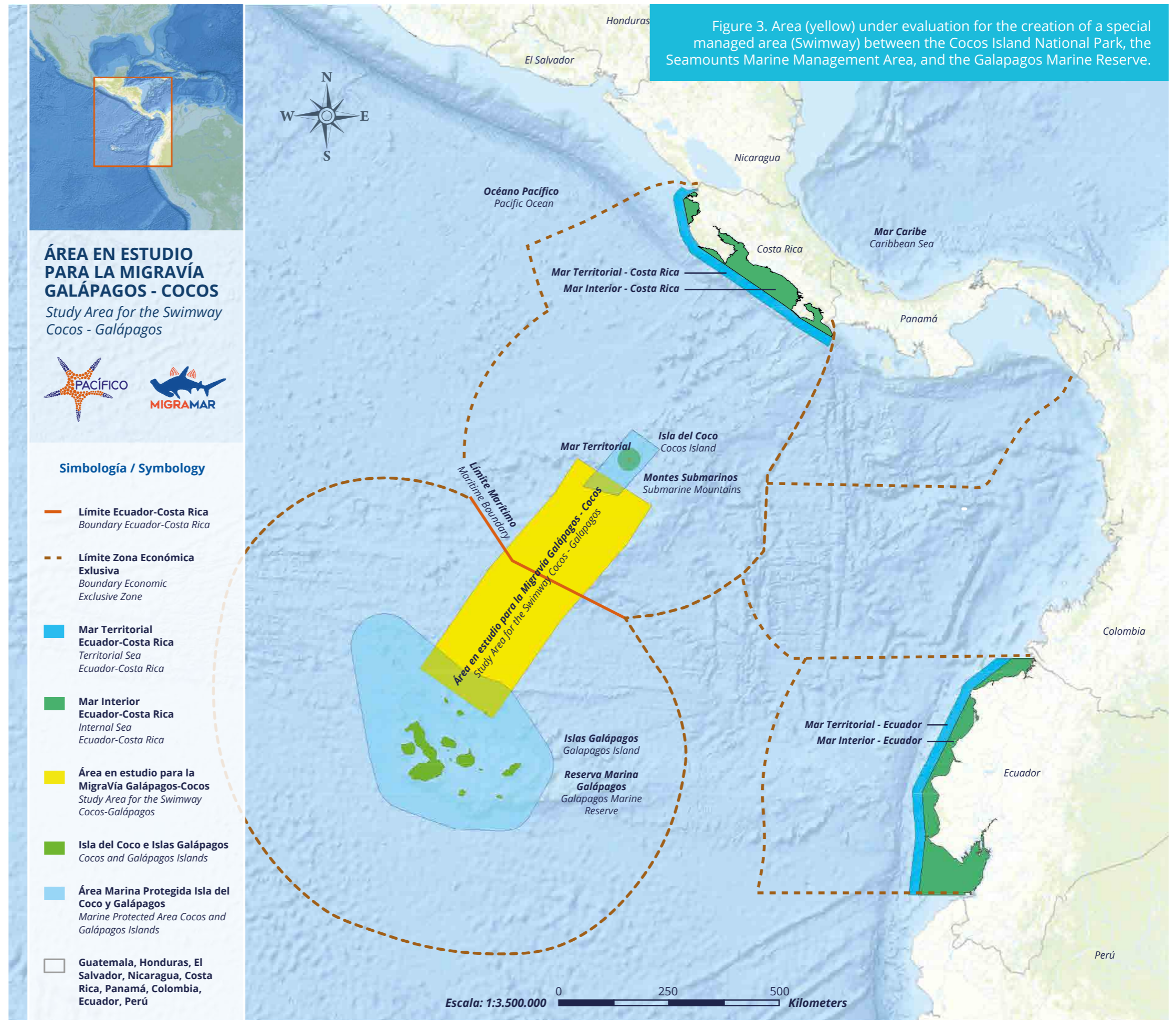


## Geographical and political context

Cocos Island is over 500 km from the Pacific coast of Costa Rica, the country to which it belongs. CINP was established in 1978 under Executive Decree 8758-A. The MPA has experienced a slow size increase since its creation in 1984. There currently exist 1,520 km<sup>2</sup> of protected area, and with a 22 km radius around the island, the total marine reserve area is 9,640 km<sup>2</sup> [37].

The Galapagos Archipelago lies 1,000 km west of mainland Ecuador, the country which owns it. It consists of 13 large islands, six small, and more than a hundred islets and exposed rocks [38]. The Galapagos Marine Reserve that surrounds it covers some 138,000 km<sup>2</sup> (133,000 km<sup>2</sup> if one subtracts island surface area), measured with a radius of 74 km from the most wayward points on the outermost islands. The reserve was created in 1998 after a long participatory process that began in 1986 [39, 40].

The area under study for the creation of the Swimway is found between the exclusive economic zones of Costa Rica and Ecuador, between CINP, the SMMA, and the GMR (Figure 3). This area includes more than 150,000 km<sup>2</sup> and extends from the center of CINP to the center north part of the GMR. The political jurisdiction is shared almost equally between both countries, which have their own laws and regulations for spatial and temporal management for natural resources [14].





# Environmental assessment

Giant Manta Ray (*Mobula birostris*)

Christian Vizl

## Physical characteristics

### Geology and bathymetry

With respect to geology, ETPO lies principally on the Cocos Plate, but also to some degree on the Nazca Plate (to the south and east) and the Pacific Plate (west; Figure 5). The continental plates of South America, Caribbean, and North America form the tectonic boundaries to ETPO, while the Pacific Plate represents the western limit of ETPO [41]. The average regional depth is around 3,500 m [3]. The shallower zones are found on the continental shelf formed by the South American, Caribbean, and North American Plates. Here the maximum depth reaches between 200 and 500 m before falling precipitously in the subduction trenches of the Cocos and Nazca Plates underneath continental plates. To the west, depths reach an average of 4,000 m. The maximum depth reaches 8,000 m in the Atacama Trench located in the subduction zone of the Nazca Plate underneath that of South America, just in front of the Peruvian and north Chilean coasts.

In ETPO, there are two outstanding submarine mountain ranges called Cocos and Carnegie (Figure 4). Both erupted from elevated volcanic activity in the Galapagos Rise hotspot located exactly between CINP and the GMR [42]. The Galapagos Rise is a fracture zone between the Cocos and Nazca Plates characterized by intense volcanic activity, with magma that ascends directly from the Earth's mantle [43]. The origin of both mountain ranges dates back more than 30 million years during which each moved in accordance with the plates on which they rest. The Cocos range moved from the Galapagos Rise to the subduction zone of the Cocos Plate with the Caribbean Plate, just off of Costa Rica's coast [44]. The Carnegie Range lies on top of the Nazca Plate

and enjoyed two formative events on the same Galapagos hotspot. Currently Carnegie has a discontinuous distribution that begins in the archipelago and extends toward the subduction zone of the Nazca and South American plates off the coasts of Ecuador [45]. Both ranges form a triangle of submarine mountains that connect Central and South America with the Galapagos Archipelago.

Cocos Island is a young volcano that rises 2,500 m from ocean bottom and constitutes as well the only emergent part of the Cocos submarine range [46]. The island formed about 1.2 to 2 million years ago, product of magnetic anomalies and diverse volcanic and tectonic processes associated with the Galapagos Rise [47]. In the island's neighboring zones, there are at least four submarine seamounts with peaks less than 100 m underwater [48].

The Galapagos Archipelago began 30 million years ago through intense volcanic activity from the Galapagos Rise hotspot [49]. Its islands have a recent geologic history. The oldest, San Cristobal and Española, were formed some 2.8 to 5.6 million years ago, while the younger ones, Isabela and Fernandina, were born only 60 to 300 thousand years ago, respectively [50]. The Galapagos shelf has depths between 200 and 4,000 m in the west and south where it has a great dropoff reaching 3,000 m only 50 km from the coast. On the northeast side, the depth varies gradually particularly in the area where the Carnegie and Cocos mountain ranges come together [38].

The area covered by Swimway can be found over the Cocos Plate, which includes the mountain

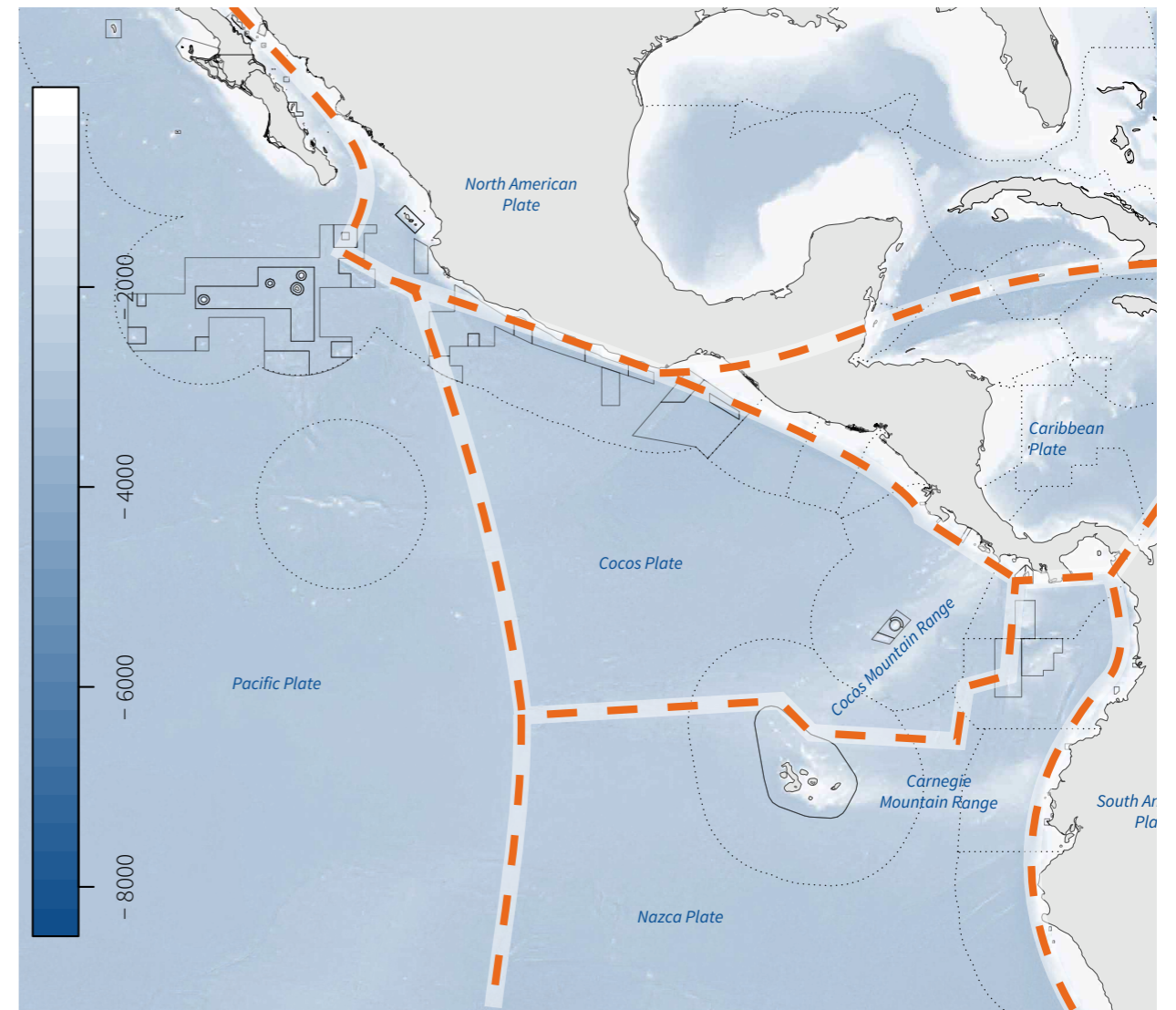


Figure 4. Tectonic plate and submarine ridge location in the Eastern Tropical Pacific Ocean. The left blue-gradient colored-scale represents the seafloor depth in meters.

range of the same name from its origin north in CINP to the south where it connects with the GMR (Figure 4). The maximum depth reaches 3,000 m, but can also achieve depths less than 500 m [3].

Its bathymetric profile indicates that at depths less than 1,500 m, there is a base wider than the mountain range to the southeast of Swimway. Additional submarine seamounts have been

reported by Lizano [48]. At least five submarine peaks with potentially shallow depths (<500 m) are within Swimway. One of these is Mount MS01 (also known as Paramount), one of the few located within Ecuador's EEZ. Given the resolution of globally available bathymetric information [30"; 3 ], it is not possible to detect the absolute number of shallow submarine peaks in the region, or the exact depths of the 12 known ones.

## Oceanography and climate

The oceanographic system of ETPO is highly dynamic in time and space. The region can be found between the two subtropical gyres of the north and south [51]. Centrally located between Mexico and Costa Rica, warm waters with annual average temperatures above 27.5°C represent the principal characteristic of ETPO [4]. This warm pool forms as a result of the interchange of heat and lessening of the

predominant trade winds in Central America [52, 53]. The warm pool extends to the western Pacific through a warm water region located at 7°N latitude (Figure 6).

In the north, the California Current flushes the zone with cold (annual average ~16°C), low salt (~32 ‰), nutrient-rich water which generates a latitudinal temperature gradient of as much as

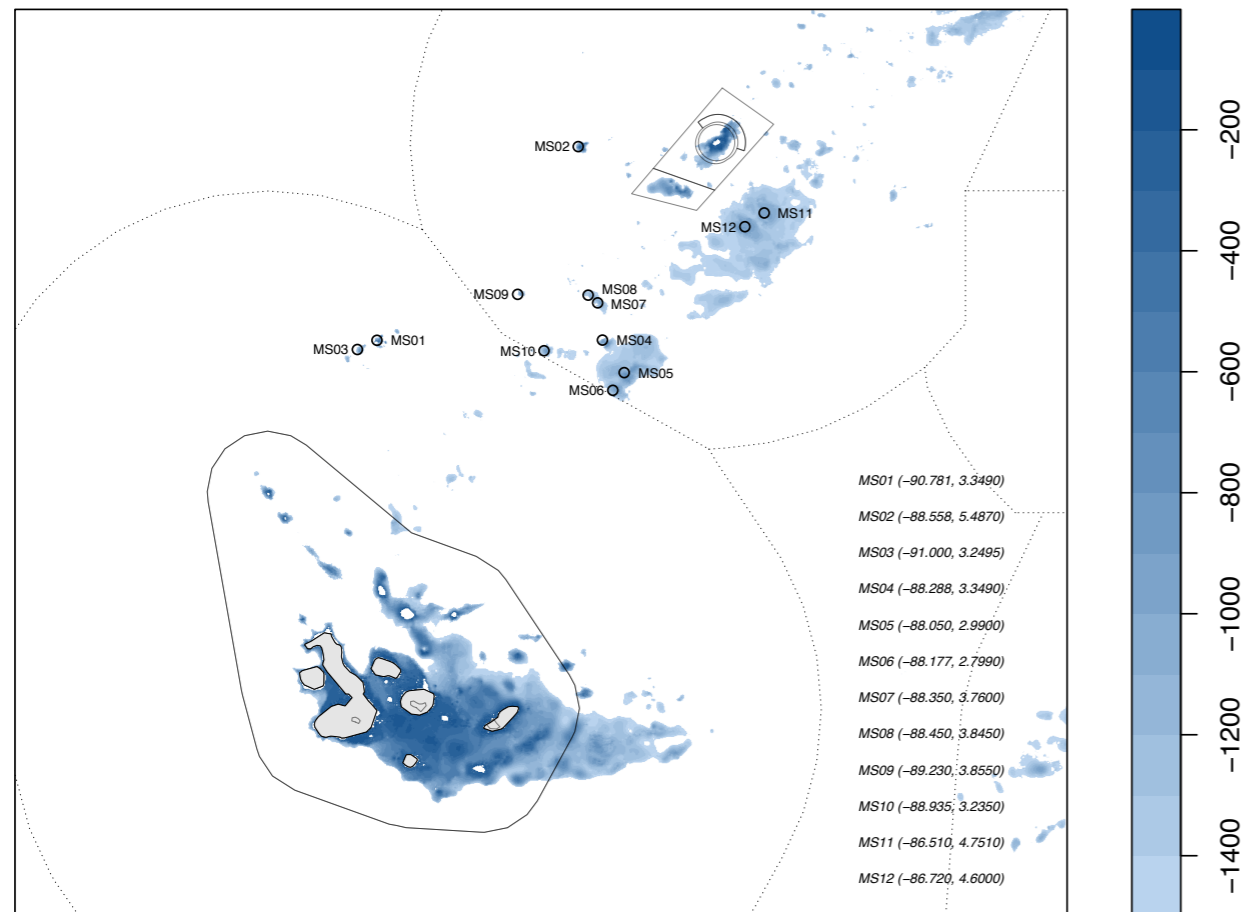


Figure 5. Geographic location of 12 seamounts in the Swimway Cocos-Galapagos. The color scale represents the seafloor depth in meters.

10°C [54]. To the south, the Humboldt Current limits the tropical range of ETPO with cold (annual average ~18°C), saline (~35 ‰) water that comes from the Antarctic and upwellings off the coasts of Peru and Chile. In the central part of ETPO, the Panama Current washes the Central American coasts and northern South America with warm (average annual ~28°C) and low salinity water, that then spins toward the Equatorial zone. The movement of marine currents extends the warm pool from the Central American coast to the southwest Pacific Ocean by way of the North Equatorial Current (that flows east to west) parallel to the North Equatorial Counter Current (west to east) [51].

The confluence of equatorial currents, both the warm and cold from north and south of ETPO, generates high and low-pressure zones marked by dynamic seasonality, intensity, and polarity [55].

In these areas, the eddy kinetic energy of the oceans dissipates because of the vertical interchange of heat and other water properties [56], but there are also important vertical transfers of minerals and nutrients that drive local primary and secondary productivity [57]. Oceanic fronts tend to occur in these zones of high eddy kinetic energy (EKE) given the physical forces that generate an intermixing of marine currents with different physical conditions such as temperature and salinity.

The oceanographic variability that results from the continuous interaction of these currents is exacerbated by destabilizing climatic conditions such as the El Niño Southern Oscillation. This phenomenon generates

warmer sea surface temperatures that extend from ETPO to the western Pacific principally due to an atmospheric and oceanographic circulatory reconfiguration. The name refers to the alternation between the warm El Niño phase and the cold La Niña phase of Pacific water masses. These phases precipitate alterations in rain patterns from the high plains to the west coast, the center, and South America [58]. The effects of El Niño can be global as it directly affects physical, biological, and ecological marine processes. Those effects include a marked reduction in primary productivity in upwelling zones [59], reduction in the health and marine species richness [60], the horizontal and vertical displacement of migratory species toward favorable habitat and food [61], as well as the reduction in ocean productivity and fishing yields [62].

Cocos Island receives as much as 7,000 mm of rain annually, [52], particularly between May and November (warm and rainy season). Precipitation during this season causes changes in water stratification, during which parameters such as salinity decrease, while surface water temperatures increase. During the dry season (December to April) upwellings occur enriched with nutrients and minerals such as nitrogen and phosphorus that feed primary productivity in surface waters [63]. Changes in air pressure between tropical and sub-tropical zones from April to November contribute to upwellings that generate strong winds and waves [52]. Dominant winds from October to November travel southwest and arrive full of kinetic energy [64].

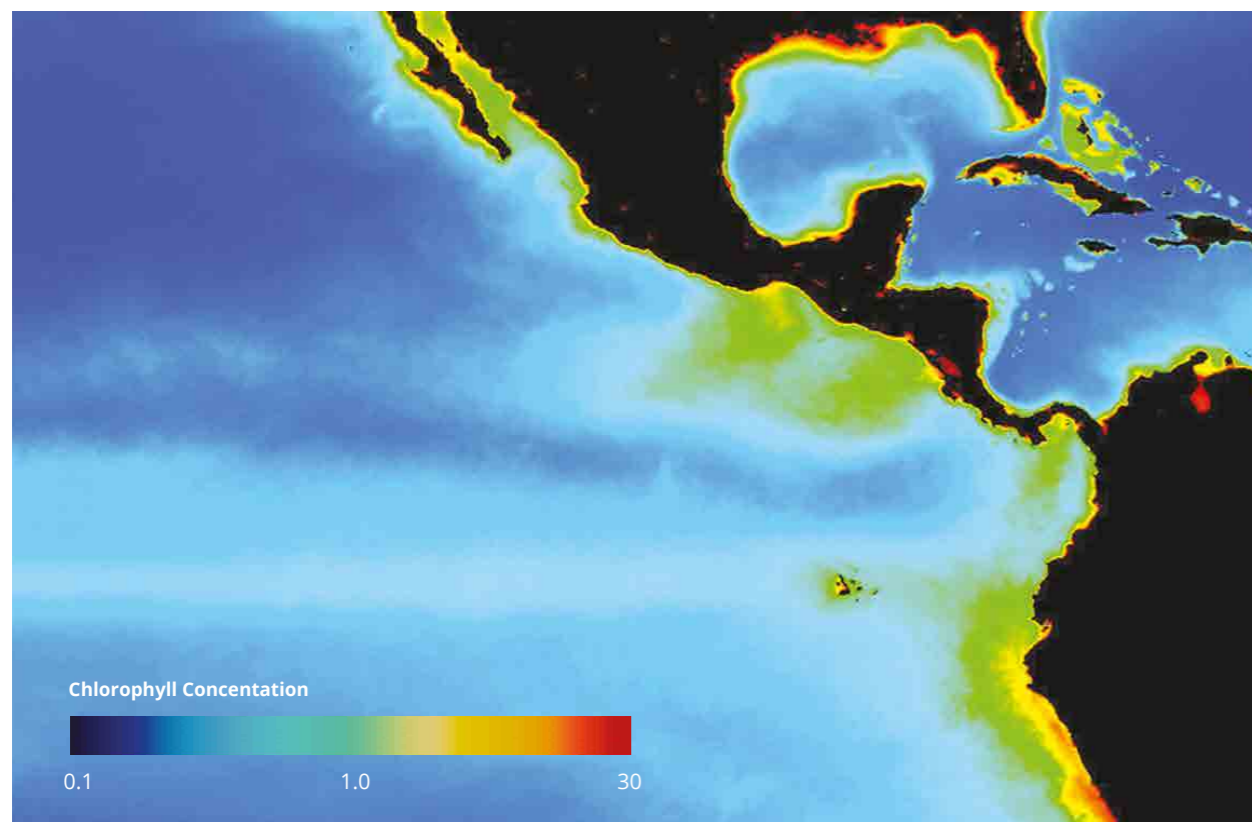
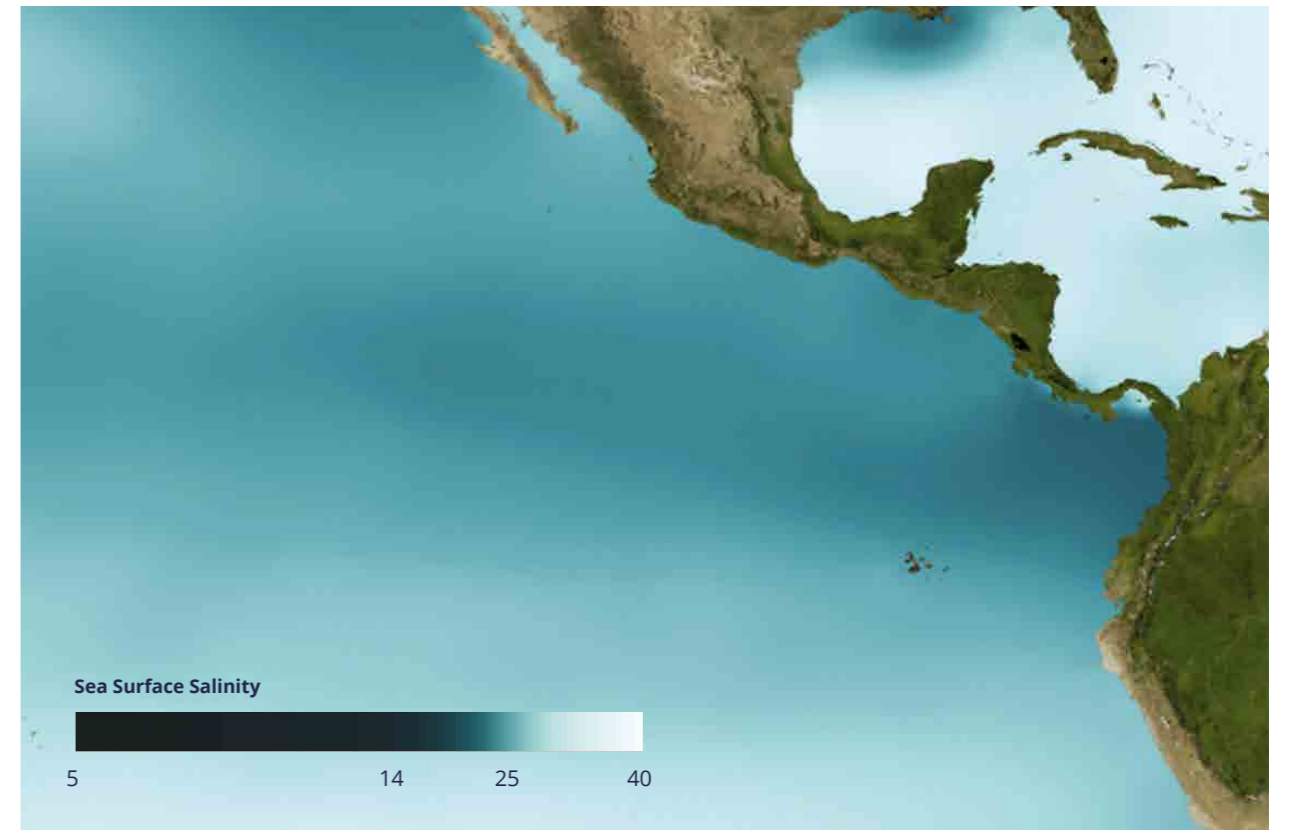
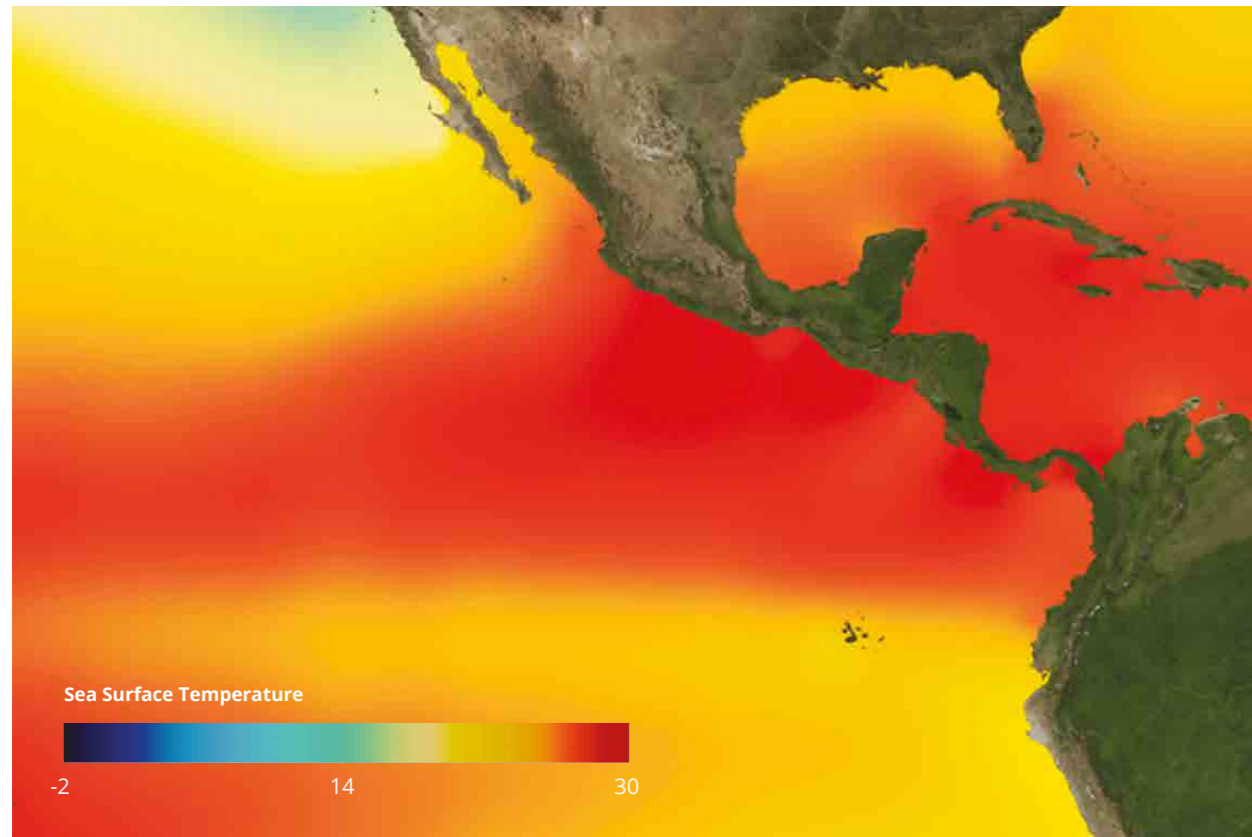


Figure 6. Sea surface temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and chlorophyll concentration ( $\text{mg m}^{-3}$ ) gradient spatial distribution within the Eastern Tropical Pacific Ocean.

Figure 6 (continued). Sea surface salinity (%) and eddy kinetic energy ( $\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ) gradient spatial distribution within the ETPO. Source: NASA Scientific Visualization Studio (svs.gsfc.nasa.gov).

Three marine currents affect the Galapagos Marine Reserve across two distinct climatic seasons: warm waters (December to April) and cold waters (June to October) [65]. November and May represent months of transition between seasons. The strengthening of the Panama Current from Central America produces warm conditions in the archipelago,

elevating sea surface temperatures (SST) to 25–30°C, which also reduces salinity from 34‰ to 30‰ [66]. The cold season is driven by the Humboldt Current from Chile and Peru which reduces sea surface temperatures by some 23° to 14°C and elevates salinity to 35‰, particularly in the center-south region of the GMR [66]. The spatial seasonal variation between

the two currents produces a mixed region (oceanic front) that fluctuates latitudinally in the northcentral area of the archipelago. In this oceanic front exists a noted gradient in SST, salinity, primary productivity and EKE that extends toward the west because of the Southern Counter Equatorial Current (Figure 6). Finally the submerged Cromwell Current that flows west to east at a depth of between

100 and 300 m and collides with the western side of the Galapagos Islands shelf produces patches of elevated primary productivity [67]. These patches are located principally in the western region by Fernandina and Isabela Islands. They elevate primary productivity of the area to the west flowing with the Southern Equatorial Current.

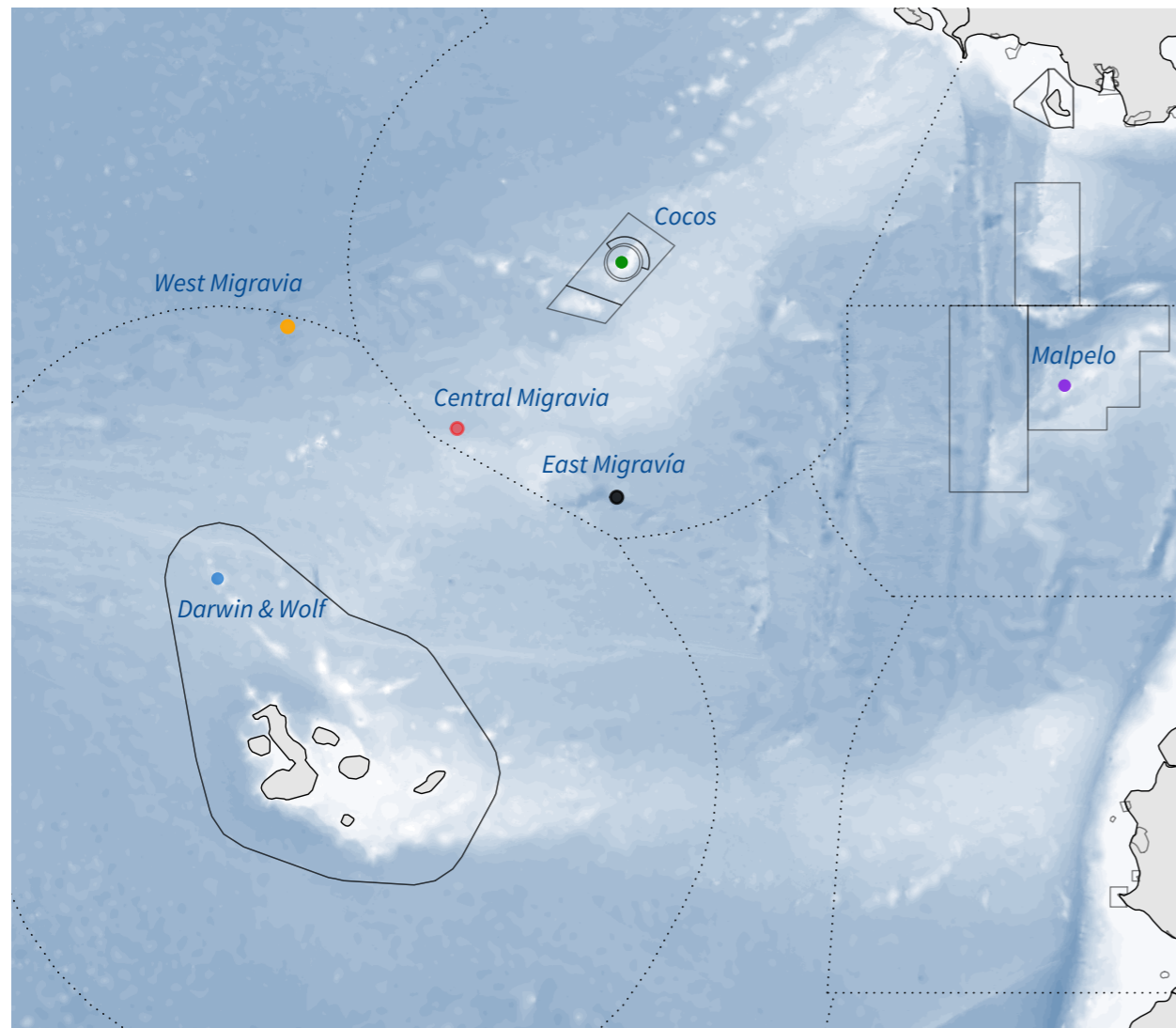


Figure 7. Sea surface temperature, chlorophyll concentration, and eddy kinetic energy monthly variations at Darwin and Wolf Islands (Galapagos), Cocos Island (Costa Rica),

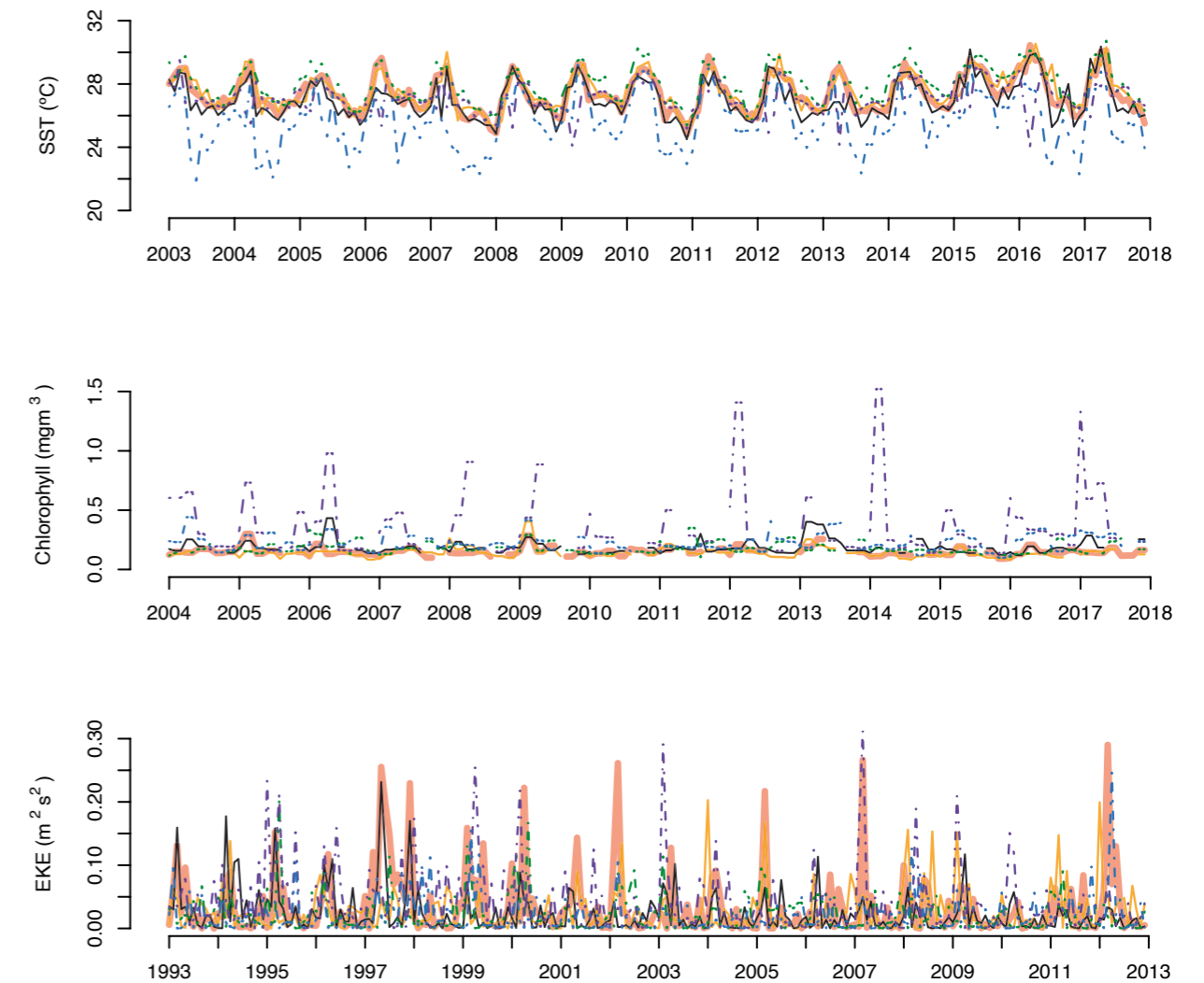


Figure 7 (continued). Malpelo Island (Colombia) and three sites within the Migravia study area.

The oceanography of the Swimway is highly variable and dynamic. The observable variation in SST [68], Chlorophyll concentration (CC) [69], and EKE [70], nevertheless, responds almost at the same seasonal rate inside the Swimway as in the CINP, the north of the GMR (Darwin and Wolf) and MFFS (Figure 7, 8). The regional average SST fluctuates between 27° and 28°C for all sites except the northern Galapagos, where the SST average is 25.6° C. A breakdown of SST shows a clear positive trend in the sites over the past 15 years (Mann-Kendall multivariate  $p=0.03$ ; Figure 9). It can also be observed, as well, a very marked difference in SST variation from January to May (warm) with July to November (cold; Figure 8). This monthly pattern is different from that of Malpelo Island, where cold SST variations extend from October to April and warm from May to September.

The regional CC average fluctuates between 0.15 and 0.22  $\text{mg m}^{-3}$ , except for Malpelo Island where the average is 0.35  $\text{mg m}^{-3}$  (Figure 7, 8). Unlike SST, the variation pattern in CC differs significantly between sites. The lowest chlorophyll production values are found within the Swimway, while Malpelo region registers the greatest productivity. The variation in monthly chlorophyll production is also much more stable and less for sites within the Swimway, but more variable and greater for Malpelo Island (Figure 8). Here production is highest between February and May and lowest

between June and December. The breakdown of this time series reveals a trend in the last 15 years (Mann-Kendall multivariate  $p=0.175$ ).

The EKE varies considerably throughout the entire region and does not reveal a clear correlation pattern among studied sites (Figure 7). The regional average EKE fluctuates between 0.21 and 0.042  $\text{m}^2\text{s}^{-2}$ . Malpelo and the center of Swimway are sites with greater kinetic energy, while Cocos Island and northern Galapagos show lower values. A breakdown of these time series data shows a slight but significant reduction in the magnitude of regional kinetic energy in the last 15 years (Mann-Kendall multivariate  $p<0.005$ ; Figure 8), particularly around Cocos Island and the eastern side of Swimway. There is a clear seasonality in kinetic energy in ETPO with greater values from February to April and lower ones from July to December (Figure 8).

Analysis of SST shows a clear positive regional trend. Changes in SST can generate considerable change in regional oceanographic parameters, particularly with respect to primary productivity [71]. Large-scale changes can threaten the resilience of entire ecosystems, even within MPAs [72]. ETPO and studied MPAs so far do not show a significant change in CC, but they do in EKE.

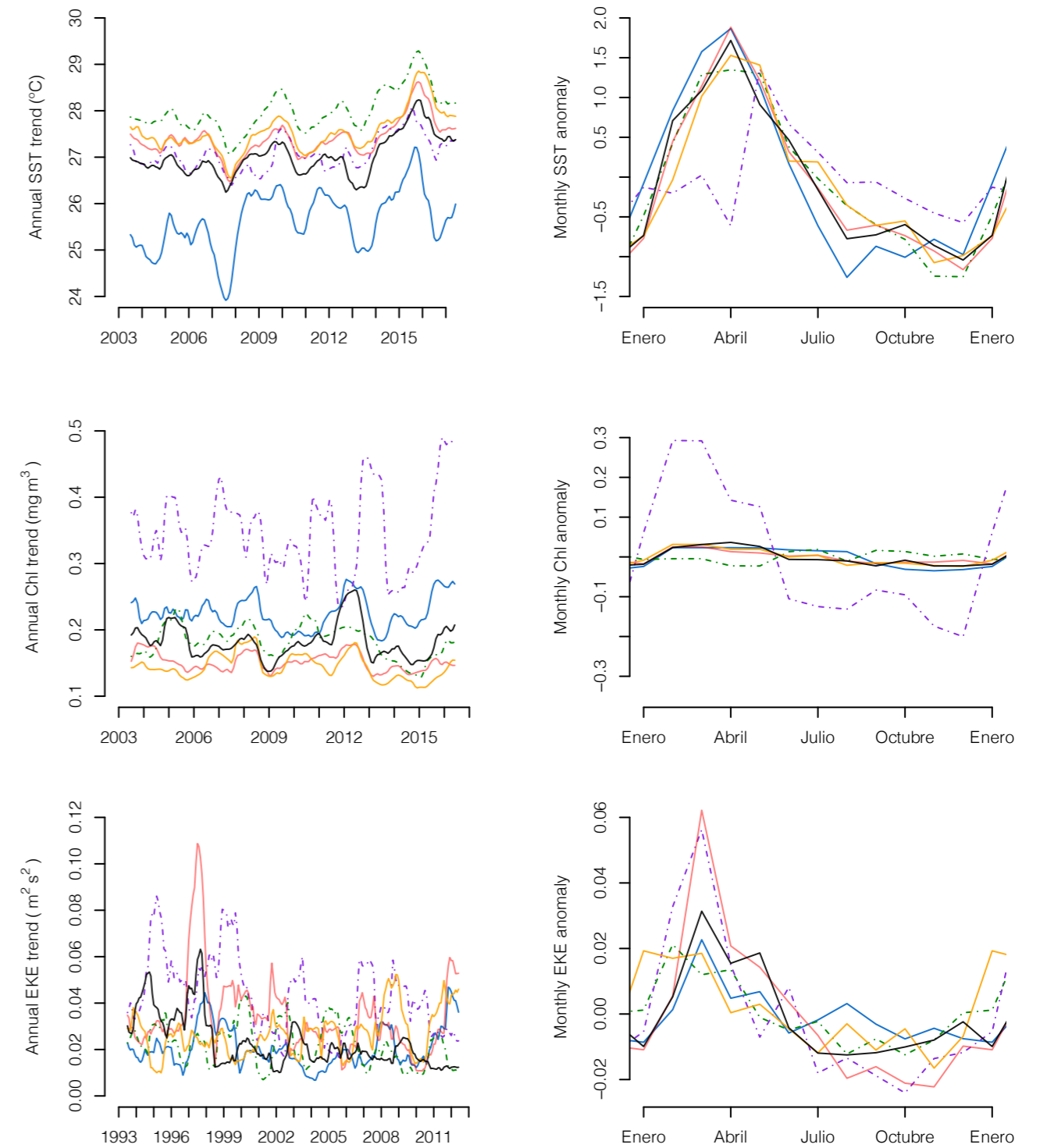


Figure 8. Yearly trends (left) and monthly seasonality (right) observed by breaking down sea surface temperature, chlorophyll concentration, and eddy kinetic energy time series data of the six locations shown in Figure 7.

## Biological and ecological characteristics

### Diversity

Diversity and community structure differ significantly between ETPO and surrounding biomes and bioregions. Within ETPO there are coastal, oceanic, and abyssal ecosystems with communities that come from not only the tropics but also temperate and sub-Antarctic zones as well [1]. More than 5,000 invertebrate marine species [6], more than 1,000 fish [7, 8], 30 marine mammals [9], 123 marine birds [10], and six reptiles [11] have been identified in the region (Table 1). Compared with invertebrates, the vertebrates possess a greater percentage of threatened species. Some 18% of rays, 24% sharks, 66% reptiles, 16% mammals, and 26% birds are in danger of extinction or vulnerable (according to official IUCN Red List categories). Invertebrate marine species possess a smaller percentage of species in danger of extinction (echinoderms, 0.8%) and none are vulnerable; there exists, nevertheless, still a high number of species which have not yet been systematically studied.

Cocos Island National Park contains island, marine, and terrestrial environments with bays, islets, pinnacles, and coral reefs that serve as refuges for local and migratory birds, fish, and mammals [73]. This MPA is habitat for more than 514 species of marine fish (10% endemic), of which 58% are benthic, and the other 42% are pelagic and deep water [74]. The fish with the greatest tourist value include Silvertip Sharks (*Carcharhinus albimarginatus*), Hammerhead Sharks (*Sphyrna lewini*), Blacktip Sharks (*Carcharhinus limbatus*), Whitetip Reef Sharks (*Triaenodon*

*obesus*), Tiger Sharks (*Galeocerdo cuvier*), Round Ribbontail Rays (*Taeniura meyeni*), Eagle Rays (*Aetobatus narinari*), occasionally the Whale Shark (*Rhincodon typus*) and the Giant Manta Ray (*Mobula birostris*) [75]. In addition, there are around 470 species of mollusks (1.3% endemic) [76], 130 or more species of echinoderms (2.4% endemic; [77]), more than 263 species of crustaceans (4.9% endemic) [76], around 60 species of marine algae [78, 79], some 60 species of local and migratory marine birds (5% endemic) [80], and 16 species of marine mammals [81, 82]. There are also on Cocos Island around 83 species of cnidarians (6.1% endemic), of which 48% are coral Anthozoans (6.4% endemic) [37, 76]. Among the most abundant coralline species include *Porites lobata*, *Psammocora profundacella* and *Pocillopora* spp, which form the most extensive coral reefs of ETPO [37].

The Galapagos Marine Reserve also enjoys high biodiversity. Given the confluence of cold and warm marine currents as well as the presence of the Cromwell upwelling, this region shares species of Panamic, Indo-Pacific, and Australian origin [83]. In fact, the Galapagos's habitat richness supports the most functionally diverse fish communities in the world [12]. The most recent studies report 565 coastal and coastal-pelagic species (50 km from the coast), of which 13.6% are endemic to the archipelago and 17.8% are endemic to the Cocos-Galapagos region and Cocos-Galapagos-Malpelo [84]. Within this group, there are 33 species of sharks and

six rays with a circumtropical distribution; nine shark and six rays are eastern Pacific; three shark and three rays are species from Peru and Chile; two sharks and two rays are possibly endemic to the Galapagos or the Cocos-Galapagos region [85]. Within the GMR there are a total of 26 reported species of marine mammals (7% endemic), six species of marine reptiles (1 endemic), and approximately 88 species of marine birds

(6.8% endemic) [38]. With respect to marine invertebrates, it is estimated that 4,500 species inhabit the reserve, of which 435 are cnidarians, 790 are crustaceans, around 400 are echinoderms, 1,400 mollusks, and 900 are algae [86].

Currently, the total number of species in the Swimway region is unknown.

Table 1. Conservation status of species found within the Eastern Tropical Pacific Ocean.

Functional Group	Endangered (%)	Vulnerable (%)	Near threatened (%)	Data deficient (%)	Least concern (%)	Not evaluated (%)
Echinoderms	0.8	0.0	0.0	3.1	5.3	90.8
Poriferans	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Annelids	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Cnidarians	0.0	0.0	4.5	0.0	18.2	77.3
Mollusks	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	90.5
Crustaceans	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	97.3
Chimaeras	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Rays	8.3	10.4	14.6	58.3	6.3	2.1
Sharks	6.3	28.1	23.4	31.3	9.4	1.6
Bony Fish	0.6	4.1	1.6	6.7	67.3	19.7
Reptiles	50.0	33.3	0.0	0.0	16.7	0.0
Mammals	10.0	6.7	0.0	43.3	40.0	0.0
Birds	11.4	15.4	11.4	2.4	59.3	0.0



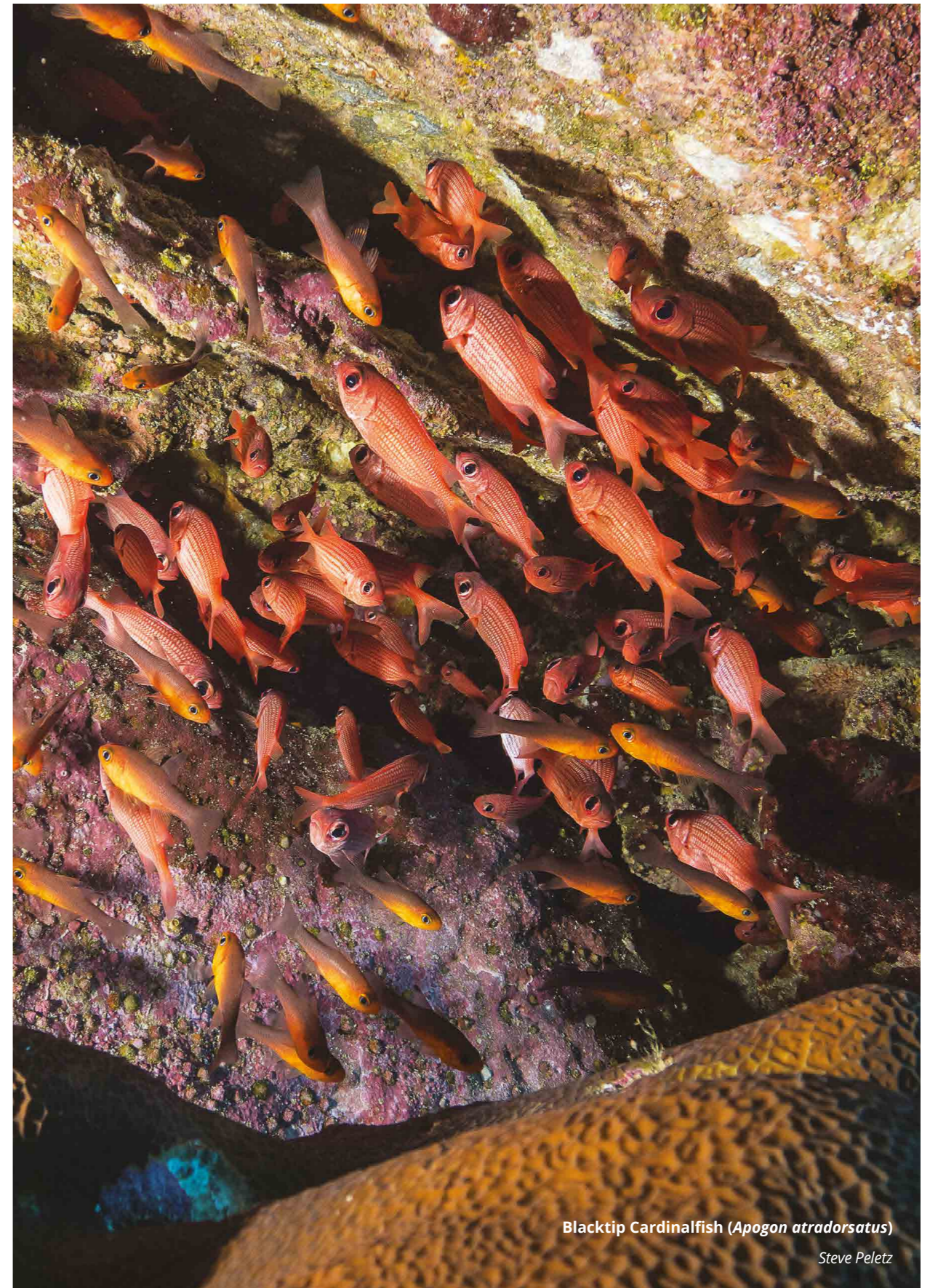
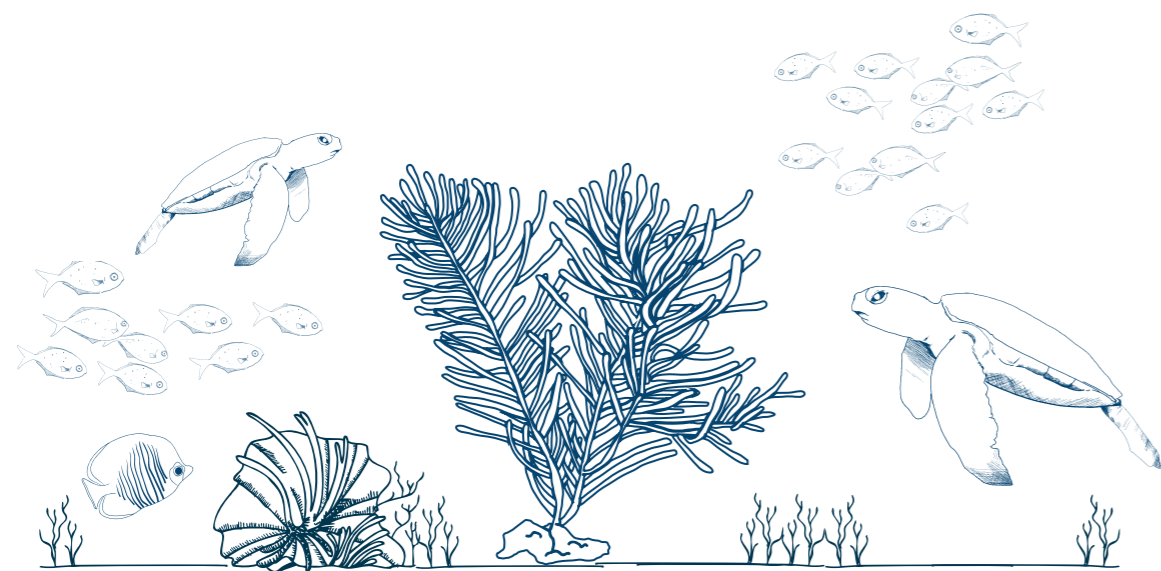
## Community structure

Benthic communities are those composed of plants and animals that live on the ocean bottom, whether partially buried, fixed, or with short dispersals far from the bottom [87]. These communities are highly variable depending on the type of substrate (rocky or sandy) and the depth where they are found [87]. Rocky and coralline reef communities are highly productive compared to sandy bottom communities, mostly because of the substrate structural complexity which influences species richness [88].

There exists little available information in order to analyze benthic and pelagic community structure in ETPO, especially in the Swimway. Based on data collected by the Reef Fish Life Surveys [89], fish communities that inhabit continental and oceanic reefs are dominated largely by Scissortail Damselfish (*Chromis atrilobata*), Cortez Rainbow Wrasse (*Thalassoma lucasanum*), Blacktip Cardinalfish (*Apogon atradorsatus*), Pacific Creolefish (*Paranthias colonus*), and Chameleon Wrasse (*Halichoeres dispilus*; Figure 9). The abundance

of these five species represents 46% of all those surveyed at various subtidal locations around Cocos Island, Galapagos Islands, Malpelo Island, and others sites on the Pacific coasts of Colombia, Costa Rica, Ecuador, and Panama.

Considering the geographical location (coastal and open water), nevertheless, there are significant differences in community fish structure (ANOSIM  $p=0.001$ ; Figure 10). All studied coastal sites show community structures dominated by the Scissortail Damselfish (*Chromis atrilobata*), Cortez Rainbow Wrasse (*Thalassoma lucasanum*), Chameleon Wrasse (*Halichoeres dispilus*), ray-finned fishes (sardines and herrings), and Spottail Grunt (*Haemulon maculicauda*), which represent 54% of the total measured abundance. On the other hand, sites from oceanic ecosystems are dominated by Blacktip Cardinalfish (*Apogon atradorsatus*), Pacific Creolefish (*Paranthias colonus*), Cortez Rainbow Wrasse (*Thalassoma lucasanum*), Red Snapper (*Lutjanus jordanis*) and Black-Striped Salema (*Xenocys jessiae*), together 52.4% of the measured total.



Blacktip Cardinalfish (*Apogon atradorsatus*)

Steve Peletz

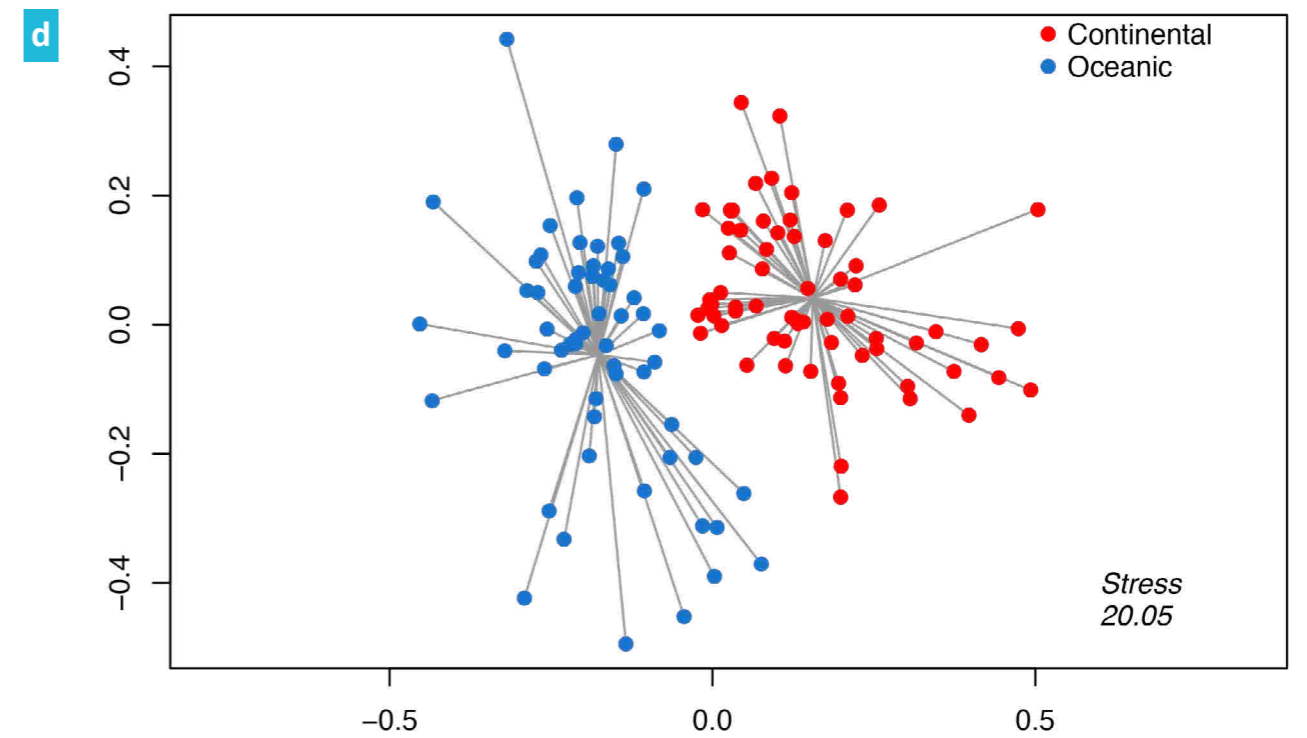
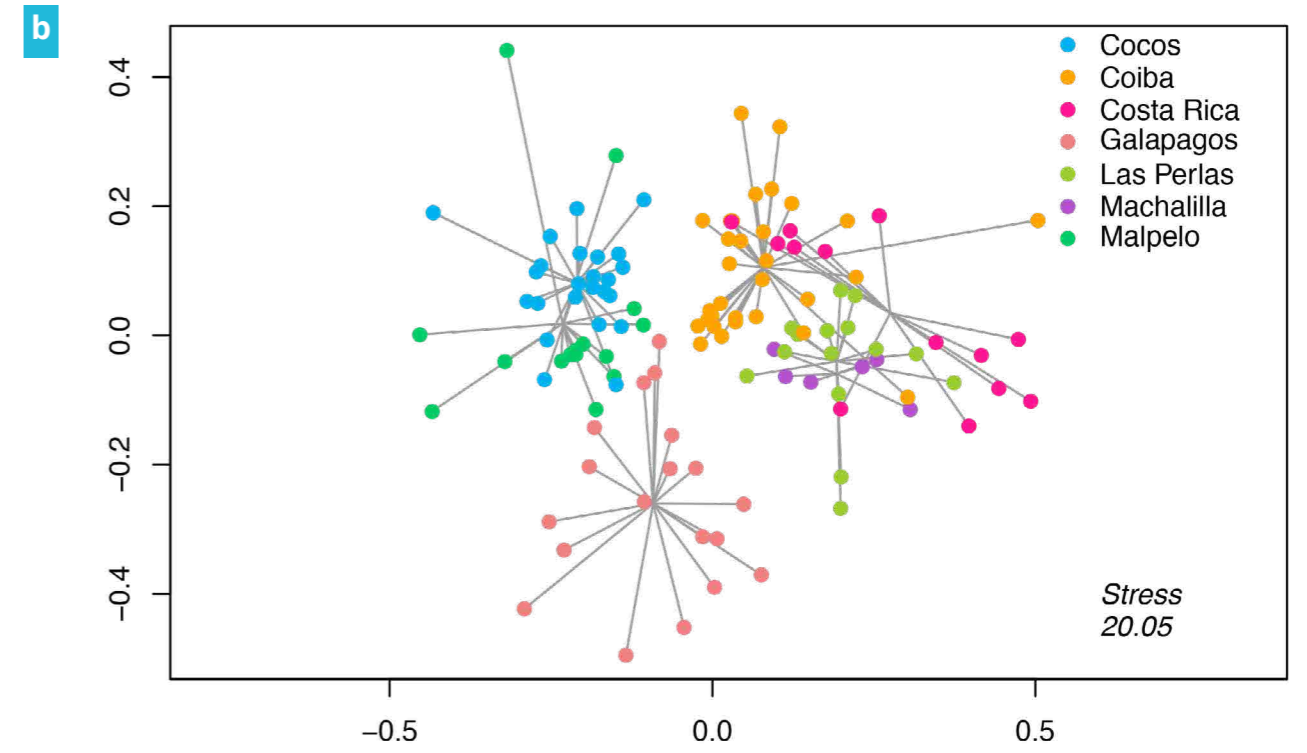
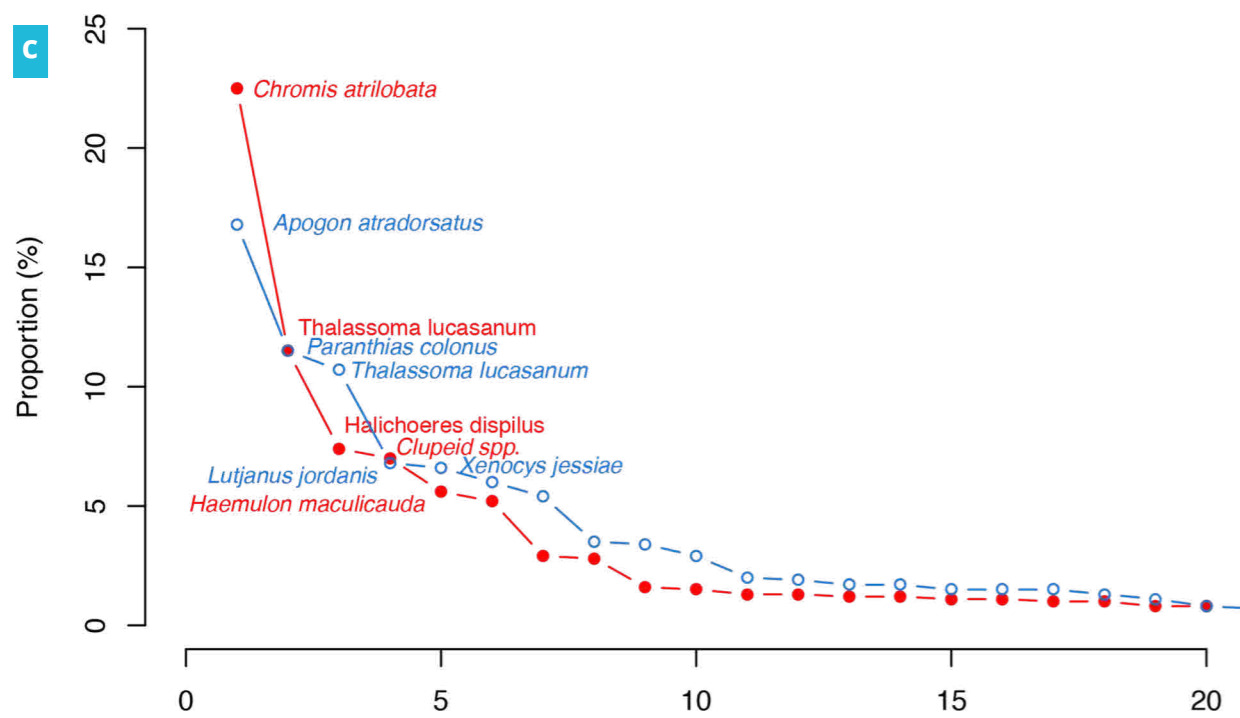
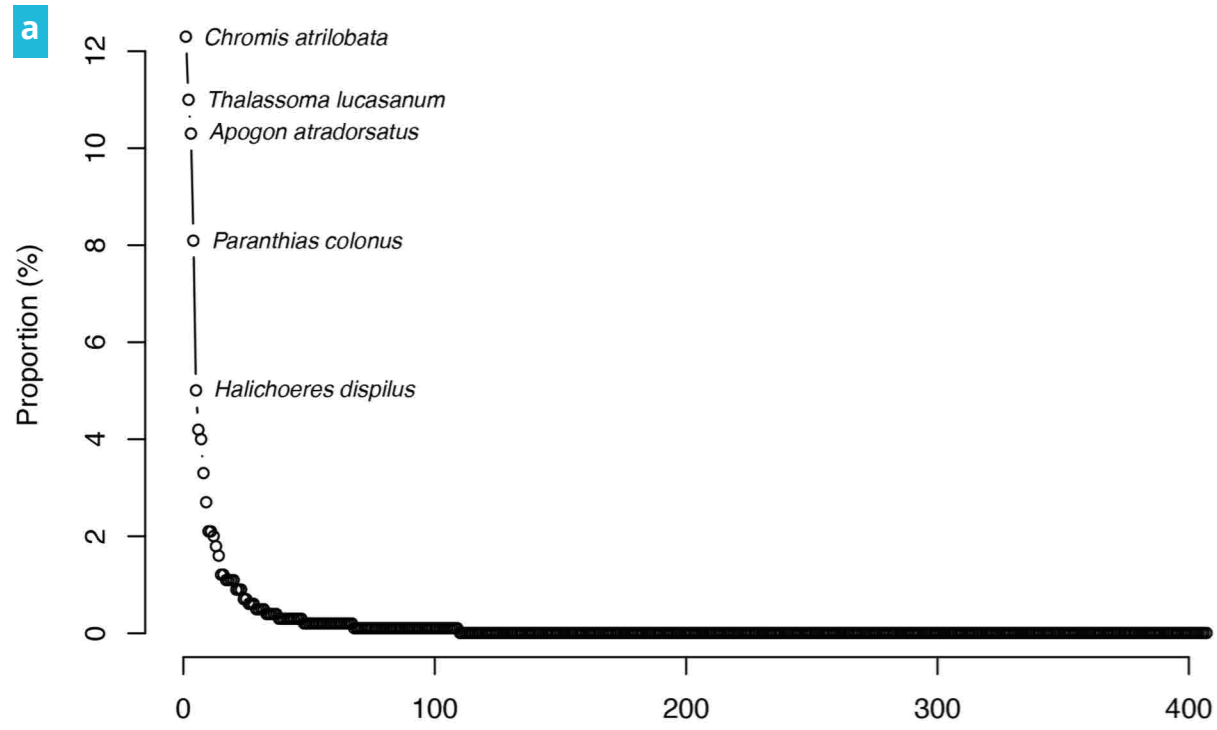


Figure 9. a) General reef fish dominance in seven study sites of the CMAR region. b) Community structure similarity of the studied sites. c) Reef fish dominance comparison between the studied sites in relation

Figure 9. (continued). to their geographic location. d) Community structure similarity between the studied sites in relation to their geographic location. Data provided by the Reef Fish Life Survey Project [89].

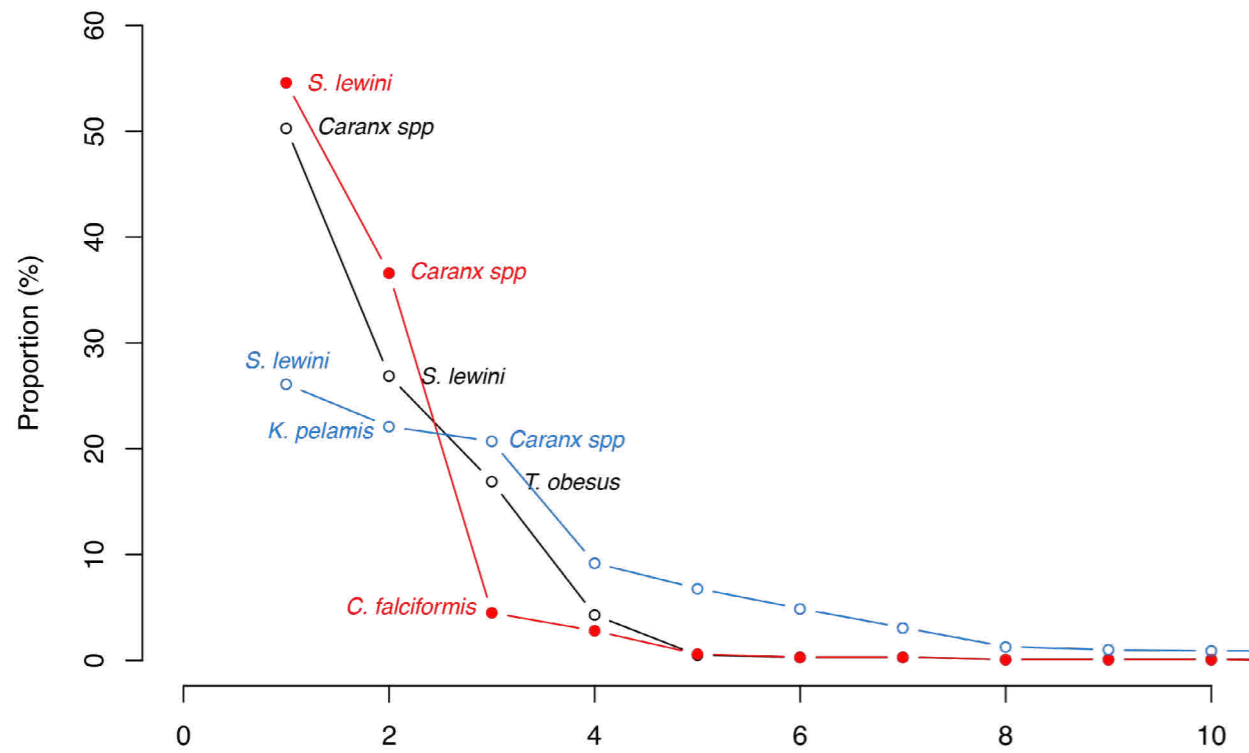


Figure 10. Species abundance ranking at Cocos Island (black), Malpelo Island (red), and Galapagos (blue). Source: Cocos (Undersea Hunter), Malpelo (Fundación Malpelo), Galapagos [90].

The relative abundance of megafauna (number of encounters) refers to species that move through the water column near reefs off of Cocos Island as well as Darwin and Wolf Islands (northern GMR) and Malpelo [75, 85, 91]. These studies show a similar species composition, principally influenced by abundance of Hammerhead Sharks, jacks (*Caranx spp*), Silky Sharks, and Black Skipjack (*Euthynnus lineatus*; Figure 10). Other frequently found species in the region include the Galapagos Shark (*Carcharhinus galapagensis*), Whale Shark (*Rhincodon typus*), sea turtles, Yellowfin Tuna and Bonitos, as well as the skipjacks and Rainbow Mackerel. The abundance of some of these species is significantly lower than Hammerhead Shark and Horse Mackerels (test-t  $p < 0.05$ ), but are important components of the seascape of these three protected areas.

The abundance of the Scalloped Hammerhead (*Sphyrna lewini*) represents one of the most notable characteristics in the region. In all three MPAs, there are great aggregating schools around the islands and seamounts, more often than not composed of large females that number from 70 to 90 individuals [75, 85, 91]. One recent study estimated that per dive, one can observe 400 to 600 unique individuals, while 3,000 could be observed each day in an aggregation site for this species in the GMR [90]. Despite other studies also reporting high numbers of this species in the three MPAs [92], it has also been suggested that habitat size limits the quantity of individuals which can coexist at the same time around islands and seamounts [90].

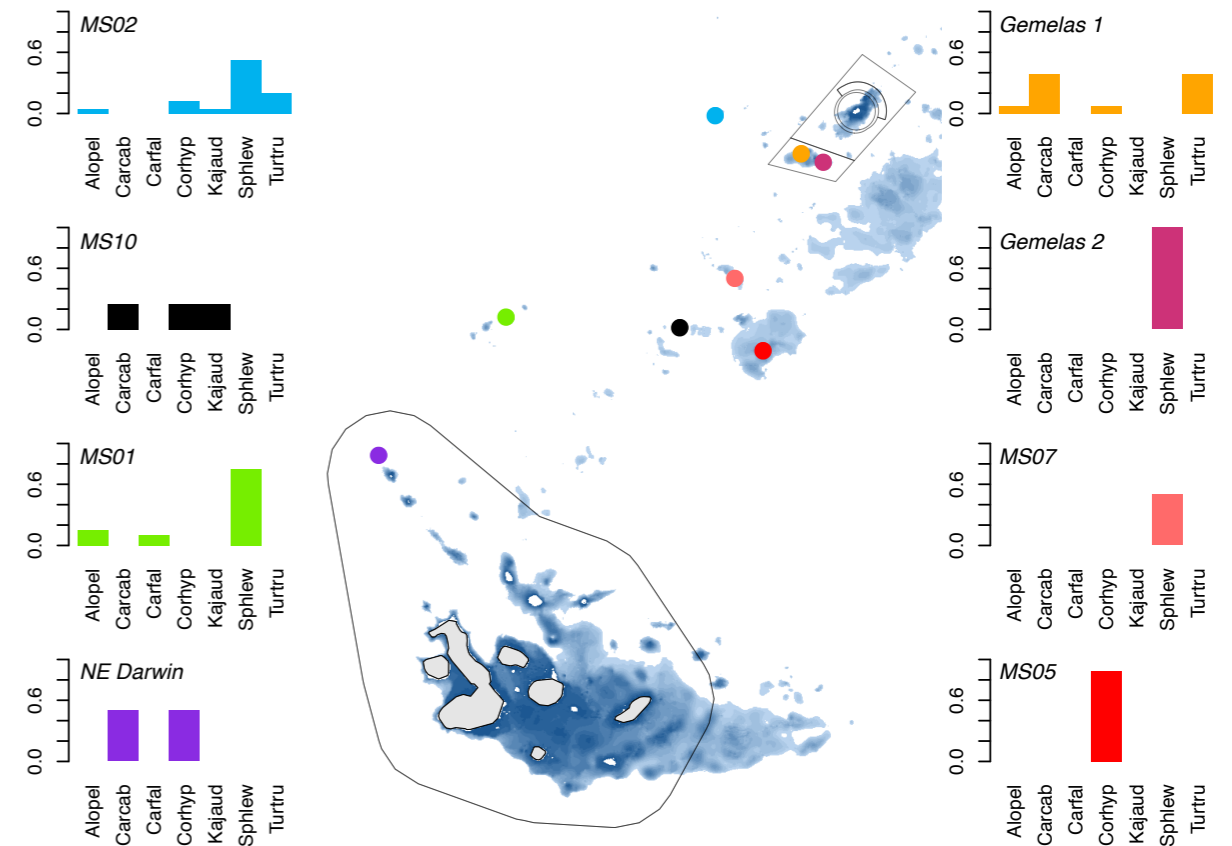


Figure 11. Megafauna species observed frequency during the field trip carried out at eight seamounts of the Swimway Cocos-Galapagos: Alopel, *Alopias pelagicus*; Carcab, *Caranx caballus*; Carfal, *Carcharhinus falciformis*; Corhyps, *Coryphaena hippurus*; Kajaud, *Kajikia audax*; Sphlew, *Sphyrna lewini*; Turtru, *Tursiops truncatus*. Source: Hearn A./Espinoza M. (unpublished).

The information reviewed in this section suggests that the Swimway community structure should be very similar to that observed inside CINP, GMR, and MFFS. There is insufficient information, nevertheless, to evaluate the community structure of Swimway itself. The only available information to date comes from preliminary results of a recently completed study that used submarine cameras and bait [93]. This trip was carried out to quantify the abundance of pelagic and benthopelagic species at various Swimway seamounts seen in Figure 6. The Hammerhead Shark (*S. lewini*) and Mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) were the species most observed in the sampled seamounts (Figure 11). The maximum number of individuals from these species seen at the same time with one camera were 28 and 11 respectively. These species

were also the most abundant in the sample, followed by the Green Jack (*Caranx caballus*), of which 500 individuals were observed with the same camera at the same site.

In ETPO, there are also abyssal communities, almost completely disconnected from surface environments. The south side of the Swimway is home to one of the most representative hydrothermal communities on the planet: hydrothermal fumaroles of the Galapagos [94]. These communities can be found at a depth of 2,500 m and have their own primary production cycle [95] that allows them a biogeochemical isolation from the rest of the ocean. They boast a high level of endemism with respect to both vertebrate and invertebrate species [96]. These zones are also important to incubate deep-sea ray species [97].

## Distribution and environmental preferences

The habitats of pelagic communities are highly influenced by oceanographic conditions (e.g. changes in temperature and dissolved oxygen), particularly because of marine currents and oceanic wave patterns [98-100]. This situation implies that marine

migratory species distribute heterogeneously based on their physiological preferences (e.g. temperature, salinity [98, 101, 102]), biological needs (e.g. production and feeding [103, 104]) or ecological needs (e.g. presence of predators [105]).

There are no detailed data about the spatial behavior of all marine vertebrate species present in the region, nor information about the effect of environmental variability on them. Nevertheless, data from the last 20 years about

migratory routes for cartilaginous fish, bony fish, and reptiles, gives an idea of relationships that exist between marine coastal ecosystems with the MPAs, especially within the Swimway (Table 2).

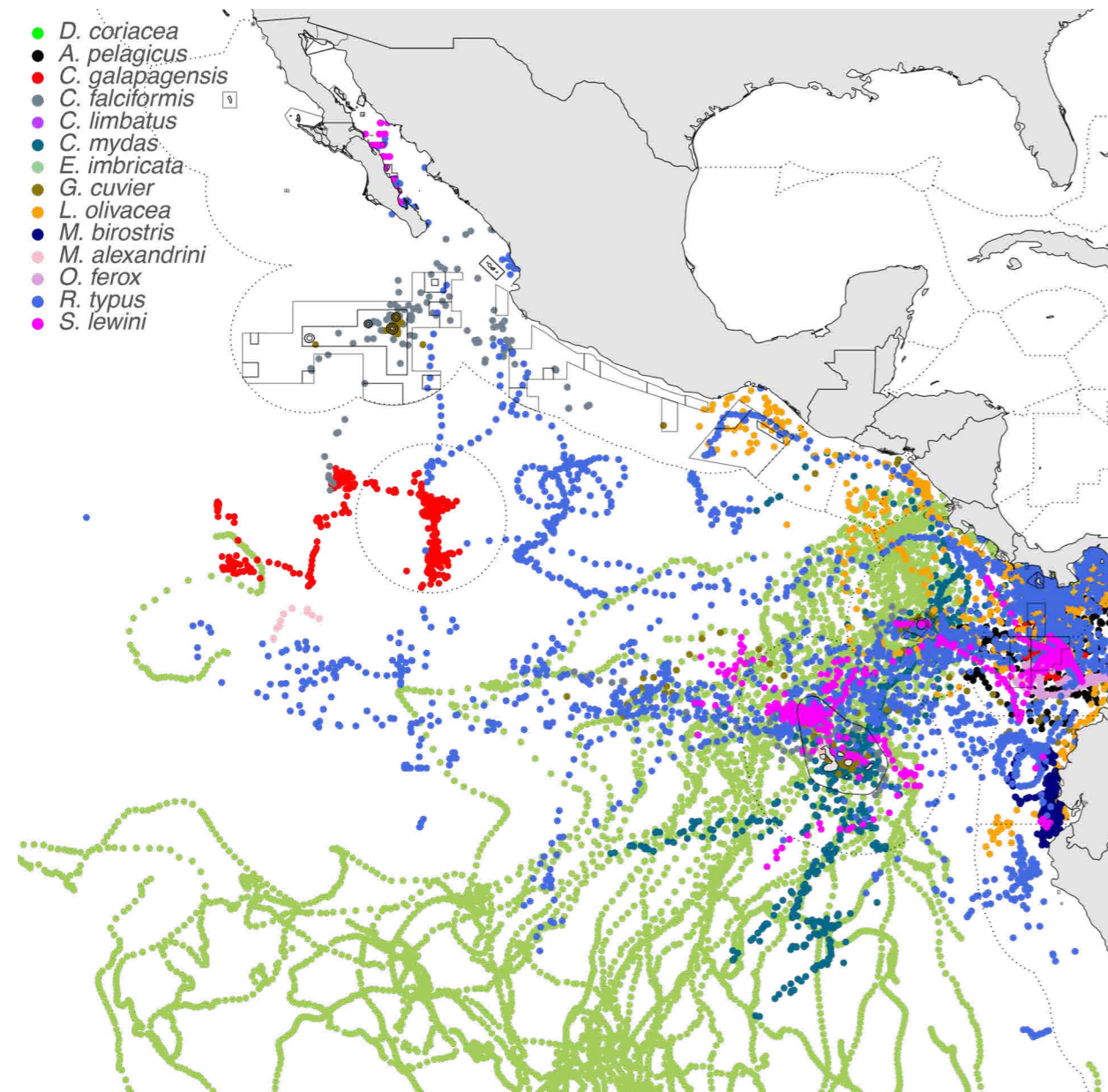


Figure 12. Satellite-tracked movements of nine elasmobranchs, two bony fishes, and four marine turtles within the Eastern Tropical Pacific Ocean (ETPO).

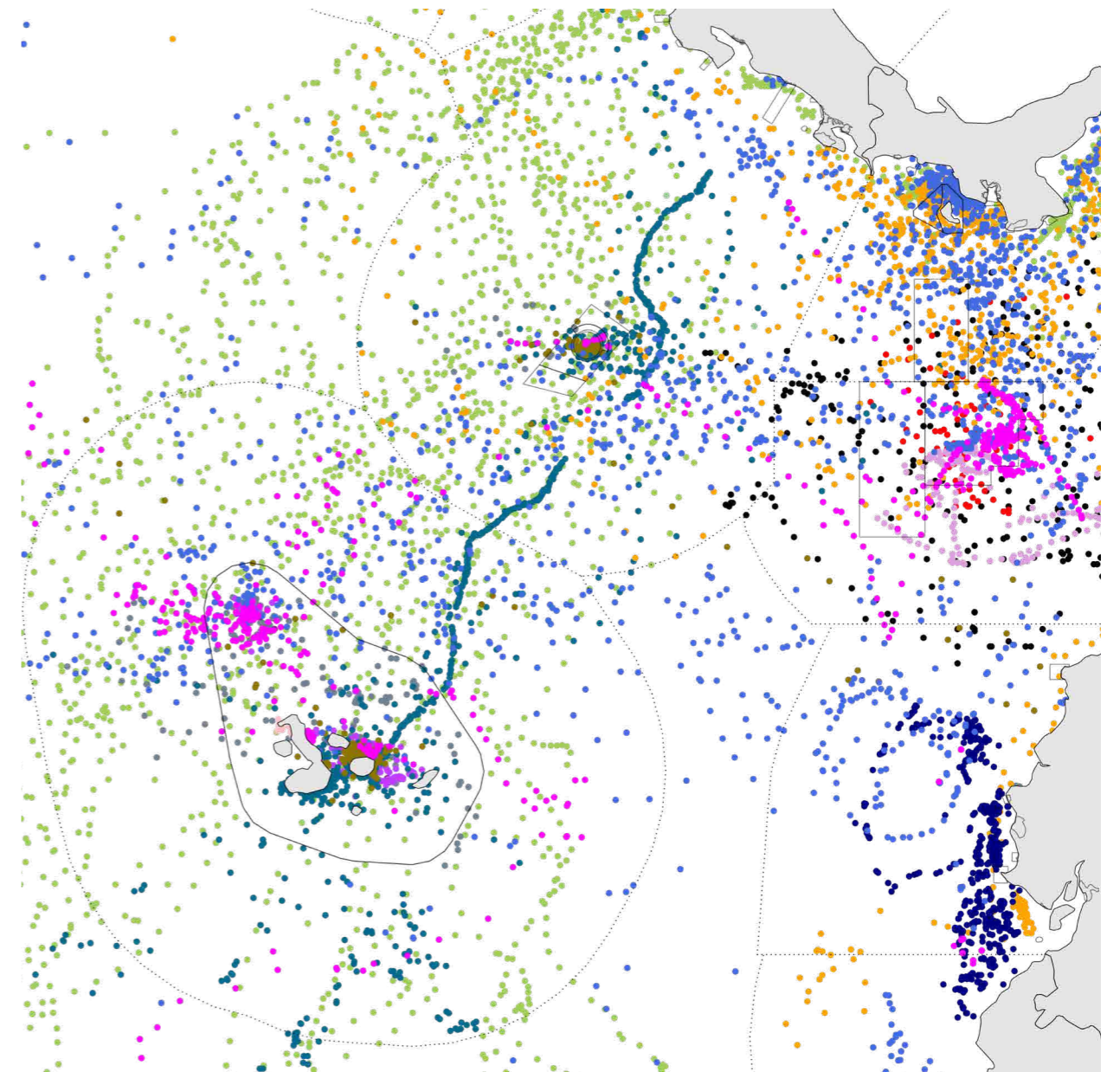


Figure 12 (continued). Satellite-tracked movements of nine elasmobranchs, two bony fishes, and four marine turtles within the south and central region of ETPO.

Table 2. Studied species by satellite telemetry in the Eastern Tropical Pacific region.

N	Species	Common Name	Conservation Status	Tracked Individuals	Global distribution	Regional Connectivity
<b>Bony Fish</b>						
1	<i>Kajikia audax</i>	Striped marlin	NT	48	Tropical and subtropical, pelagic	Galapagos, Cocos and Malpelo [106]
2	<i>Mola alexandrini</i>	Bump-headed sunfish	EN	2	Tropical and subtropical, pelagic	Galapagos and Central Pacific [107, 108]
<b>Cartilaginous Fish</b>						
3	<i>Alopias pelagicus</i>	Pelagic thresher	VU	7	Circumtropical, pelagic	Malpelo and coast of Colombia (Fundación Malpelo, unpublished)
4	<i>Carcharhinus falciformis</i>	Silky shark	VU	28	Circumtropical, coastal-pelagic	Clipperton, Galapagos, and Malpelo [85, 109]
5	<i>Carcharhinus galapagensis</i>	Galapagos shark	NT	8	Circumtropical, insular oceanic	Revillagigedo, Clipperton and Galapagos (Ketchum, unpublished; [109])
6	<i>Carcharhinus limbatus</i>	Blacktip shark	NT	19	Circumtropical, coastal	In each MPA [90]
7	<i>Galeocerdo cuvier</i>	Tiger shark	NT	12	Circumtropical, coastal	Galapagos, Cocos [90], Ecuador and Colombia coasts [86, 110]
8	<i>Mobula birostris</i>	Giant manta	VU	3	Circumtropical	Peru, Ecuador, and Galapagos (Peñaherrera-Palma, unpublished; [85])
9	<i>Odontaspis ferox</i>	Smalltooth sand tiger	VU	5	Circumtropical, to depths of 200–1000 m	Malpelo [111]
10	<i>Rhincodon typus</i>	Whale shark	EN	112	Circumtropical	Peru to Panama, MPA (Guzman, unpublished, [112, 113]).
11	<i>Sphyrna lewini</i>	Scalloped hammer-head Shark	EN	29	Circumtropical, coastal-pelagic	Cocos, Malpelo, Galapagos and Colombian coast [90, 114, 115]
<b>Marine Turtles</b>						
12	<i>Chelonia mydas</i>	Green sea turtle	EN	35	Circumtropical	Galapagos, Cocos, coasts of Ecuador and Costa Rica (Vallejo, unpublished; [116, 117])
13	<i>Dermochelys coriacea</i>	Leatherback sea turtle	CR	46	Circumtropical	Coast of Costa Rica, Cocos, Galapagos [33]
14	<i>Eretmochelys imbricata</i>	Hawksbill sea turtle	CR	3	Circumtropical	Southern anticyclone gyre zone [118, 119]
15	<i>Lepidochelys olivacea</i>	Olive ridley sea turtle	VU	32	Circumtropical	Restricted to each zone (Arauz, unpublished; [61])

spatial distribution of these 15 species were studied because of their threat status in the region and the world. Their movements were tracked with satellite while they migrated

through ETPO (Figure 12). The density of each individual's geographical positions was used to determine the distribution area of each species (using a kernel method [120]), and

to determine possible connections between diverse MPAs and with coastal regions of ETPO (Figure 13). Results show the extent to which these species can move and cross not just MPA boundaries but those of the EEZ of each country as well. The breadth of movement occurred independent of whether individuals were inside or outside MPAs. The results of this study for each species are:

### 1 Striped Marlin (*Kajikia audax*)

Is a near threatened pelagic species that lives in all the world's tropical and subtropical seas [8]. Studies conducted throughout the Pacific show that this species shows regional loyalty as well as marked seasonal movements [106]. In the Eastern Tropical Pacific, individuals tagged in the Galapagos moved east and north of the GMR, particularly in the Swimway (Figure 13). Here tracked individuals preferred waters with average temperatures between 22° and 25°C and average depths less than 40 m [121].

### 2 Bump-Headed Sunfish (*Mola alexandrini*)

The Bump-Headed Sunfish is a pelagic species distributed in all the world's tropical and subtropical seas [122]. Its habitat preferences are quite wide. It is found in temperatures that vary from 9°–22°C and at depths less than 200 m [123]. Individuals tagged in western Galapagos have been observed from the GMR to the central Pacific (Figure 13), going through waters with SSTs between 20° and 24°C.

### 3 Pelagic Thresher Shark (*Alopias pelagicus*)

Has a vulnerable conservation status throughout its global tropical and subtropical distribution [124]. The populations that inhabit ETPO are genetically distinct from those of the western Pacific [125]. The species prefers pelagic zones at an average depth of 150 m. Its

movement within ETPO has only been studied in the Colombian Pacific and has shown wide movement that extends from the Colombian coast almost to CINP (Fundación Malpelo, unpublished; Figure 13).

### 4 Silky Shark (*Carcharhinus falciformis*)

Is a pelagic species, also classified as vulnerable, and is historically one of the most common in tropical and subtropical seas throughout the world [126]. As with other migratory species, its ETPO populations show a genetic isolation from others in ETPO and the Indian Ocean [127]. Studies have confirmed connectivity between populations that live around Clipperton and Galapagos Islands (Lara F, unpublished), as well as wide-ranging movement that covers the entire Swimway all the way to Malpelo Island (Hearn A., unpublished; Figure 13).

### 5 Galapagos Shark (*C. galapagensis*)

Is near threatened and lives in coastal-pelagic zones in the tropical seas of all the oceans, especially around archipelagos, and coastal and oceanic seamounts [128]. This species exhibits a strong genetic difference between ETPO populations and those in the rest of the Pacific [129]. Movements studied along the Pacific Colombian coast and the GMR are in general restricted (Hearn A., unpublished; Figure 13); nevertheless, recent findings indicate connectivity from Revillagigedo and Clipperton to Galapagos (Lara F., in preparation).

### 6 Blacktip Shark (*C. limbatus*)

Is a near threatened species that inhabits all tropical seas in the world, especially those associated with coastal-benthic and seamount zones [128]. This species does not show any genetic variation between populations in the

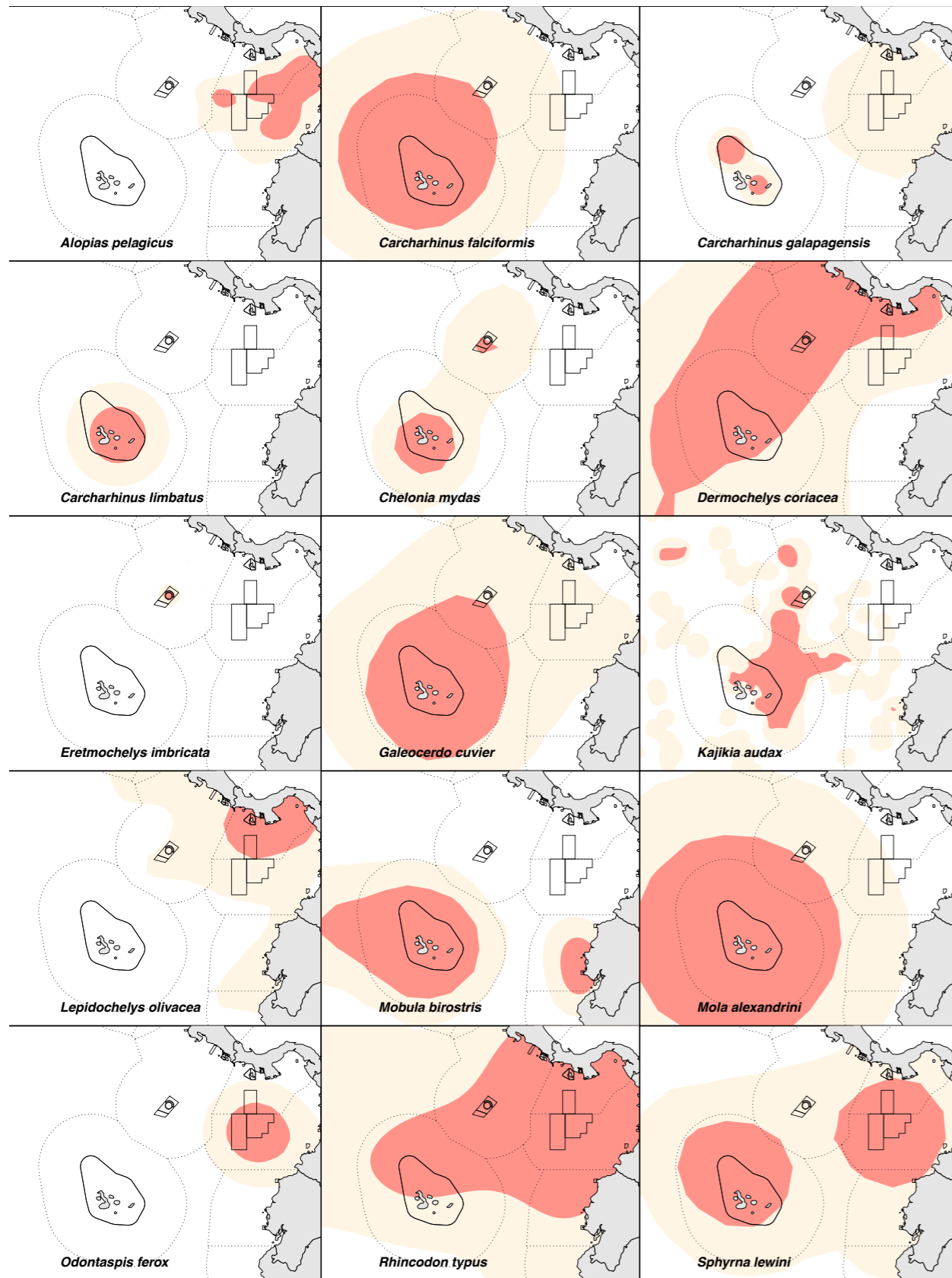


Figure 13. Areas of distribution of each nine elasmobranchs, two bony fish and four marine turtle species that have been studied within the Eastern Tropical Pacific Ocean.

Pacific or Indian Oceans [130]. In ETPO, this species's movement has only been evaluated in the GMR. Its distribution mostly remains within the GMR (Figure 13), and with preference for SST average of 25.6°C and at depths less than 140 m [90].

## 7 Tiger Shark (*Galeocerdo cuvier*)

Is near threatened and inhabits coastal-pelagic zones in all the world's tropical seas [128], particularly those with water temperatures between 20°C and 26°C [131]. In ETPO the Tiger Shark travels between Cocos and Galapagos to the Ecuadorian and Colombian coasts ([110]; Figure 13).

## 8 Giant Manta Ray (*Mobula birostris*)

Is coastal-pelagic, classified as vulnerable. It frequents all tropical and subtropical seas of the world [132]. Although the Manta Ray can migrate great distances, its distribution in general remains restricted, and responds to changes in climatic seasons and segregation by size [133]. There are no available studies in the Swimway or its surroundings. Studies on Silver Island (Ecuador) show limited movements along the coast of Ecuador and Peru (Peñaherrera C, unpublished; Figure 13), but with the capacity to move northwest of the GMR [85].

## 9 Smalltooth Sand Tiger Shark (*Odontaspis ferox*)

Is vulnerable and lives in general at 100–800 m of depth [128]. In ETPO, the shark has been seen at Cocos Island [134], Malpelo Island [135], Galapagos Islands [136], and the coast of Ecuador [137]. Although many of its preferences are unknown, the Smalltooth Sand Tiger has only been seen in shallow waters (~15 m) when water is relatively cold (14°–18°C)

[135, 136]. Its distribution locally and globally is largely unknown [135]. The only behavioral study reveals that individuals tagged at Malpelo Island move toward the Colombian coast and return to the island ([111]; Figure 13).

## 10 Whale Shark (*Rhincodon typus*)

Has recently been demoted to endangered of extinction [138]. This animal swims all tropical seas for which it is believed to have only one global population [139]. Movements of adult females studied in Galapagos extend from Peru to the Equatorial region of central Pacific [112], where southern thermal ocean fronts continue in ETPO ([113]; Figure 13). Juveniles and sub-adults tagged in Panama show clear connectivity with Cocos, Malpelo, and Galapagos following zones of high EKE (Guzman H., unpublished; Figure 13).

## 11 Scalloped Hammerhead Shark (*Sphyrna lewini*)

Is endangered of extinction across its entire global tropical range [140]. The shark aggregates around islands and seamounts [128] preferring temperatures between 22°C and 25°C, at depths above 100 m [90, 141]. The populations that inhabit ETPO are genetically connected mostly due to the migrations of males [142]; nevertheless, the genetic flow is relatively low [143]. Connectivity studies indicate that this species moves preferentially between Cocos, Galapagos and Malpelo Island, especially in the Swimway ([32, 114]; Figure 13). There is an appreciable effect of seasonality on the fish's movement, with a distribution concentrated around MPAs during cold water months but which widens considerably during warm water months [90].

## 12 Green Sea Turtle *(Chelonia mydas)*

Is in danger of extinction [144]. It inhabits coastal and pelagic waters in all tropical seas; nevertheless, there are significant genetic differences between the Pacific, Indian, and Atlantic [145]. In ETPO, the Green Sea Turtle moves widely from Costa Rica to the south Pacific gyre [116], with clear residence and connectivity within the Swimway ([116, 117]; Figure 13).

## 13 Leatherback Sea Turtle *(Dermochelys coriacea)*

Is globally vulnerable, but critically endangered within ETPO [146]. It nests on tropical beaches, but feeds in temperate and subpolar areas [11]. Despite the migratory nature of the Leatherback, the species shows significant genetic variation between oceans and regions [147]. In ETPO, the turtle lays eggs principally on Central American beaches but its distribution extends to the gyre of the south Pacific [148]. After nesting season, the turtles migrate straight to feeding grounds in the south Pacific remaining only temporarily in the Swimway [149]. In ETPO it prefers temperatures that average 26°C, with a wide range of 13°C to 34°C ([33]; Figure 13).

## 14 Hawksbill Sea Turtle *(Eretmochelys imbricata)*

Largely roams the coasts and is critically endangered of extinction throughout its tropical range [150]. Despite that the Hawksbill travels long distances [151], its movement within ETPO is highly restricted [118, 119, 152]. It prefers temperatures that hover between 25°C and 30°C and an average depth of 10 m [119]. Individuals tagged in the CINP stayed considerable time within the protected area during the entire time they were tracked by satellite (Arauz R, unpublished; Figure 13).

## 15 Olive Ridley Sea Turtle *(Lepidochelys olivacea)*

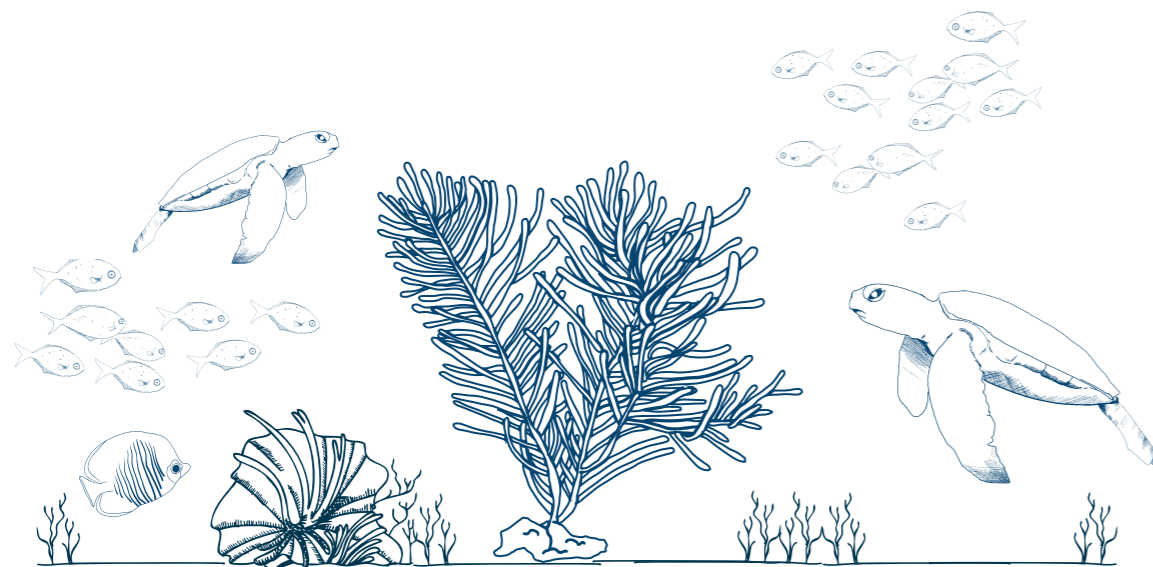
Is a coastal-pelagic species classified as vulnerable throughout its entire global tropical range [153]. The Olive Ridley is highly migratory but which restricts its movements to coasts without crossing great expanses of open sea [154]. Because of this, its populations have slight genetic divergences within ETPO [155]. Tracking studies in Costa Rica show wide movement within the EEZs of Costa Rica, Panama, Colombia, Ecuador and Peru ([61]; Figure 13).



Striped Marlin (*Kajikia audax*)  
Christian Vizl



Galapagos Shark (*Carcharhinus galapagensis*)  
Jonathan R. Green



## Population trends

Scientists have studied migratory fish and megafauna population trends since the 1990s in Cocos Island [75], since 2000 in Malpelo [91], and since 2007 in the Galapagos [85]. These studies principally cover pelagic and benthic species with migratory behavior that aggregate in the most important dive sites in each area. Researchers have also carried out a complementary study in the GMR that uses tourist diver information on population trends of six sharks species [90]. Both the field biology and social studies report a reduction in the relative abundance of Hammerhead, Galapagos, Silky, and Blacktip Reef Sharks in the entire region (Figure 14). In particular, most important results for ETPO include the following:

**1** - The Silky Shark experiences a negative trend in the Galapagos with a reduction in abundance of 25% [90]. In Cocos Island the species has dropped nearly 91% [75]. In Malpelo, has suffered a drop of nearly 50% [91].

**2** - The Blacktip Shark is the only studied species of shark that has shown some indications of an increase in abundance. In the Galapagos, it has increased 15% in the last two decades, especially relevant for having suffered an important decrease at the beginning of the 1980s [90]. In Cocos Island, the frequency has increased 9% annually [75].

**3** - The Galapagos Shark has a very different story in each region (Figure 14). In the GMR, the perception of guides indicates that the abundance of this species has declined some 30% over the past three decades [90]. Nevertheless, the observation frequency has increased almost 30% per year at Cocos Island National Park [75]. The trend for this shark at Malpelo is unclear. [91].

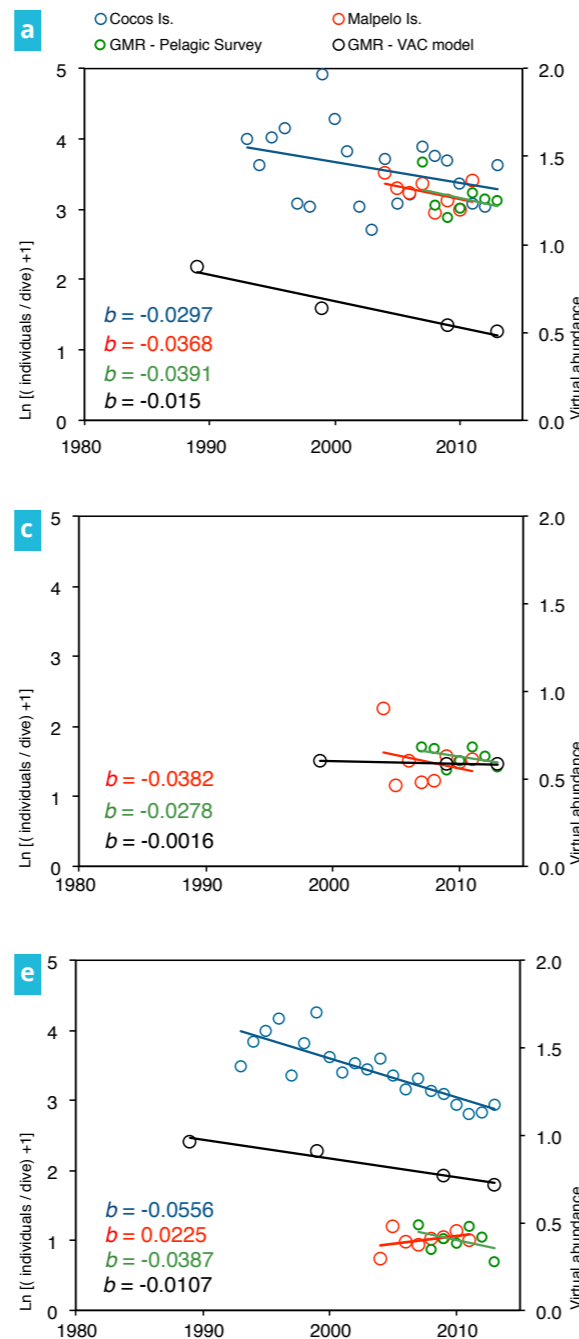


Figure 14. Hammerhead Shark (a, b), Galapagos Shark (c, d), and Whitetip Reef Shark (e, f) abundance trends comparison

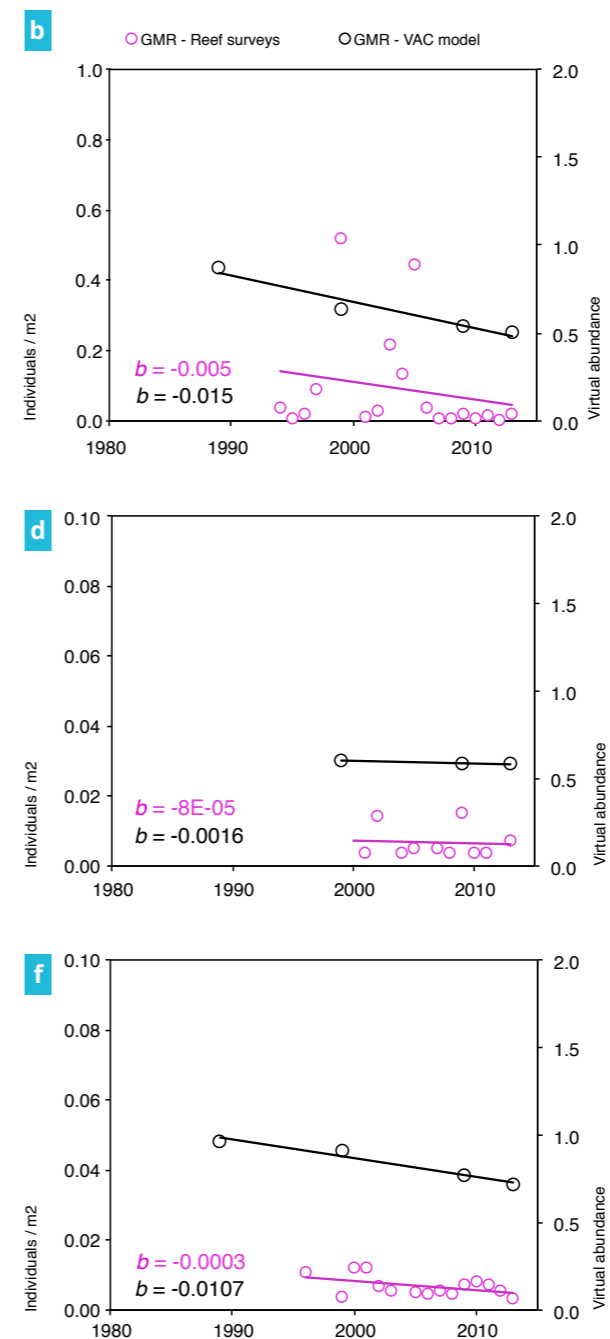


Figure 14. (continued) between the Galapagos Islands, Cocos Island, and Malpelo Island. Source: Peñaherrera-Palma.

**4** - The Whale Shark is the only species whose apparent abundance is in relative equilibrium at CINP and GMR over the last three decades [75, 90].

**5** - The Hammerhead Shark is the only species that presents a similar decline along the central region of ETPO (Figure 14). The population reduction reached 50% in Cocos Island [75], Galapagos [90], and Malpelo Island [91].

**6** - The Whitetip Reef Shark has also suffered a reduction of almost 30% in the Galapagos [90] and almost 70% in Cocos Island ([75]; Figure 14). In Malpelo it has been relatively stable [91].

**7** - There are no survey data for Leatherbacks within Swimway. Nevertheless, data from Playa Grande, Costa Rica suggest a precipitous fall of nearly 90% in the abundance of nesting females in the last 30 years [11].

There also additional documentation of population trends of different species at Cocos Island: Tiger Sharks have increased almost 79%; there has been no observations of observations Green, Olive Ridley, and Hawksbill in the last decade (Chavez E., unpublished) and the abundance of the Eagle Ray (*Aetobatus narinari*) and Round Ribbontail Ray (*Taeniura meyeni*) have also declined nearly 70% and 34% in CINP [75].



## Marine ecosystem functioning

Biodiversity and habitat richness in these MPAs each represent to unique geographic and historic conditions [1]. Benthic habitats (sea bed) are directly related to pelagic (open waters) and abyssal (deep sea bed) as much because of physical forces as biogeo- chemical cycles [156] as for trophic interactions (food) [157] and marine species lifecycles [e.g. 158, 159]. Understanding the dynamic function of the diverse components of an ecosystem is an important step toward evaluating the natural and fishing productivity of a region, as well as its susceptibility and resilience to drastic environmental change [160].

For ETPO, there are two relevant models that explain pelagic ecosystem function in terms of trophic relations. The first was developed by the Inter-American Tropical Tuna Commission [157] for all of ETPO and second by Wolff, Peñaherrera-Palma and Krutwa [161] who adapted the first study for the GMR and its surroundings. Both use the food network model (Ecopath with Ecosim) that evaluates an ecosystem in terms of biomass production and energy flow among prey, predators, and decomposition of organic material [162]. The difference among the two is that the first assumes a continuous fishing intensity [157], while the second uses the GMR to model the effect of the creation of a pelagic MPA around the islands and seamounts with reduced or no fishing effort [161].

The two models use as components the principal emblematic predator species (sharks, cephalopods, marine mammals), commercial species (tunas and marlins), sensitive species (dolphins, sea turtles, marine birds), benthic fish, as well as groups of phytoplankton and zooplankton. The resulting pelagic ETPO ecosystem structure shows low consumer

levels (1 to 3) are dominated by macrobenthic groups, gelatinous plankton, small pelagic fish, small mesopelagic fish, and benthic fish (Figure 15). The energy of these groups is distributed to the higher levels (3 to 5), which consist largely of birds, mammals, bony pelagic fish, and sharks [161]. Both models show sharks as apex predators of pelagic [157] and benthopelagic ecosystems [161] in ETPO. These highest trophic levels are shared by open-water large marlins and toothed whales [157], and with orcas, sail and swordfish in the benthopelagic systems ([161]; Figure 16). Additionally, the model by Wolff, Peñaherrera-Palma and Krutwa [161] emphasizes the important role of benthic fish as a transfer link among benthic organisms to coastal pelagic predators.

The simulation runs of both models also show that ETPO pelagic ecosystem productivity is sensitive to changes in water temperature during an ENSO event. The cephalopods and Scombrids (*Auxis* spp) are the most sensitive groups to changes in primary productivity [157]. The effects from changes in chlorophyll production are transmitted quickly to mid-levels (e.g., small pelagic fish, cephalopods, gelatinous plankton, etc.), which are direct consumers of algae and primary consumers (e.g., sharks, orcas, etc.). The apex predators respond slower but with longer-term effects than the mid-levels when primary production reductions occur [161, 163, 164]. Positive pulses of productivity, nevertheless, under La Niña conditions can benefit an ecosystem that has been subjected to heavy fishing. According to Wolff, Peñaherrera- Palma and Krutwa [161], reduced fishing effort along with an ENSO event generated biomass increases of benthopelagic sharks up to 37% followed by large pelagic sharks by 24%; wahoo, 13%; tuna, 13%; Hammerhead Sharks, 15%; marlins, 6.3%;

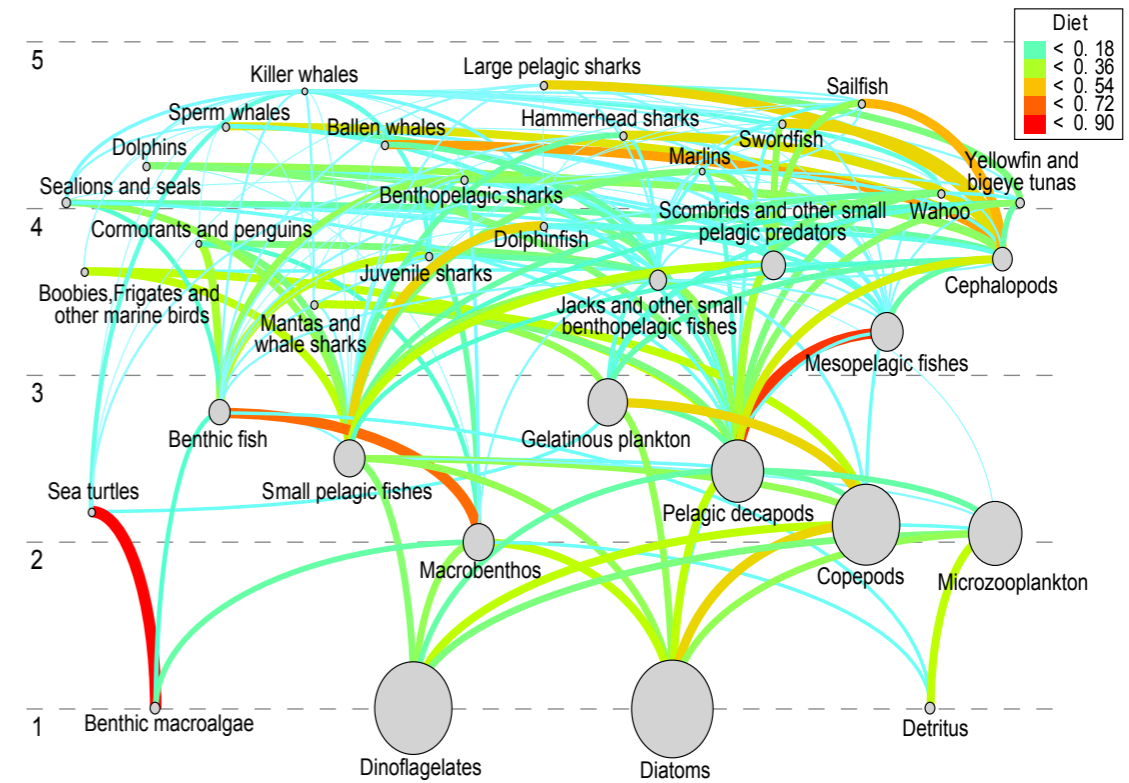


Figure 15. Trophic food web of a pelagic ecosystem around islands and seamounts (case study of the GMR). Circle size represents the amount of biomass, and line thickness represents the amount of bottom-up energy flux between groups. Source: Wolff, Peñaherrera-Palma, and Krutwa [161].

and swordfish, 2%. In the case of benthopelagic species, the creation of an MPA in ETPO has generated increases in abundance of Blacktip Sharks [75, 90], Galapagos Sharks [75], and Tiger Sharks [75], although the response level for each species depends a great deal on the ecological conditions and management of each protected area.

Similarly, Yellow-Finned Tuna (*Thunnus albacares*) and Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*) fishing have significantly benefitted from the creation of the GMR [165], suggesting a potential positive effect on biomass of these species, similar to the proposal by Wolff, Peñaherrera-Palma and Krutwa [161].

In the case of pelagic sharks and Hammerheads, the situation contradicts these results, since there have not been any increases rather decreases in their abundance inside the region's MPAs. It has been suggested that this contradiction is the result of an inadequately sized AMPs (GMR) in order to protect much of the movements of pelagic sharks and Hammerheads [90].



Conservation  
value of the  
Coco-Galapagos  
MigraVia  
(Swimway)

School of Black Jacks (*Caranx lugubris*)  
César Peñaherrera

## Characteristics of the Cocos-Galapagos MigraVia

Although the three marine protected areas within the Swimway are found in two separate countries, the region is a highly connected system, not only geologically, but also from an oceanographic and ecological point of view. In the physical realm, Cocos, Darwin, and Wolf Islands have the same formation and geological origin as the Galapagos Ridge ([47]; Table 3; Figure 4). Volcanic activity in the region formed the Cocos mountain range which connects CINP and the Seamounts Marine Management Area

with the Galapagos Marine Reserve through a system of seamounts located within the EEZs of Costa Rica and Ecuador (Figure 5). The oceanographic parameters show also a region molded by the same environmental forces. The SST variations, chlorophyll production, and EKE vary in the short term as a result of particular characteristics of each site, but this is not the case at a larger temporal scale. The intra and interannual variation pattern responds in the same way for each region othe Swimway

Table 3. Summary of the physical indicators assessed for the ICNP and the GMR

Indicator	Cocos	Galapagos
<b>Geologic Origin</b>	Cocos mountain range that begins in the Galapagos Spreading Center.	Darwin and Wolf Islands began in the Galapagos Spreading Center and formed their own mountain range that continues to Roca Redonda. The other islands are born of the Galapagos hotspot.
<b>Geologic connectivity</b>	Cocos mountain range connects CINP with the Costa Rica mainland (extreme north) and with the northern part of the GMR (extreme south).	Cocos mountain range connects in the north with Cocos Island and Costa Rica. Connects to the east with the Carnegie mountain range and Ecuador mainland.
<b>Marine currents</b>	Influenced mostly by the warm Panama Current. Located in northern part of the Equatorial Oceanic Front.	Influenced as much by the warm Panama Current as by the cold Humboldt. Located in a variable zone.
<b>Oceanographic parameters</b>	SST similar to Malpelo, but higher than Darwin and Wolf Islands (in Galapagos). Chlorophyll productivity same as the Galapagos, less than Malpelo. EKE same as Galapagos and Malpelo.	SST less than Cocos and Malpelo Islands. Chlorophyll productivity same as Cocos Island, less than Malpelo. EKE same as Cocos and Malpelo Islands.
<b>Productivity of existing ecosystems</b>	Low. Season upwellings of nutrients and primary productivity. Similar to productivity of Darwin and Wolf, but less than Malpelo Island.	Low in northern GMR. High in central south and west of GMR, important upwellings and primary productivity.
<b>Presence of important natural phenomena</b>	ENSO and DPO.	ENSO and DPO.

(Figure 8), including exceptional oceanographic conditions such as the ENSO and PDO.

The CINP and GMR also possess a high number of biological and ecological similarities, apart of confronting the same conservation risks

(Table 4). Both areas have high species richness but differ principally by the area and quantity of available habitats in the GMR (Table 4). The CINP has more than 1,700 marine species [76], while the GMR boasts nearly 6,000[86].

Table 4. Summary of the biological indicators assessed for the ICNP and the GMR.

Indicator	Cocos	Galapagos
<b>Species Richness</b>	Medium. ~1,700 vertebrate and invertebrate species and marine flora.	High. ~6,000 vertebrate and invertebrate species and marine flora.
<b>Endemismos</b>	Low. About 2.7% of marine flora and fauna in total. About 20% of all fish are endemic between Cocos, Malpelo, and Galapagos.	Medium. About 20% of all marine flora and fauna. About 17 % of all fish are endemic to Cocos, Malpelo and Galapagos.
<b>Presence of species with limited distribution</b>	Medium. Particularly endemic species with low or no mobility.	Medium. Particularly endemic species of low or no mobility.
<b>Presence of species</b>	Medium. Significant percentage of marine vertebrates which are vulnerable or in danger of extinction.	Medium. Significant percentage of marine vertebrates which are vulnerable or in danger of extinction.
<b>Difference of species relative to other MPAs</b>	Low. Community structure similar to Malpelo and slightly different from all of the GMR. No difference compared with northern GMR. High if compared with subtidal communities on the coast. Unknown with respect to abyssal ecosystems.	Low. Not significant if compare northern GMR with Cocos Island and Malpelo. Medium, if compare all of GMR with Cocos and Malpelo Islands. High, if compare with subtidal communities on the coast. Unknown with respect to abyssal ecosystems.
<b>Diversity of ecosystems</b>	Medium. There are no temperate water ecosystems as with GMR.	High. Most functionally diverse fish communities on the planet.
<b>Ecosystems with limited distribution</b>	Coralline ecosystems affected by ENSO of 82-83 and 97-98.	Coralline ecosystems affected by ENSO of 82-83 ad 97-98, only present in Darwin and Wolf.  Cold water ecosystems with high endemism only in the Bolivar Canal between Fernandina and Isabel Islands.
<b>Functional ecosystem integrity</b>	High.	High.

The level of endemism in each region is different. Cocos Island reaches nearly 2.7% [76]; while the GMR 20% [38]. Nevertheless, if one compares CINP only with the region of Darwin and Wolf Islands, the difference between both regions is not significant (Figure 9). The community structure of Darwin and Wolf are more similar to Cocos Island than to the western sector of the GMR. The reefs of these three islands are dominated by higher abundance of Hammerhead Sharks, Red Snappers, and large schools of mackerel that shape a unique submarine seascape.

Within the Swimway, there are many threatened species or in danger of extinction. Green, Olive Ridley, and Hawksbill Sea Turtles are three of six reptile species that inhabit the region and that are in danger of extinction [11]. The Hammerhead Shark and Whale Sharks suffer a similar problem. These species too are classified as in danger of extinction given severe population reductions in their global range, in some cases owed to overfishing [166]. In ETPO, Hammerhead Shark abundance at dive sites has been cut by 50% in the last 30 years ([90]; Figure 14). In total, around 19% of rays, 34% of sharks, 17% of marine mammals, and 27% of marine birds that live in both MPAs are threatened or in danger of extinction.

The similar community structures of these islands depends on the significant ecological connectivity throughout the Swimway. This applies as much to benthic species as to migratory ones. For example, planktonic larval phases of fish and marine invertebrates travel long distances carried on the currents until they find reefs with favorable conditions for development [167]. Settling down in these places favors a continuous colonization of reefs and surrounding or faraway seamounts with favorable development conditions [168, 169]. Clear examples of this passive connectivity (through dispersion) include the corals *Porites* spp and *Pocillopora* spp, which maintain an elevated rate of genetic flux between CINP and GMR [170]. In the same way, the

presence of endemic insular species, such as the Starry Groupers *Epinephelus labriformis* and *Mycteroperca olfax*, as well as butterfly and angelfish show a constant genetic flow between MPAs, despite their geographic separation. It is probable that submarine mountains between Cocos Island and the Galapagos serve as bridges in the process of vertebrate and invertebrate larval dispersion. Examples of active connectivity promoted through migratory individuals have been reviewed in this study showing there is a significant of such activity in the Swimway (Figure 12,13). Hammerhead Sharks [32], Whale Sharks[113], Green Sea Turtles [116], Leatherback Sea Turtles [33], as well as Striped Marlins [106] move constantly throughout ETPO, but show a greater affinity for the Swimway.

This region offers significant ecosystem services. Just in terms of carbon sequestration, this region produces some \$12 billion per year [2]. This carbon capture occurs during photosynthesis when inorganic carbon is assimilated into organic molecules used as food [171]. The benefits of this process are not measured only in food produced but in the quantity of CO<sub>2</sub> removed from the atmosphere. With respect to human food production, ETPO generates around \$2 billion per year just considering the 10 most important commercial species. [2]. This reason alone has demonstrated that the creation of the GMR (which includes islands and submarine mountains) increased significantly fishing productivity in surrounding waters [165], suggesting that the economic gains could increase with time.

Other economic benefits come from the non-extractive use of marine ecosystems. In the Galapagos, tourism generates \$236 million every year [172], of which 63% comes from dive tourism intended to principally observe sharks [173]. Similar economic data does not exist for Cocos Island, but it has been estimated to be 40–70% of that generated in the GMR.

Tabla 5. Summary of the anthropogenic indicators assessed for the ICNP and the GMR.

Indicator	Cocos	Galapagos
<b>Importance of ecosystem services</b>	High.	High.
<b>Productivity of existing ecosystems</b>	Low. Greatest nutrient upwellings and primary productivity is seasonal. Similar to productivity of Darwin and Wolf, but reduced compared to Malpelo Island.	Low in northern GMR. High in center south and west of GMR (important presence of upwelling and primary productivity).
<b>Degree of human intervention or natural state</b>	Currently low. Historic human intervention medium. Currently exist residential facilities and trails in a reduced sector of the island for tourism and protection. No human submarine structures, only anchored buoys in some dive sites.	Medium. There are four inhabited islands (Isabela, Floreana, Santa Cruz, San Cristobal). Level of intervention is reduced with distance from populated areas. System of anchored buoys located around some tourism sites. Darwin and Wolf are not inhabited.
<b>Sensitivity/ resistance to disturbances</b>	Subtidal coastal communities with signs of positive fish and marine invertebrate biomass increase. Nevertheless, marine area under protection lacks sufficient ecological redundancy to ensure resilience to drastic events such as the ENSO.	Subtidal coastal communities with signs of positive signs of increase in biomass of fish and marine invertebrates. Habitat and ecosystem redundancy offers greater resilience than in CINP.
<b>Disturbance recovery potential/ ecosystem resilience</b>	Subtidal coastal communities with signs of positive fish and marine invertebrate biomass increase. Nevertheless, marine area under protection lacks sufficient ecological redundancy to ensure resilience to drastic events such as the ENSO.	Subtidal coastal communities with signs of positive signs of increase in biomass of fish and marine invertebrates. Habitat and ecosystem redundancy offers greater resilience than in CINP.

## Conservation area proposal

By means of this study we have identified physical, biological, and ecological characteristics of the region composed of Cocos Island National Park and the Galapagos Marine Reserve, which underline the importance of the implementation and conservation of the Swimway. This area contains a system of seamounts that house and concentrate significant marine migratory activity. This can be clearly appreciated upon superimposing satellite tracking information of 389 individuals of 15 threatened vertebrate marine species, along with an analysis of their distribution and the location of seamounts in the Swimway. Considering that:

- 1 The Swimway Coco-Galapagos represents an area of high use (hotspot) by migratory species threatened and endangered of extinction.
- 2 The seamounts within the Swimway possess a high oceanographic similarity with the CNIP and GMR
- 3 The seamounts form the Cocos mountain range that connects CINP and GMR.
- 4 Pelagic species such as the Hammerhead Shark follow the magnetic structure of seamounts in order to orient themselves spatially and move between aggregating and feeding sites [174].
- 5 The CINP and GMR share an important percentage of endemic and island species as well as native sessile, pelagic, and benthic fauna [84, 174].

- 6 The community structure of the CINP and GMR suggest that both MPAs belong to a single ecosystem.
- 7 The Swimway is a corridor that ecologically connects the CINP and GMR.
- 8 The MPAs promote recovery and resilience of benthic [26] and pelagic ecosystems [90, 175].
- 9 The MPAs by promoting an increase in commercial species biomass, improve economic returns of fisheries that operate in nearby waters [165].
- 10 The effectiveness of an MPA increases considerably when it covers more than a 74 km radius from an activity hotspot [176]. This radius of coverage is similar to the model adopted by the GMR and Revillagigedo National Park.
- 11 The ETPO biological corridor has been a conservation priority of CMAR signatory countries [177].
- 12 Objective 11 of the Aichi Agreement is to conserve at least 10% of marine and coastal zones for each country by 2020, by way of a protected area system managed effectively, ecologically representative, and well connected [178].

MigraMar recommends the creation of a protected area with defined limits to protect the integrity of marine ecosystems of CINP, SMMA, and the GMR to ensure spatial redundancy that promotes ecosystem resilience of all three MPAs. This proposed MPA takes into account the high priority migratory points documented to date. It also includes current connective networks and high activity points within the Swimway (Figure 16). Based on these networks the area should have a coverage radius of 74 km (40 nautical miles) and with a defined buffer zone which unifies the coverage area of each connection.

Finally, the coverage area can be simplified for each area of CINP, SMMA, and the GMR by softening the Swimway's perimeter boundary. The final form of the ecological buffer proposal for the Swimway Coco- Galapagos has an area of 239,502 km<sup>2</sup> with a perimeter of 2,435 km. The central location is at 3°N latitude 89°S longitude. The extreme north reaches 0.22°N latitude while the extreme east 85.84°W longitude, and extreme west 92.48°W longitude (Figure 17). This region includes a significant percentage of migratory movements of 375 studied individuals (Figure 18).

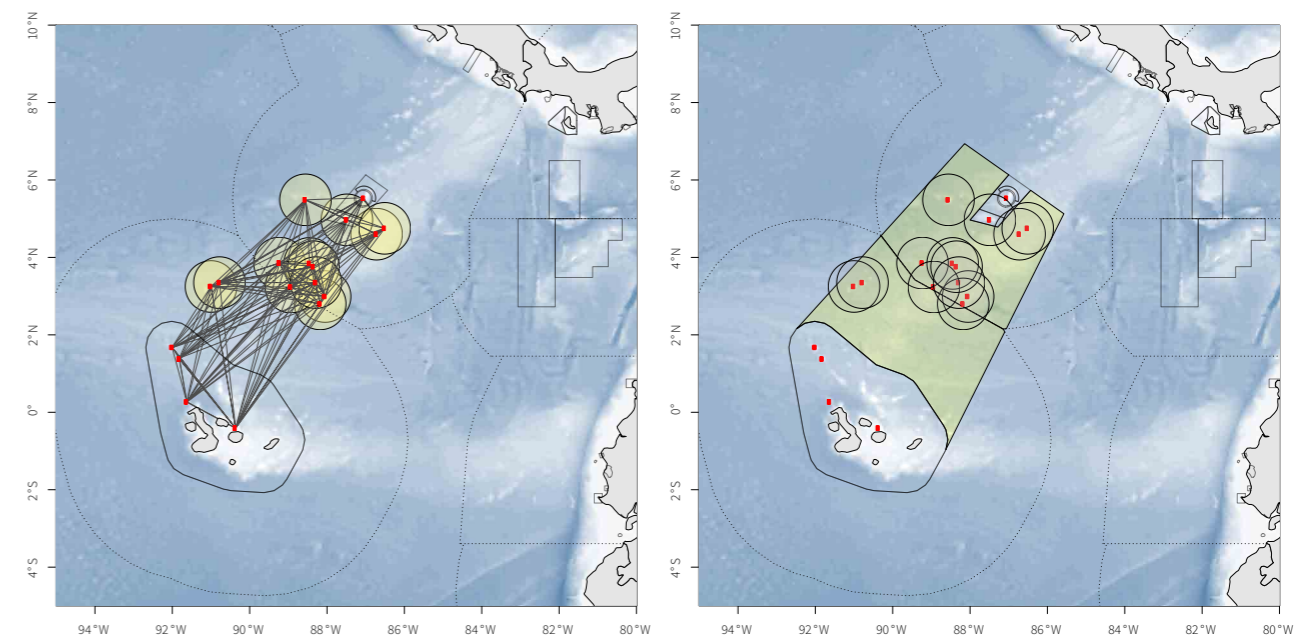


Figure 16. Proposed design of the Swimway. Left, network analysis of the connectivity hotspots and seamounts. Right, buffer area unification from connecting each network node.

The MCG area could be established as a transboundary binational marine Biosphere Reserve. The terrestrial portion of the Galapagos Islands obtained the status of Biosphere Reserve in 1984 and recently expanded the marine area in 2019. Both the Galapagos Islands (1976) and Cocos Island (1997) are Natural World Heritage Sites, designated by UNESCO.

Another option is the designation of a binational and transboundary protected area in accordance with management category IV established by IUCN [178]: Coco-Galapagos Habitat and Species Management Area. The objective of category IV protected areas is the conservation and sustainable management of specific habitats or species, and their management reflects this priority. Many category IV protected areas require regular active interventions to address the needs of specific species or to maintain habitats, but this is not a category requirement. Conservation and management objectives of the GMM could include:

- 1 - Conserve the composition, structure, function, and evolutionary potential of benthic and pelagic biodiversity in ETPO.
- 2 - Contribute to the conservation and sustainable development of ETPO.
- 3 - Maintain the diversity of marine and submarine landscapes and seascapes, habitats, species, and ecosystems associated with Cocos and Galapagos.
- 4 - Function based on a management plan and monitoring and evaluation program that supports adaptive management.

- 5 - Establish a clear and equitable governance system.
- 6 - Conserve significant geomorphological and submarine geological features between Cocos and Galapagos.
- 7 - Provide regulated ecosystem services, including mitigation of climate change impacts.
- 8 - Benefit resident and local communities in manners consistent with sustainable fisheries management.
- 9 - Facilitate scientific, low-impact research and ecological monitoring related to the values of the Swimway.
- 10 - Promote public support for the protection of marine resources.

The boundaries could include full conservation zones constituted with a radius of 40 nautical miles from the center of the seamounts in the marine seascape. This would be similar to that used to establish a no take zone in Revillagigedo National Park [179] and in the GMR [40]. In the same way, it might include sustainable management zones in the matrix of the Swimway where sustainable fishing and seasonal management might occur, with special consideration for protecting those species threatened and in danger of extinction documented herein.

Any type of management to be implemented should be evaluated in a legal feasibility study complementary to this biological evaluation.

## Future considerations

The creation of the Biosphere Reserve, Habitat and Species Management Area, or other spatial management tool, should be complemented with additional seamount and regional pelagic diversity research. Despite having a total of 389 satellite tagged individuals, this information largely covers those species of conservation concern. Researching these species is important because it helps to define and understand the areas to be protected and regulated; nonetheless, it is necessary to increase the number of species under study. In particular, researchers should study migratory patterns and preferred habitat of commercial species such as the Yellow-finned Tuna (*Thunnus albacares*), Bigeye Tuna (*Thunnus obesus*), marlins, and the Mahi-

mahi (*Coryphaena hippurus*). Similarly it is recommended to widen research in other regions for less representative species such as thresher sharks (*Alopias spp*), the Blue Shark (*Prionace glauca*), the Whitetip Shark (*Carcharhinus longimanus*), and cetaceans. It is further recommended to increase pelagic censuses to better understand the diversity and community structure of high seas megafauna, not just within but outside the Swimway. Such research will facilitate understanding the biological significance of the proposed area for high seas communities. Additional understanding would be abetted by high resolution mapping and biological and geological exploration of seamounts in the region.



Darwin Island Arch, Galapagos Marine Reserve  
César Peñaherrera P.

Figure 17. Overlay for Eastern Tropical Pacific Ocean bathymetry, political boundaries and Cocos-Galapagos Swimway proposed area.

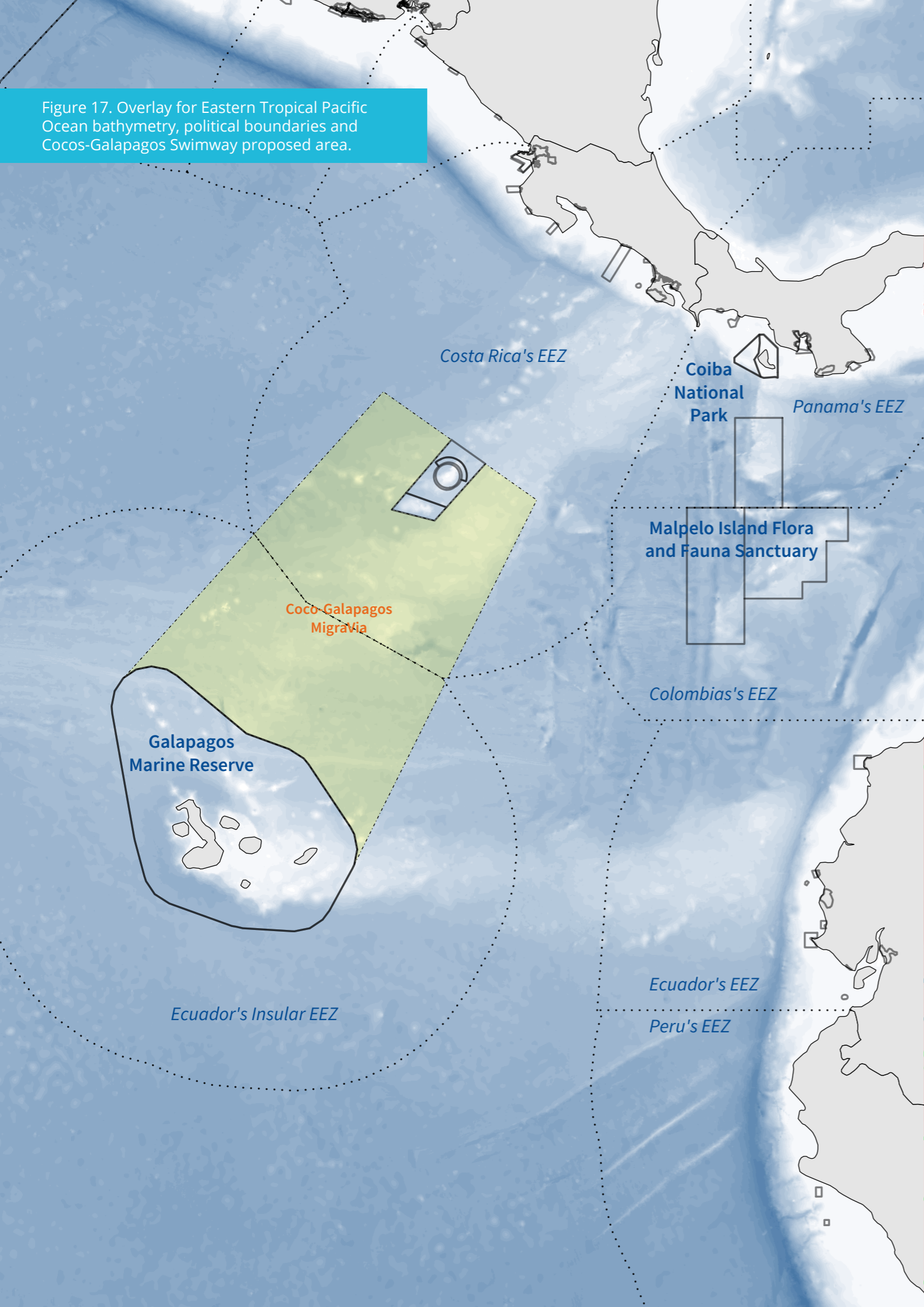
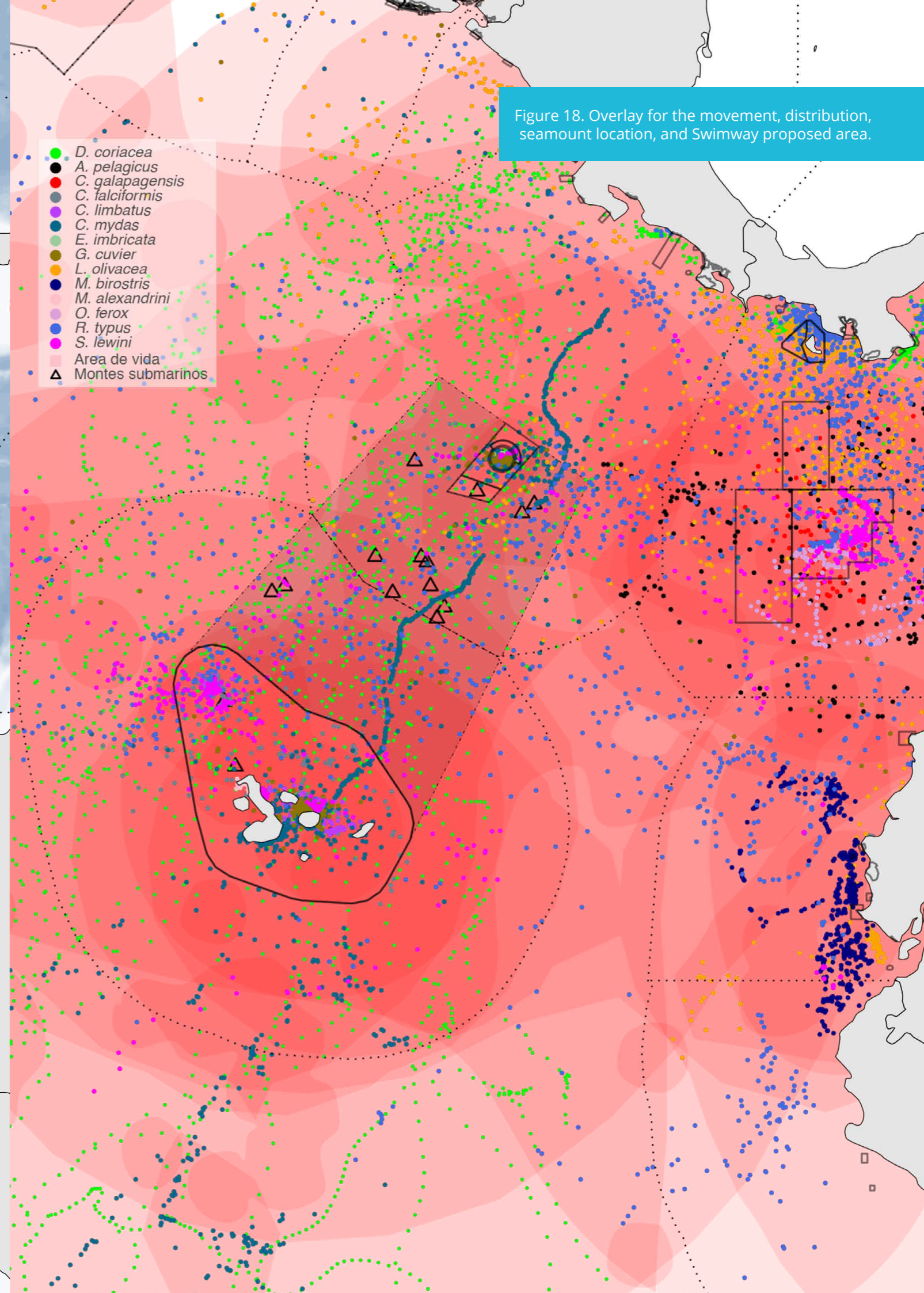


Figure 18. Overlay for the movement, distribution, seamount location, and Swimway proposed area.



Bibliografía - *Bibliography*

- [1] Spalding, M.D., et al., Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. *BioScience*, 2007. 57(7): p. 573-583.
- [2] Martin, S.L., L.T. Ballance, and T. Groves, An Ecosystem Services Perspective for the Oceanic Eastern Tropical Pacific: Commercial Fisheries, Carbon Storage, Recreational Fishing, and Biodiversity. *Frontiers in Marine Science*, 2016. 3.
- [3] Becker, J.J., et al., Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30\_PLUS. *Marine Geodesy*, 2009. 32(4): p. 355-371.
- [4] Fiedler, P.C. and L.D. Talley, Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 2006. 69(2-4): p. 143-180.
- [5] Fiedler, P.C. and M.F. Lavín, Oceanographic Conditions of the Eastern Tropical Pacific, in *Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific: Persistence and Loss in a Dynamic Environment*, P.W. Glynn, D.P. Manzello, and I.C. Enochs, Editors. 2017, Springer Netherlands: Dordrecht. p. 59-83.
- [6] Palomares, M.L.D. and D. Pauly, SeaLifeBase, in *World Wide Web electronic publication*. 2018.
- [7] Eschmeyer, W.N., R. Fricke, and R. van der Laan, *Catalog of Fishes: Genera, species, references*. 2017, California Academy of Sciences: San Francisco, USA.
- [8] Froese, R. and D. Pauly, FishBase, in *World Wide Web electronic publication*. 2017.
- [9] Jefferson, T.A., M.A. Webber, and R.L. Pitman, *Marine Mammals of the World*. 2nd Edition ed. 2015, San Diego, California, USA: Academic Press.
- [10] Croxall, J.P., et al., Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. *Bird Conservation International*, 2012. 22(01): p. 1-34.
- [11] Wallace, B.P., et al., Global conservation priorities for marine turtles. *PLoS One*, 2011. 6(9): p. e24510.
- [12] Stuart-Smith, R.D., et al., Integrating abundance and functional traits reveals new global hotspots of fish diversity. *Nature*, 2013. 501(7468): p. 539-42.
- [13] Ramírez-Ortiz, G., et al., Functional diversity of fish and invertebrates in coral and rocky reefs of the Eastern Tropical Pacific. *Marine Ecology*, 2017. 38(4).
- [14] WildAid, An analysis of the law enforcement chain in the Eastern Tropical Pacific Seascape, ed. M. Bigue, et al. 2010, San Francisco, California, USA.: WildAid.
- [15] Agardy, T., Advances in marine conservation: the role of marine protected areas. *Trends in Ecology and Evolution*, 1994. 9(7): p. 4.
- [16] Ehler, C. and F. Douvère, Navigating the future of Marine World Heritage. Results from the first World Heritage Marine Site Managers Meeting Honolulu, Hawaii, 1-3 December 2010. 2011, UNESCO World Heritage Centre. p. 82.
- [17] Baum, J.K. and R.A. Myers, Shifting baselines and the decline of pelagic sharks in the Gulf of Mexico. *Ecology Letters*, 2004. 7(2): p. 135-145.
- [18] Burgess, G.H., et al., Is the collapse of shark populations in the Northwest Atlantic Ocean and Gulf of Mexico real? *Fisheries*, 2005. 30(10): p. 19-26.
- [19] Grubbs, R.D., et al., Critical assessment and ramifications of a purported marine trophic cascade. *Scientific Reports*, 2016. 6: p. 20970.
- [20] Myers, R.A., et al., Cascading effects of the loss of apex predatory sharks from a coastal ocean. *Science*, 2007. 315: p. 1846 - 1850.
- [21] Dulvy, N.K., et al., Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *Elife*, 2014. 3: p. e00590.
- [22] Ferretti, F., et al., Patterns and ecosystem consequences of shark declines in the ocean. *Ecology Letters*, 2010. 13(8): p. 1055-71.
- [23] Crowder, L.B. and R.A. Myers, A comprehensive study of the ecological impacts of the worldwide pelagic longline industry. 2001, Nicholas School of the Environment and Earth Sciences, Duke University Marine Laboratory.
- [24] Aburto-Oropeza, O., et al., Large recovery of fish biomass in a no-take marine reserve. *PLoS One*, 2011. 6(8): p. e23601.
- [25] Claudet, J. and P. Guidetti, Improving assessment of marine protected areas. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2010. 20(2): p. 239 - 242.
- [26] Edgar, G.J., et al., Global conservation outcomes depend on marine protected areas with five key features. *Nature*, 2014. 506(7487): p. 216-20.
- [27] Halpern, B.S., The impact of marine reserves: Do reserves work and does reserve size matter? *Ecological Applications*, 2003. 13(1): p. S117-S137.
- [28] Soler, G.A., et al., Reef Fishes at All Trophic Levels Respond Positively to Effective Marine Protected Areas. *PLoS One*, 2015. 10(10): p. e0140270.
- [29] Game, E.T., et al., Pelagic protected areas: the missing dimension in ocean conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 2009. 24(7): p. 360-9.
- [30] Klimley, A., I. Cabrera-Mancilla, and J. Castillo-Geniz, Horizontal and vertical movements of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in the southern Gulf of California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 1993. 19(1): p. 95-115.
- [31] Bessudo, S., et al., Residency of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) at Malpelo Island and evidence of migration to other islands in the Eastern Tropical Pacific. *Environmental Biology of Fishes*, 2011. 91(2): p. 165-176.
- [32] Ketchum, J.T., et al., Inter-island movements of scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) and seasonal connectivity in a marine protected area of the Eastern Tropical Pacific. *Marine Biology*, 2014. 161(4): p. 939-951.



- [33] Shillinger, G.L., et al., Vertical and horizontal habitat preferences of post-nesting leatherback turtles in the South Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 2011. 422: p. 275-289.
- [34] Anderson, D.J., et al., At-sea distribution albtrosses and the Galápagos Marine Reserve. *Biological Conservation* 2003. 110: p. 367-373.
- [35] Shillinger, G.L., The Eastern Tropical Pacific Seascape: An innovative model for transboundary marine conservation, in *Transboundary Conservation: A new vision for protected areas*, R.A. Mittermeier, et al., Editors. 2005, Conservation International: Washington D.C., USA. p. 320-331.
- [36] Government of Costa Rica, Statement by the President of the Republic of Costa Rica, Dr. Abel Pacheco De La Espriella, at the World Summit On Sustainable Development, in *World Summit On Sustainable Development*. 2002.
- [37] Alvarado, J., et al., Ecosistemas coralinos del Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica: estructura y comparación 1987-2014. *Revista de Biología Tropical*, 2016. 64: p. S153-S175.
- [38] Danulat, E. and G. Edgar, Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad. 2002, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador: Fundación Charles Darwin y Parque Nacional Galápagos. 484.
- [39] Gobierno del Ecuador, Plan de Manejo de la Reserva Marina de Recursos Marinos de Galápagos. Decreto Ejecutivo No. 3573. Registro Oficial No. 994 el 6 de agosto de 1992. 1992, Registro Oficial del Ecuador Organo del Gobierno del Ecuador: Quito, Ecuador.
- [40] GNPS, Plan de manejo de la Reserva Marina de Galapagos. 1998, Puerto Ayora, Galapagos, Ecuador: Galapagos National Park Service.
- [41] DeMets, C., et al., Current plate motions. *Geophysical Journal International*, 1990. 101(2): p. 425-478.
- [42] Geist, D., T. Naumann, and P. Larson, Evolution of Galápagos Magmas: Mantle and Crustal Fractionation without Assimilation. *Journal of Petrology*, 1998. 39(5): p. 953-971.
- [43] Harpp, K.S. and D. Geist, Galapagos plumology. *Noticias de Galápagos*, 1998: p. 23-29.
- [44] Mesched, M. and U. Barkhausen, Plate tectonic evolution of the Cocos- Nazca Spreading center. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 2000. 170: p. 1-10.
- [45] Geist, D.J., On the emergence and submergence of the Galápagos Islands. *Noticias de Galápagos*, 1996. 56: p. 5-9.
- [46] Lizano, O.G., Batimetría de la plataforma insular alrededor de la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista Biológica Tropical*, 2001. 42(2): p. 163-170.
- [47] Sallarès, V. and P. Charvis, Crustal thickness constraints on the geodynamic evolution of Galapagos Volcanic Province. *Earth and Planetary Science Letters*, 2003. 214: p. 545-559.
- [48] Lizano, O.G., Rasgos morfológicos alrededor de la Isla del Coco y de sus montes submarinos vecinos, Pacífico de Costa Rica. *Revista Biológica Tropical*, 2012. 60(3): p. 43-51.
- [49] Bustamante, R.H., T.A. Okey, and S. Banks, Biodiversity and Food-Web Structure of a Galápagos Shallow Rocky Reef Ecosystem. *Oxford University Press*, 2008: p. 1-24.
- [50] Hoernle, K., et al., Missing history (16–71 Ma) of the Galápagos hotspot: Implications for the tectonic and biological evolution of the Americas. *Geological Society of America*, 2002. 30(9): p. 795-798.
- [51] Kessler, W.S., The circulation of the Eastern Tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 2006. 69(2-4): p. 181-217.
- [52] Alfaro, E., Ciclo diario y anual de variables troposféricas y oceánicas en la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 2008. 56(2): p. 19-29.
- [53] Wang, C., Atmospheric Circulation Cells Associated with the El Niño–Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 2001. 15: p. 399-419.
- [54] Amador, J.A., et al., The easternmost tropical Pacific. Part I: A climate review. *Revista de Biología Tropical*, 2016. 64: p. S1-S22.
- [55] Willett, C.S., R.R. Leben, and M.F. Lavín, Eddies and Tropical Instability Waves in the Eastern Tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 2006. 69(2-4): p. 218-238.
- [56] Lee-Lueng, F. and C. Dudley, Eddy dynamics from satellite altimetry. *Oceanography*, 2010. 23(4): p. 14-25.
- [57] Oschlies, A. and V. Garçon, Eddy-induced enhancement of primary production in a model of the North Atlantic Ocean. 1998. p. 266-269.
- [58] Lavado-Casimiro, W. and J. Espinoza, Impactos de El Niño y La Niña en las Lluvias del Perú (1965-2007). *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2014. 29(2): p. 171-182.
- [59] Taylor, M.H., et al., Trophic modeling of the Northern Humboldt Current Ecosystem, Part II: Elucidating ecosystem dynamics from 1995 to 2004 with a focus on the impact of ENSO. *Progress in Oceanography*, 2008. 79(2-4): p. 366-378.
- [60] Barber, R. and F. Chavez, Biological consequences of El Niño. *Science*, 1983. 222(4629): p. 1203-1210.
- [61] Plotkin, P.T., Nomadic behaviour of the highly migratory olive ridley sea turtle *Lepidochelys olivacea* in the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Endangered Species Research*, 2010. 13(1): p. 33-40.
- [62] Adams, G.D. and D. Flores, Influencia de El Niño Oscilación del Sur en la disponibilidad y abundancia de recursos hidrobiológicos de la pesca artesanal en Ica, Perú. *Revista de biología marina y oceanografía*, 2016. 51(2): p. 265-272.
- [63] Acevedo, E., Spatial ecology of the round dwarf stingray *Urotrygon nana*, in the Gulf of Nicoya, Costa Rica, in *ISATEC MASTER OF SCIENCE PROGRAM*. 2010, University of Bremen. p. 84.
- [64] Alfaro, E. and H. Hidalgo, Climate of an oceanic island in the Eastern Pacific: Isla del Coco, Costa Rica, Central America. *Revista de Biología Tropical*, 2016. 64: p. S59-S74.
- [65] Houvenaghel, G.T., Oceanographic setting of the Galápagos Islands, in *Galápagos*, R. Perry, Editor. 1984, Pergamon Press: Oxford. p. 43-54.
- [66] Banks, S., Ambiente Físico, in *Reserva Marina de Galápagos: Línea Base de la Biodiversidad*, E. Danulat and G. Edgar, Editors. 2002, Fundación Charles Darwin-Parque Nacional Galápagos. p. 24-37.
- [67] Schaeffer, B.A., et al., Phytoplankton biomass distribution and identification of productive habitats within the Galapagos Marine Reserve by MODIS,

- a surface acquisition system and in-situ measurements. *Remote Sensing of Environment*, 2008. 112(6): p. 3044-3054.
- [68] Reynolds, R.W., et al., Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature. *Journal of Climate*, 2007. 20(22): p. 5473-5496.
- [69] Maccherone, B. and S. Frazier, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Modis). 2015, National Aeronautics and Space Administration (NASA).
- [70] Fu, L.-L., et al., TOPEX/Poseidon mission overview. *Journal of Geophysical Research*, 1994. 99(24): p. 24369 - 24382.
- [71] Behrenfeld, M.J., et al., Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*, 2006. 444(7120): p. 752-5.
- [72] Bruno, J.F., et al., Climate change threatens the world's marine protected areas. *Nature Climate Change*, 2018.
- [73] Bakus, G., *Marine Zonation and Ecology of Cocos Island, off Central America*. 1975: Washington, D.C., U.S.A.
- [74] Fourriére, M., et al., Updated checklist and analysis of completeness of the marine fish fauna of Isla del Coco, Pacific of Costa Rica. *Marine Biodiversity*, 2016.
- [75] White, E.R., et al., Shifting elasmobranch community assemblage at Cocos Island--an isolated marine protected area. *Conserv Biol*, 2015. 29(4): p. 1186-97.
- [76] Cortés, J., Marine biodiversity of an Eastern Tropical Pacific oceanic island, Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 2012. 60(3): p. 131-185.
- [77] Alvarado, J. and A. Chiriboga, Distribución y abundancia de equinodermos en las aguas someras de la Isla Coco, Costa Rica (Pacífico Oriental). *Revista de Biología Tropical*, 2008. 56(2): p. 99-111.
- [78] Fernández, C., Flora marina del Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica, Pacífico Tropical Oriental. *Revista de Biología Tropical*, 2008. 56(2): p. 57-69.
- [79] Bernecker, A. and I.S. Wehrtmann, New records of benthic marine algae and Cyanobacteria for Costa Rica, and a comparison with other Central American countries. *Helgoland Marine Research*, 2009. 63(3): p. 219-229.
- [80] Montoya, M., Aves marinas de la Isla del Coco, Costa Rica, y su conservación. *Revista de Biología Tropical*, 2008. 56(2): p. 133 - 149.
- [81] Montoya, M., La presencia de otáridos (Carnivora: Otariidae) en la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 2008. 56(2): p. 151-158.
- [82] May-Collado, L., Marine mammals, in *Marine Biodiversity of Costa Rica, Central América*, I.S. Wehrtmann and J. Cortés, Editors. 2009, Springer: Berlin, Germany. p. 479- 495.
- [83] Edgar, G., et al., Comunidades Submareales Rocosas II: Peces y Macroinvertebrados Móviles, in *La Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad*, E. Danulat and G. Edgar, Editors. 2002, Fundación Charles Darwin/ Parque Nacional Galápagos: Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. p. 68-97.
- [84] McCosker, J.E. and R.H. Rosenblatt, The fishes of the Galapagos Archipelago: An update. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 2010. 61(11): p. 167-195.
- [85] Hearn, A.R., et al., Elasmobranchs of the Galapagos Marine Reserve, in *Galapagos Marine Reserve: a dynamic socio-ecological system*, J. Denkinger and L. Vinuesa, Editors. 2014, Springer. p. 23-59.
- [86] Bungartz, F., et al., The neglected majority: Biodiversity inventories as an integral part of conservation biology. 2012, *The role of science for conservation*: Oxon. p. 119-142.
- [87] Torres-García, J. and M. Frías, *El océano y sus recursos VI, Bentos y nencton*. 1995: México, México.
- [88] Valencia, B., L. Herrera, and A. Giraldo, Estructura de la comunidad y distribución vertical de la macrofauna de fondos blandos en isla Gorgona, Pacífico Colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 2014. 62: p. 169-188.
- [89] Edgar, G.J. and R.D. Stuart-Smith, Systematic global assessment of reef fish communities by the Reef Life Survey program. *Sci Data*, 2014. 1: p. 140007.
- [90] Peñaherrera-Palma, C., Abundance, distribution and conservation value of sharks in the Galapagos Marine Reserve. 2016, *Institute for Marine and Antarctic Sciences, University of Tasmania*: Hobart, Tasmania, Australia.
- [91] Soler, G.A., S. Bessudo, and A. Guzmán, Long term monitoring of pelagic fishes at Malpelo Island, Colombia. *Latin American Journal of Conservation*, 2013. 3(2): p. 28-37.
- [92] Salinas de Leon, P., et al., Largest global shark biomass found in the northern Galapagos Islands of Darwin and Wolf. *PeerJ*, 2016. 4: p. e1911.
- [93] Hearn, A. and P. Zárate-Bustamante, El rol de los islotes oceánicos para la protección de especies marinas migratorias PC-34-17. Salida de Campo y estudio piloto de cámaras remotas pelágicas para la evaluación del ensamblaje pelágico en la MigraVía Galapagos-Cocos. 2018, *Universidad San Francisco de Quito: Puerto Baquerizo Moreno*. p. 10.
- [94] Corliss, J.B., et al., Submarine thermal springs on the galapagos rift. *Science*, 1979. 203(4385): p. 1073-83.
- [95] Karl, D.M., C.O. Wirsen, and H.W. Jannasch, Deep-Sea Primary Production at the Galapagos Hydrothermal Vents. *Science*, 1980. 207(4437): p. 1345-1347.
- [96] Hessler, R.R. and W.M. Smithey, The Distribution and Community Structure of Megafauna at the Galapagos Rift Hydrothermal Vents, in *Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Centers*, P.A. Rona, et al., Editors. 1983, Springer US: Boston, MA. p. 735-770.
- [97] Salinas-de-Leon, P., et al., Deep-sea hydrothermal vents as natural egg-case incubators at the Galapagos Rift. *Sci Rep*, 2018. 8(1): p. 1788.
- [98] Ekau, W., et al., Impacts of hypoxia on the structure and processes in pelagic communities (zooplankton, macro-invertebrates and fish). *Biogeosciences*, 2010. 7: p. 1669-1699.
- [99] Wolanski, E. and W.M. Hamner, Topographically controlled fronts in the ocean and their biological influence. *American Association for the Advancement of Science*, 1988. 241(4862): p. 177-181.

- [100] Block, B.A., et al., Tracking apex marine predator movements in a dynamic ocean. *Nature*, 2011. 475(7354): p. 86-90.
- [101] Pörtner, H.O., et al., Climate induced temperature effects on growth performance, fecundity and recruitment in marine fish: developing a hypothesis for cause and effect relationships in Atlantic cod (*Gadus morhua*) and common eelpout (*Zoarces viviparus*). *Continental Shelf Research*, 2001. Volume 21(18-19): p. 1975-1997.
- [102] Pörtner, H.O., Climate change and temperature - dependent biogeography: oxygen limitation of thermal tolerance in animals. *Naturwissenschaften*, 2001. 88: p. 137-146.
- [103] Okuyama, J., et al., Ontogeny of the dispersal migration of green turtle (*Chelonia mydas*) hatchlings. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2009. 379: p. 43-50.
- [104] Estupiñán-Montaño, C., L. Cedeño-Figueroa, and F. Galván-Magaña, Hábitos alimentarios del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) (Chondrichthyes) en el Pacífico ecuatoriano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 2009. 44(2): p. 379-386.
- [105] Krivan, V.V., Effects of Optimal Antipredator Behavior of Prey on Predator-Prey Dynamics: The Role of Refuges. *Theor Popul Biol*, 1998. 53(2): p. 131-142.
- [106] Domeier, M.L., An analysis of Pacific striped marlin (*Tetrapturus audax*) horizontal movement patterns using pop-up satellite archival tags. *Bulletin of Marine Science*, 2006. 79(3): p. 811-825.
- [107] Thys, T.M., et al., First record of the southern ocean sunfish, *Mola ramsayi*, in the Galápagos Marine Reserve. *Marine Biodiversity Records*, 2013. 6.
- [108] Thys, T., et al., Tracking a Marine Ecotourism Star: Movements of the Short Ocean Sunfish *Mola ramsayi* in Nusa Penida, Bali, Indonesia. *Journal of Marine Biology*, 2016. 2016: p. 1-6.
- [109] Hearn, A., et al., Una década de seguimiento de los movimientos de tiburones resalta la importancia ecológica de las islas del norte: Darwin y Wolf. 2017: Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador. p. 132-142.
- [110] Acuna-Marrero, D., et al., Residency and movement patterns of an apex predatory shark (*Galeocerdo cuvier*) at the Galapagos Marine Reserve. *PLoS One*, 2017. 12(8): p. e0183669.
- [111] Bessudo, S., Community and governmental involvement in shark conservation using telemetry in the Malpelo World Heritage Site. 2008, Whitley Fund for Nature: London, UK.
- [112] Hearn, A., et al., Simple criteria to determine detachment point of towed satellite tags provide first evidence of return migrations of whale sharks (*Rhincodon typus*) at the Galapagos Islands, Ecuador. *Animal Biotelemetry*, 2013. 1(1): p. 11.
- [113] Ryan, J.P., et al., Association of whale sharks (*Rhincodon typus*) with thermobiological frontal systems of the eastern tropical Pacific. *PLoS One*, 2017. 12(8): p. e0182599.
- [114] Bessudo, S., et al., Vertical and Horizontal movements of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) around Malpelo and Cocos Islands (Tropical Eastern Pacific) using satellite telemetry. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 2012. 40: p. 91-106.
- [115] Soler, G. and S. Bessudo, Estudio sobre residencia y hábitos migratorios de tiburones del parque nacional Isla del Coco. 2009, MarViva, Fundación Malpelo, Pretoma, Conservación Internacional. 142-160.
- [116] Seminoff, J.A., et al., Post-nesting migrations of Galápagos green turtles *Chelonia mydas* in relation to oceanographic conditions: integrating satellite telemetry with remotely sensed ocean data. *Endangered Species Research*, 2008. 4: p. 57-72.
- [117] Parra, D.M., et al., Evaluación de la incidencia de impacto de embarcaciones y distribución de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) en Galápagos. 2013, Fundación Charles Darwin: Puerto Ayora, Galapagos, Ecuador.
- [118] Gaos, A.R., et al., Spatial ecology of critically endangered hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata*: implications for management and conservation. *Marine Ecology Progress Series*, 2012. 450: p. 181-194.
- [119] Gaos, A.R., et al., Dive behaviour of adult hawksbills (*Eretmochelys imbricata*, Linnaeus 1766) in the eastern Pacific Ocean highlights shallow depth use by the species. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2012. 432-433: p. 171-178.
- [120] Worton, B.J., Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology*, 1989. 70: p. 164-168.
- [121] Lam, C.H., D.A. Kiefer, and M.L. Domeier, Habitat characterization for striped marlin in the Pacific Ocean. *Fisheries Research*, 2015. 166: p. 80-91.
- [122] Sawai, E., et al., Redescription of the bump-head sunfish *Mola alexandrini* (Ranzani 1839), senior synonym of *Mola ramsayi* (Giglioli 1883), with designation of a neotype for *Mola mola* (Linnaeus 1758) (Tetraodontiformes: Molidae). *Ichthyological Research*, 2017. 65(1): p. 142-160.
- [123] Thys, T.M., et al., Satellite Tracking and Site Fidelity of Short Ocean Sunfish, *Mola ramsayi*, in the Galapagos Islands. *Journal of Marine Biology*, 2017. 2017: p. 1-10.
- [124] Smith, S.E., et al., The biology and ecology of thresher sharks (Alopiidae), in *Intrinsic rates of increase in pelagic elasmobranchs*, M. Camhi, E.K. Pritchard, and E.A. Babcock, Editors. 2009, John Wiley & Sons.
- [125] Cardenosa, D., J. Hyde, and S. Caballero, Genetic diversity and population structure of the pelagic thresher shark (*Alopias pelagicus*) in the Pacific Ocean: evidence for two evolutionarily significant units. *PLoS One*, 2014. 9(10): p. e110193.
- [126] Bonfil, R., et al., *Carcharhinus falciformis*, in *The IUCN Red List of Threatened Species*. 2009, International Union for the Conservation of Nature. p. 2.
- [127] Clarke, C.R., et al., Global mitochondrial DNA phylogeography and population structure of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*. *Marine Biology*, 2015. 162(5): p. 945-955.
- [128] Compagno, L.J.V., M. Dando, and S. Fowler, *Sharks of the world*, ed. P.F. Guides. 2005, New Jersey, USA.: Princeton University Press.
- [129] Pazmino, D.A., et al., Strong trans-Pacific break and local conservation units in the Galapagos shark (*Carcharhinus galapagensis*) revealed by genome-wide cytonuclear markers. *Heredity (Edinb)*, 2018.
- [130] Keeney, D.B. and E.J. Heist, Worldwide phylogeography of the blacktip shark (*Carcharhinus limbatus*) inferred from mitochondrial DNA reveals isolation of

- western Atlantic populations coupled with recent Pacific dispersal. *Mol Ecol*, 2006. 15(12): p. 3669-79.
- [131] Holmes, B.J., et al., Tiger shark (*Galeocerdo cuvier*) movement patterns and habitat use determined by satellite tagging in eastern Australian waters. *Marine Biology*, 2014. 161(11): p. 2645-2658.
- [132] White, W.T., et al., Phylogeny of the manta and devilrays (Chondrichthyes: mobulidae), with an updated taxonomic arrangement for the family. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 2018. 182: p. 50-75.
- [133] Stewart, J.D., et al., Spatial ecology and conservation of Manta birostris in the Indo-Pacific. *Biological Conservation*, 2016. 200: p. 178-183.
- [134] Cortés, J., et al., Elasmobranchs observed in deepwaters (45-330m) at Isla del Coco National Park, Costa Rica (Eastern Tropical Pacific). *Revista de Biología Tropical*, 2012. 60(3): p. 257-273.
- [135] Fergusson, I.K., K.J. Graham, and L.J.V. Compagno, Distribution, abundance and biology of the smalltooth sandtiger shark *Odontaspis ferox* (Risso, 1810) (Lamniformes: Odontaspidae). *Environmental Biology of Fishes*, 2007. 81(2): p. 207-228.
- [136] Acuña-Marrero, D., et al., First record of three shark species, *Odontaspis ferox*, *Mustelus albiginnis* and *Centropristis squamosus*, from the Galápagos Islands. *Marine Biodiversity Records*, 2013. 6.
- [137] Estupiñán-Montaño, C., et al., First reports of smalltooth sand tiger sharks, *Odontaspis ferox* (Elasmobranchii: Lamniformes: Odontaspidae), off the continental Ecuador. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 2016. 46(3): p. 251-253.
- [138] Pierce, S.J. and B. Norman, Rhincodon typus, in *The IUCN Red List of Threatened Species*. 2016, International Union for the Conservation of Nature.
- [139] Schmidt, J.V., et al., Low genetic differentiation across three major ocean populations of the whale shark, *Rhincodon typus*. *PLoS One*, 2009. 4(4): p. e4988.
- [140] Baum, J., et al., *Sphyrna lewini*, in *The IUCN Red List of Threatened Species*. 2007, International Union for the Conservation of Nature. p. 2.
- [141] Ketchum, J.T., et al., Seasonal changes in movements and habitat preferences of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) while refuging near an oceanic island. *Marine Biology*, 2014. 161(4): p. 755-767.
- [142] 142. Daly-Engel, T.S., et al., Global phylogeography with mixed-marker analysis reveals male-mediated dispersal in the endangered scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*). *PLoS One*, 2012. 7(1): p. e29986.
- [143] Nance, H.A., et al., Demographic processes underlying subtle patterns of population structure in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*. *PLoS One*, 2011. 6(7): p. e21459.
- [144] Seminoff, J.A., *Chelonia mydas*. 2004, *The IUCN Red List of Threatened Species*.
- [145] Roberts, M.A., T. Schwartz, and S.A. Karl, Global Population Genetic Structure and Male-Mediated Gene Flow in the Green Sea Turtle (*Chelonia mydas*): Analysis of Microsatellite Loci. *Genetics*, 2004. 166(4): p. 1857-1870.
- [146] Wallace, B.P., M. Tiwari, and M. Girondot, *Dermochelys coriacea*. 2013, *The IUCN Red List of Threatened Species*.
- [147] Dutton, P.H., et al., Global phylogeography of the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*). *Journal of Zoology*, 1999. 248(3): p. 397-409.
- [148] Bailey, H., et al., Movement patterns for a critically endangered species, the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*), linked to foraging success and population status. *PLoS One*, 2012. 7(5): p. e36401.
- [149] Shillinger, G.L., et al., Persistent leatherback turtle migrations present opportunities for conservation. *PLoS Biol*, 2008. 6(7): p. e171.
- [150] Mortimer, J.A., *Eretmochelys imbricata*. 2008, *The IUCN Red List of Threatened Species 2008*.
- [151] Miller, J.D., et al., Long-distance migrations by the hawksbill turtle, *Eretmochelys imbricata*, from north-eastern Australia. *Wildlife Research*, 1998. 25(1).
- [152] Llamas, I., et al., Distribution, size range and growth rates of hawksbill turtles at a major foraging ground in the eastern Pacific Ocean. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 2017. 45(3): p. 597-605.
- [153] Abreu-Grobois, A. and P. Plotkin, *Lepidochelys olivacea*. 2008, *The IUCN Red List of Threatened Species 2008*.
- [154] Zug, G.R., C.H. Ernst, and R.V. Wilson, *Reptilia: Testudine: Chelonidae. Lepidochelys olivacea*, in *Catalogue of American amphibians and reptiles*. 1998, University of Texas Library.
- [155] Bowen, B.W., et al., Global phylogeography of the ridley sea turtles (*Lepidochelys* spp.) as inferred from mitochondrial DNA sequences. *Genetica*, 1997. 101(3): p. 179-189.
- [156] Hetherington, E.D., et al., Spatial food-web structure in the eastern tropical Pacific Ocean based on compound-specific nitrogen isotope analysis of amino acids. *Limnology and Oceanography*, 2017. 62(2): p. 541-560.
- [157] Olson, R.J. and G.M. Watters, A model of the pelagic ecosystem in the Eastern Tropical Pacific Ocean, in *Bulletin*. 2003, Inter-American Tropical Tuna Commission: La Jolla, California, USA.
- [158] Romero-Torres, M., A. Acosta, and E.A. Trembl, The regional structure of spawning phenology and the potential consequences for connectivity of coral assemblages across the Eastern Tropical Pacific. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 2016.
- [159] Wood, S., et al., El Niño and coral larval dispersal across the eastern Pacific marine barrier. *Nat Commun*, 2016. 7: p. 12571.
- [160] Christensen, V. and D. Pauly, Changes in Models of Aquatic Ecosystems Approaching Carrying Capacity. *Ecological Applications*, 1998. 8(sp1): p. S104-S109.
- [161] Wolff, M., C. Peñaherrera-Palma, and A. Krutwa, Food web structure of the Galapagos Marine Reserve after a decade of protection: insights from trophic modeling., in *The role of science for conservation*, M. Wolff and M. Gardener, Editors. 2012, Routledge: UK.
- [162] Pauly, D., Ecopath, Ecosim, and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 2000. 57(3): p. 697-706.

- [163] Wolff, M., D.J. Ruiz, and M. Taylor, El Niño induced changes to the Bolivar Channel ecosystem (Galapagos): comparing model simulations with historical biomass time series. *Marine Ecology Progress Series*, 2012. 448: p. 7-22.
- [164] Watters, G.M., et al., Physical forcing and the dynamics of the pelagic ecosystem in the eastern tropical Pacific: simulations with ENSO-scale and global-warming climate drivers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2003. 60(9): p. 1161-1175.
- [165] Bucaram, S.J., et al., Assessing fishing effects inside and outside an MPA: The impact of the Galapagos Marine Reserve on the Industrial pelagic tuna fisheries during the first decade of operation. *Marine Policy*, 2018. 87: p. 212-225.
- [166] Dulvy, N.K., et al., You can swim but you can't hide: the global status and conservation of oceanic pelagic sharks and rays. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2008. 18(5): p. 459-482.
- [167] Cowen, R.K. and S. Sponaugle, Larval Dispersal and Marine Population Connectivity. *Annual Review of Marine Science*, 2009. 1: p. 443-466.
- [168] Botsford, L.W., et al., Connectivity and resilience of coral reef metapopulations in marine protected areas: matching empirical efforts to predictive needs. *Coral Reefs*, 2009. 28(2): p. 327-337.
- [169] Becker, B.J., et al., Complex larval connectivity patterns among marine invertebrate populations. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2007. 104(9): p. 3267-72.
- [170] Glynn, P.W., D.P. Manzello, and I.C. Enochs, Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific, persistence and loss in a dynamic environment. Vol. 8. 2017: Springer Science.
- [171] Pennington, J.T., et al., Primary production in the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 2006. 69(2-4): p. 285-317.
- [172] Lynham, J., et al., Economic valuation of marine- and shark-based tourism in the Galápagos Islands 2015, Report to the Galápagos National Park.: Galapagos.
- [173] Peñaherrera, C., Y. Llerena, and I. Keith, Perceptions of the economic value of sharks for single-day dive tourism and commerce in Santa Cruz Island, in *Galapagos Report 2011-2012*. 2013, DGNP, GCREG, CDF and GC: Puerto Ayora, Galapagos, Ecuador.
- [174] McCosker, J.E., D.J. Long, and C.C. Baldwin, Description of a new species of deepwater catshark, *Bythaelurus giddingsi* sp. nov., from the Galápagos Islands (Chondrichthyes: Carcharhiniformes: Scyliorhinidae). *Zootaxa*, 2012. 3221: p. 48-59.
- [175] Lester, S.E., et al., Biological effects within no-take marine reserves: a global synthesis. *Marine Ecology Progress Series*, 2009. 384: p. 33-46.
- [176] Ketchum, J., Movement patterns and habitat use of scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) in the Galapagos Islands: Implications for the design of marine reserves. 2011, University of California - Davis: Davis, California, USA.
- [177] CMAR. Corredor Marino de Conservación del Pacífico Este Tropical CMAR. 2017 [cited 2017 27-Septiembre-2017]; Available from: <http://www.cco.gov.co/cmar.html>.
- [178] Lewis, N., et al., Large-Scale Marine Protected Areas: Guidelines for design and management. . Best Practice Protected Area Guidelines Series No 26. 2017, Gland, Switzerland: IUCN.
- [179] CONANP, Estudio Previo Justificativo para la declaratoria del Parque Nacional Revillagigedo. 2017, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: México, México. p. 214. Martin SL, Ballance LT and Groves T (2016) An Ecosystem Services Perspective for the Oceanic Eastern Tropical Pacific: Commercial Fisheries, Carbon Storage, Recreational Fishing, and Biodiversity. *Frontiers in Marine Science* 3.

## Agradecimiento

Los autores de este estudio desean agradecer a Graham Edgar, Mario Espinoza, Jonathan R. Green, Macarena Parra, Jeffrey Seminoff y Frida Lara por permitir acceso a información complementaria para realizar este estudio; y a Carlos Chacón por su gentil apoyo revisando este manuscrito. Además, se desea agradecer Daniel Arauz, Andrés Baquero, Fred Buyle, Julio Delgado, Colombo Estupiñan, Chris Fischer, Juan García, Carlos Guevara, Maike Heidemeyer, Scott Henderson, Felipe Ladino, Yves Lefèvre, Kevan Mantell, Sabrina Monsalve, Isabela Naranjo, Roberto Pépolas, Jules Paredes, Lina Quintero, Harry Reyes, Tierney Thys, Kevin Weng, Matthias Wolff, Manolo Yépez (Sharksky), Armelle Yung, MINAE, The Block Lab of Stanford University, Tagging of Pacific Pelagics Initiative of The Census of Marine Life, The Lost Years Fund of The Ocean Foundation, University of Maryland Center for Environmental Studies, el equipo del Parque Nacional Marino Las Baulas, el equipo del Parque Nacional Isla del Coco, el equipo del Parque Nacional Galápagos, y todas las personas y las diferentes organizaciones que han colaborado con MigraMar y sus miembros durante la recolección de la información científica aquí presentada.

Los autores de este documento están muy agradecidos con Iris y Michael Smith por los fondos complementarios necesarios para producir este informe. Este estudio no fuera posible sin el financiamiento para estudios de telemetría satelital gentilmente otorgado por las siguientes organizaciones:

Adaptation Fund	Marisla Foundation
Aerogal	MARPENSA
Alianza WWF-Fundación Carlos Slim	Mohammad Bin Zayed Species Conservation Fund
Alianza WWF-Telmex Telcel	National Geographic - Waitt
Alucia Productions	National Geographic's Committee for Research and Exploration
Annenberg Foundation	Nausicaá
Aquarium de Montpellier, Francia	NOAA - National Marine Fisheries Service
Association des requins et des hommes	Oak Foundation
Aunap - Autoridad Nacional de Pesca y Acuicultura de Colombia	Ocearch
Aviatur	Oris Watches
Blake, Kymberly and George Rapier Charitable Trust	PADI Aware Foundation
CINEMARINE	Parques Nacionales Naturales de Colombia
Colegio Los Ángeles	Paul M. Angell Foundation
Colombia Bio-Colciencias	Pew Charitable Trust
Conservación Internacional - Costa Rica	Prince Albert II de Monaco
Conservación Internacional - Ecuador	Programa "Adopta un Tiburón" de Fundación Malpelo
Conservation Leadership Programme	Resources Legacy Fund
Dalio Foundation	Sandler Foundation
Dirección del Parque Nacional Galápagos	Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación del Ecuador
Embajada de Finlandia en Colombia	Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología de Panamá
Embarcaciones Asturias/ María Patricia	Shark Conservation Fund
FAICO	Shark Mission France
Fins Attached Marine Research and Conservation	Smithsonian Tropical Research Institute
Foundation Tara	Swiss Friends of Galapagos
Fondo para la Acción Ambiental y la Niñez	The Offield Family Foundation
Fondo Patrimonial Malpelo	Turtle Island Restoration Network
Fundecooperación	Undersea Hunter
Fundación Ecofondo	Upwell
Galapagos Conservancy	Walton Family Foundation
Galapagos Conservation Trust	Whitley Fund for Nature
Galapagos Science Center	WildAid - Galápagos
Galapagos Whale Shark Project	WWF Colombia
Global Conservation Fund/UNESCO	WWF Galápagos
Global Island Partnership	WWF Prince Bernard Scholarships
GOBI	
Holsworth Wildlife Research Endowment	
ICAPO	
International Community Foundation	
Leona M and Harry B Helmsley Charitable Trust	
Lindblad Expeditions	

## Acknowledgments

The authors of this study would like to thank Graham Edgar, Mario Espinoza, Jonathan R. Green, Macarena Parra, Jeffrey Seminoff, and Frida Lara for allowing access to complementary information needed for this study; and to Carlos Chacón for his kind support in reviewing this manuscript. Also, we would they would like to thank Daniel Arauz, Andrés Baquero, Fred Buyle, Julio Delgado, Colombo Estupiñan, Chris Fischer, Juan García, Carlos Guevara, Maike Heidemeyer, Scott Henderson, Felipe Ladino, Yves Lefèvre, Kevan Mantell, Sabrina Monsalve, Isabela Naranjo, Roberto Pépolas, Jules Paredes, Lina Quintero, Harry Reyes, Tierney Thys, Kevin Weng, Matthias Wolff, Manolo Yépez (Sharksky), Armelle Yung, MINAE, The Block Lab of Stanford University, Tagging of Pacific Pelagics Initiative of The Census of Marine Life, The Lost Years Fund of The Ocean Foundation, University of Maryland Center for Environmental Studies, the team of Las Baulas Marine National Park, the team of Cocos Island National Park, the team of Galapagos National Park, and all the people and different organizations that have collaborated with MigraMar and its members during the collection of scientific information used in this document.

The authors are also very thankful to Iris and Michael Smith for the complementary funds necessary to produce this study. It would not have been possible without the financing of satellite telemetry studies kindly given by the following organizations:

Adaptation Fund	Marisla Foundation
Aerogal	MARPENSA
Alianza WWF-Fundación Carlos Slim	Mohammad Bin Zayed Species Conservation Fund
Alianza WWF-Telmex Telcel	National Geographic - Waitt
Alucia Productions	National Geographic's Committee for Research and Exploration
Annenberg Foundation	Nausicaá
Aquarium de Montpellier, Francia	NOAA - National Marine Fisheries Service
Association des requins et des hommes	Oak Foundation
Aunap - Autoridad Nacional de Pesca y Acuicultura de Colombia	Ocearch
Aviatur	Oris Watches
Blake, Kymberly and George Rapier Charitable Trust	PADI Aware Foundation
CINEMARINE	Parques Nacionales Naturales de Colombia
Colegio Los Ángeles	Paul M. Angell Foundation
Colombia Bio-Colciencias	Pew Charitable Trust
Conservación Internacional - Costa Rica	Prince Albert II de Monaco
Conservación Internacional - Ecuador	Programa "Adopta un Tiburón" de Fundación Malpelo
Conservation Leadership Programme	Resources Legacy Fund
Dalio Foundation	Sandler Foundation
Dirección del Parque Nacional Galápagos	Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación del Ecuador
Embajada de Finlandia en Colombia	Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología de Panamá
Embarcaciones Asturias/ María Patricia	Shark Conservation Fund
FAICO	Shark Mission France
Fins Attached Marine Research and Conservation	Smithsonian Tropical Research Institute
Foundation Tara	Swiss Friends of Galapagos
Fondo para la Acción Ambiental y la Niñez	The Offield Family Foundation
Fondo Patrimonial Malpelo	Turtle Island Restoration Network
Fundecooperación	Undersea Hunter
Fundación Ecofondo	Upwell
Galapagos Conservancy	Walton Family Foundation
Galapagos Conservation Trust	Whitley Fund for Nature
Galapagos Science Center	WildAid - Galápagos
Galapagos Whale Shark Project	WWF Colombia
Global Conservation Fund/UNESCO	WWF Galápagos
Global Island Partnership	WWF Prince Bernard Scholarships
GOBI	
Holsworth Wildlife Research Endowment	
ICAPO	
International Community Foundation	
Leona M and Harry B Helmsley Charitable Trust	
Linblad Expeditions	



“La MigraVía Coco-Galápagos es un proyecto inspirador para consolidar la protección de estos dos puntos calientes de diversidad y proveer la protección necesaria a las especies marinas migratorias amenazadas”

“The Coco-Galapagos Swimway is an inspiring project to protect these diversity hotspots and threatened marine migratory species.”

- Sylvia Earle



ISBN: 978-9942-35-602-4

