
Factores globales y locales que inciden sobre la degradación de los arrecifes coralinos: una revisión para la República Dominicana

Global and local factors influencing coral reef degradation: a review for the Dominican Republic

Aldo Croquer

The Nature Conservancy, División del Caribe, Punta Cana, República Dominicana
Laboratorio de Ecología Experimental, Departamento de Estudios Ambientales, Universidad Simón Bolívar,
Caracas, Venezuela.

aldo.croquer@tnc.org \ <https://orcid.org/0000-0001-8880-9338>

Someira Zambrano

Red Arrecifal Dominicana, Santo Domingo, República Dominicana
contacto@redarrecifaldominicana.org.do \ <https://orcid.org/0000-0002-3032-3447>

Iker Irazabal¹, Rubén Torres²

Reef Check Dominican Republic, Santo Domingo, República Dominicana

¹iker@reefcheckdr.org \ <https://orcid.org/0000-0002-3310-3685>

²ruben@reefcheckdr.org \ NA

Fecha de recepción: 29 de octubre de 2021

Fecha de aceptación: 4 de noviembre de 2021

Fecha de publicación: 1 de enero de 2022

Favor citar de la siguiente forma:

Croquer, A., Zambrano, S., Irazabal, I., y Torres, R. (2022). Factores globales y locales que inciden sobre la degradación de los arrecifes coralinos: Una revisión para la República Dominicana.

AULA Revista de Humanidades y Ciencias Sociales, 68 (1), 31-60

<http://doi.org/1033413/aulahcs.2022.68i1.194>

RESUMEN

Los arrecifes de coral se consideran ecosistemas análogos a los bosques lluviosos, en términos de biodiversidad y de variedad de bienes y servicios ecosistémicos que nos proveen. La pérdida acelerada de áreas coralinas a escala global es conocida como la crisis de los arrecifes, la cual es particularmente tangible en la Región del Caribe. Aunque se sabe que la combinación de factores globales y locales son las causas del declive del estado de salud de los arrecifes, la importancia relativa y la identidad de cada uno de estos factores puede ser diferente entre geografías. En la República Dominicana, los arrecifes de coral son de gran importancia debido a su valor ecológico y económico. Al igual que otras islas del Caribe, los arrecifes en República Dominicana se han visto afectados por la crisis global, y en muchos casos se ha reportado su deterioro. Este trabajo tiene por objetivo identificar los factores globales y locales que han impactado la salud de los arrecifes dominicanos en las últimas décadas, así como puntualizar las acciones que se han llevado a cabo en el país para avanzar en la conservación de estos ecosistemas. En las últimas décadas, docenas de estudios de salud arrecifal han identificado las principales amenazas para los arrecifes de la isla. Los resultados muestran que los eventos masivos de blanqueamiento a causa de estrés térmico por calentamiento de las masas de agua, la ocurrencia de huracanes y eventos epizoóticos de enfermedades coralinas, han disminuido la cobertura de coral vivo. La sobrepesca es un problema serio, especialmente la extracción de peces herbívoros. Asimismo, el desarrollo costero acelerado, la deforestación de bosques de manglar, la intervención de cuencas y la entrada crónica de nutrientes, son factores que combinados pueden explicar el reemplazo de arrecifes dominados por corales y la transición hacia arrecifes dominados por algas. Si bien la reducción de los impactos globales escapa de las estrategias de implementación local, el desarrollo de planes de manejo integrado de costas y estrategias mancomunadas para reducir la presión de la pesca, aunado con la educación ambiental, pueden ofrecer una solución a mediano plazo para conservar los arrecifes de coral en la República Dominicana.

Palabras clave: arrecifes de coral, amenazas, cambio climático, degradación, servicios ecosistémicos, República Dominicana

ABSTRACT

In tropical seas around the world, coral reefs serve as the ocean's analogue to rainforests, not only in terms of biodiversity, but in the variety of ecosystem goods and services provided. The current rapid loss of reef areas on a global scale is commonly referred to as the reef crisis. Even though it is known that a combination of global and local factors are the causes of this decline, the relative importance and impact of each of these stressors can vary between geographic areas. In the Dominican Republic, coral reefs represent the most important marine ecosystems in terms of both the ecological and economical value provided on a local scale. These reefs have been affected by the global crisis these ecosystems face and has, in many cases, caused a marked decline. This current piece of work aims to identify the global and local factors that have and continue to impact the Dominican coral reefs in the past few decades, and also examine the proposed solutions that are being implemented around the island to preserve these ecosystems. For the past three decades, dozens of studies have been authored by local and international scientists documenting the main causes of decline for local reefs. Results show that major bleaching events due to warming waters, the increase in major category five hurricanes, and epizootic events, in the form of emerging coral diseases have affected coral cover and diversity. Overfishing is a serious concern, particularly the extraction of major herbivore species. Unregulated coastal development for the tourism industry, leading to the destruction of native wetlands and mangrove forests and the increase in nutrient discharge from upstream agriculture are complicating factors for reef decline. The combination of these has led to the replacement of coral-dominated reefs by algae dominated ecosystems. Although the mitigation of global impacts is beyond the scope of local efforts, the development of integrated management plans for coastline development and community-led fisheries strategies, aided by the implementation of environmental education campaigns, can offer a midterm solution for the conservation of reefs around the Dominican Republic.

Keywords: coral reefs, threats, climate change, degradation, ecosystem services, Dominican Republic

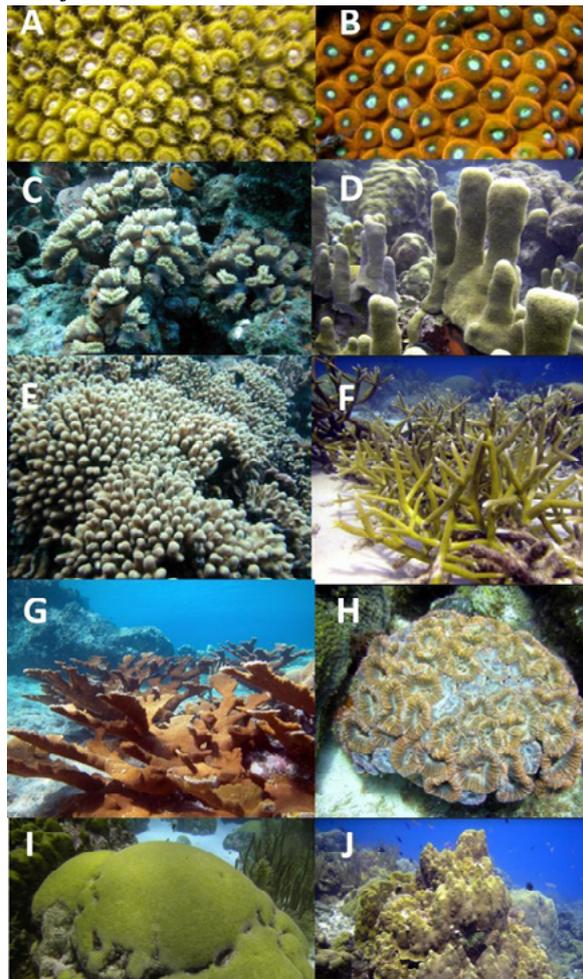
1. Introducción

El planeta tierra es el hogar de cientos de millones de especies, las cuales habitan diferentes ecosistemas caracterizados por regímenes climáticos, y una diversidad de faunas y floras particulares (i.e. biomas, Begon et al. 1986). Cada bioma posee especies fundadoras porque proveen el hábitat y el refugio para otras especies. En los bosques tropicales, los grandes árboles son las especies fundadoras (Ellison et al. 2019), mientras que en los arrecifes de coral, los corales duros son los que cumplen esta función (Idjadi et al. 2016). Un coral es un organismo simple, solo poseen una boca, rodeada de tentáculos, similares a una anémona y se diferencian de éstas principalmente por su capacidad de construir colonias sobre una matriz de un compuesto llamado carbonato de calcio (CaCO_3). Las colonias están formadas por millones de unidades idénticas, réplicas llamadas pólipos, conectados entre sí, pero a la vez independientes con bocas y tentáculos bien diferenciados (Dubinzy y Stambler, 2010).

Las colonias de cada especie de coral, tienen diferentes tamaños y formas (copas,

ramificadas, columnares, formando pilares y masivas), que en conjunto, forman estructuras llamadas arrecifes de coral (Fig 1. A-J). Como todos los ecosistemas, los arrecifes de coral y las especies que en ellos habitan se encuentran amenazados y su permanencia en el planeta, al menos, tal y como los conocemos, se encuentra en duda (Bellwood et al. 2004, Hoekstra et al. 2006, Cressey, 2016). En este trabajo hacemos una revisión sobre las principales causas que han ocasionado el rápido deterioro de los arrecifes, las medidas de mitigación para conservar estos ecosistemas y su valor para la República Dominicana. Nuestra meta es informar sobre estos aspectos a diferentes actores dentro de la sociedad dominicana para sensibilizar sobre el valor de la conservación de los corales, así como para reunir las investigaciones más relevantes realizadas en el país en estos ecosistemas. La meta es producir un documento que sea accesible para múltiples usuarios y público diverso, incluyendo agencias gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, y el sector académico y estudiantil del país.

Figura 1. Especies de coral comunes en arrecifes de la República Dominicana con diferentes formas de crecimiento, tamaños de pólipos e integración entre pólipos. A y B. Pólipos extendidos y cortados de *Montastraea cavernosa*. C. *Eusmilia fastigiata* un cora en forma de copas. D. *Dendrogyra cylindrus* un coral en forma de pilar. E. *Madracis auriterna* un coral digitiforme. F. *Acropora cervicornis* un coral de ramas delgadas. G. *Acropora palmata* un coral de ramas robustas. H. *Mussa angulosa*, un coral masivo de pólipos grandes y conectados. I. *Diploria labyrinthiformis*, un coral masivo en forma de cerebro con pólipos conectados y J. *Orbicella faveolata* un coral masivo en forma de columna.



1.1. La problemática mundial de los arrecifes

Los arrecifes de coral y los bosques tropicales lluviosos son los ecosistemas más biodiversos del planeta (Reaka-Kudla, 1997). Sin embargo, en términos relativos, los arrecifes, albergan la mayor parte de la fauna marina a pesar de que solo cubren cerca del 1% del área total de los océanos (Reaka-Kudla, 1997). Durante los últimos 10-15 mil años, estos ecosistemas permanecieron relativamente estables en un período conocido como el Pleistoceno-Holoceno, es decir, antes del último período gla-

cial (Carew y Mylroie 1997, Pandolfi et al. 2006). El Holoceno (cuaternario 10-15 mil años antes del presente) se conoce como el período más estable desde el punto de vista climático en la historia geológica y evolutiva del planeta, durante el cual, los arrecifes de coral florecieron, especialmente en aguas someras y tropicales (Masson et al. 2000). No obstante, con la aparición de sociedades humanas, la colonización de áreas costeras y la rápida industrialización de los medios de producción, el planeta se ha modificado hacia una nueva era conocida como el Antropoceno (Hughes et al. 2017, He y Silliman, 2019).

El período de la expansión de la especie humana marca un punto de quiebre para la dinámica global de los ecosistemas del planeta, y los arrecifes de coral no son la excepción (He y Silliman, 2019). Los rápidos cambios en el sistema climático, los problemas de contaminación ambiental, la pérdida de hábitats y de biodiversidad son algunos ejemplos de la crisis medioambiental que se ha originado durante los últimos 250 años; todos ellos exacerbados en las últimas 4 décadas (He y Silliman, 2019). En el caso de los arrecifes de coral, estas tendencias son claramente notables a escala global, y en particular en el Caribe, donde grandes extensiones de arrecifes coralinos se han perdido de manera paulatina desde épocas prehistóricas, hasta el presente (Knowlton y Jackson 2008, Hardt 2009, Jackson y Alexander, 2001).

Los arrecifes de coral son ecosistemas claves en el planeta. Su evolución tuvo impactos globales, modificando la biodiversidad, la geoquímica y biogeoquímica, la geología y la morfología de líneas costeras (Wood 1999, Stanley, 2003). Con seguridad, la rápida pérdida de áreas coralinas a nivel mundial tendrá impactos globales y locales que dejarán huellas únicas en el funcionamiento global del planeta (Kennedy et al. 2013). Por ejemplo, la pérdida de biodiversidad afectará la capacidad de recuperación de estos sistemas (i.e. resiliencia), y en consecuencia los bienes (e.g. seguridad alimentaria) y servicios (e.g. protección costera y secuestro de carbono) que los arrecifes de coral proveen a las socie-

dades (Moberg y Folke. 1999, Mumby y Ste-neck 2008, Graham et al. 2013). Este proceso de degradación mundial y regional es conocido como la crisis de los arrecifes de coral del Antropoceno (Bellwood et al. 2004).

1.2. Importancia de los arrecifes para la República Dominicana

Los arrecifes coralinos no solo son ecológicamente importantes, sino que también son responsables de brindar invaluable servicios ecosistémicos a las comunidades costeras. Un estudio reveló que los valores totales para el turismo asociado a los arrecifes en el Caribe se estiman en más de \$ 7,9 mil millones de gastos anuales de más de 11 millones de visitantes, con valores promedio de 660 visitantes y US\$473,000 por kilómetro cuadrado de arrecife por año (Spalding et al. 2018).

En la República Dominicana los arrecifes de coral son el pilar de la industria del turismo, actividad de la cual el país es especialmente dependiente. Trabajos recientes muestran el valor agregado que directa e indirectamente los arrecifes de coral y los hábitats aledaños aportan a la economía nacional (Eastwood et al. 2017, Betancourt y Hernández-Moreno, 2019). Se calcula que los arrecifes de coral representan para el país una ganancia económica anual de US\$4.5 billones de dólares para la industria hotelera, por su función de productores de área y protección de las playas, y sirven como sustento económico para unos 9,000 pescadores y sus familias a lo largo del territorio nacional (Wielgus et al. 2010).

Se sabe que los arrecifes de coral tienen un papel central en la protección de la línea de costa (Beck et al. 2020) y en el proceso de formación de litorales arenosos que son de vital importancia para la definición de destino turístico del país (Wielgus et al. 2010, Betancourt y Hernández-Moreno 2019, The Nature Conservancy. 2019). La pérdida de áreas coralinas y barreras arrecifales se ha asociado directamente con los problemas de erosión costera y la concomitante reducción de playas de arenas blancas en diferentes áreas de la isla (Beck et al. 2020). Gran parte

de la infraestructura hotelera de la República Dominicana se encuentra en áreas de arrecifes de coral, los cuales se encuentran ampliamente distribuidos a lo largo de los márgenes costeros y/o la plataforma continental de la isla (Geraldés et al. 2003). Es claro el valor estético agregado por los hábitats coralinos para el turismo nacional, ejemplo de ello son las aguas cristalinas, las playas de arenas blancas y protegidas del oleaje, los colores y los paisajes, los cuales son considerados como únicos en el Caribe; haciendo a la República Dominicana el país más visitado en la región (Wielgus et al. 2010).

Desde el punto de vista alimentario, los arrecifes de coral proveen el hábitat para muchas especies de valor comercial, las cuales representan una fuente de ingreso y/o de alimentos para miles de personas (Betancourt y Hernández-Moreno 2019, The Nature Conservancy, 2019). Ejemplo de esto son las langostas (e.g. *Panulirus* spp), los bocayates (i.e., familia Haemulidae), meros (e.g. *Epinephelus* spp), chillos (e.g. *Lutjanus* spp), el lambí (*Lobatus* spp), entre otros recursos pesqueros (Mateo et al. 2002, CODOPESCA 2012, Betancourt y Hernández-Moreno, 2019). Los arrecifes de coral en la República Dominicana también juegan un papel importante en la reducción de riesgos de inundación y, por ende, en salvaguardar el valor de la inversión de la infraestructura costera, principalmente la asociada al turismo. Además, la reducción de riesgos de inundación cobra mayor relevancia para un país que se encuentra dentro de la trayectoria de los huracanes, cuya frecuencia e intensidad se espera que incremente en las próximas décadas a consecuencia del cambio climático (Lugo, 2000).

Si los corales siguen desapareciendo y continúa la erosión de las playas, la pérdida de ingresos del turismo se verá exacerbada. Diez años después de la desaparición de los corales vivos, las tasas de erosión podrían aumentar en más del 100 por ciento en las playas del este y en más de un 65 por ciento en las del sur (Wielgus et al. 2010).

1.3. Esfuerzos de investigación en el país

Las estrategias para mitigar y adaptarse al deterioro de los arrecifes de coral, parten del conocimiento acumulado a lo largo de décadas de investigación. Aunque Darwin y otros naturalistas, geólogos y taxónomos realizaron observaciones sobre aspectos geológicos y descriptivos de los arrecifes y las comunidades bentónicas que los componen desde el siglo XVII, nuestra visión temporal directa de los arrecifes de coral del Caribe es limitada, por lo que dependemos de reconstrucciones paleontológicas (Pandolfi et al. 2006). Claramente, la llegada del equipo de buceo autónomo marcó un antes y un después en las investigaciones de los arrecifes de coral, particularmente, desde el punto de vista ecológico. Desde que Tomas Goreau (padre) realizó los primeros trabajos descriptivos de la distribución de especies de coral a lo largo de gradientes de profundidad (i.e., patrones de zonación) en Jamaica (Goreau, 1959), solo han transcurrido 6 décadas.

Según Geraldès (2003), la República Dominicana cuenta con una extensa distribución de los arrecifes de coral a los largo de su cos-

ta (Fig 2). Los primeros estudios y observaciones de los arrecifes de coral en República Dominicana comienzan a finales del 1400 cuando Cristóbal Colón menciona en su libro de navegación a las formaciones coralinas como estructuras sumergidas. Hasta el siglo XVII y XVIII, solo se hacen mención a los arrecifes en estudios geológicos-topográficos, y colecciones de organismos en museos (revisado por Geraldès, 2003). Hasta finales del siglo XX, las investigaciones fueron lideradas por científicos extranjeros enfocados mayormente en el estudio de la geología de arrecifes y taxonomía de madreporaria (Geraldès, 2003). Todos los esfuerzos descriptivos de la geología de arrecifes del Holoceno y Neógeno se encuentran resumidos en el libro de Nehm y Budd (2008). Entre principios de los 90 e inicios del 2000, la Fundación MAMMA realizó esfuerzos de investigación para describir los arrecifes de República Dominicana; y en ese mismo período de tiempo, se establecieron colaboraciones clave con universidades norteamericanas de Miami, Maine, Cornell y Columbia, (Irazabal comm. personal).

Figura 2. Distribución de hábitats coralinos de la República Dominicana, Caribbean Benthic Maps desarrollado por The Nature Conservancy, equipo liderado por el Dr. Steve Schills y Valerie McNulty.



<https://storymaps.arcgis.com/collections/58321fb0f35f4659a1f508630d45c76c?item=1>

Las primeras investigaciones llevadas a cabo por biólogos dominicanos fueron realizadas en el año 1974 por Idelisa Bonelli de Calventi, quien publicó la primera lista taxonómica de corales para el país (Bonelli de Calventi, 1974), y por Carlos González-Núñez quien localizó los arrecifes del país a bordo de la Operación Madre Perla (González Núñez, 1974). El primer estudio publicado que describe un arrecife de coral en el país, llamado Estudio ambiental del arrecife de Boca Chica para el desarrollo de un centro turístico en la costa sur de la República Dominicana, fue realizado por Sir W. Halcrow en el año 1976 en el área de Boca Chica.

El biólogo dominicano Francisco Gerald es autor de gran parte de los estudios realizados concernientes a los arrecifes de coral en la República Dominicana, con docenas de publicaciones pertinentes. En 1994 se publica el estudio *Iniciativa para la Conservación de los Arrecifes Coralinos del Caribe: República Dominicana* (Gerald, 1994) primer estudio en caracterizar y comparar distintas comunidades arrecifales del litoral dominicano.

En la misma década se realizaron los inventarios y propuestas de planes de manejo para los Parques Nacionales Jaragua, La Culeta y Del Este, con extensas descripciones de las comunidades submarinas presentes en los mismos (Gerald y Vega, 1995, Chiappone, 2000). Estas últimas, y gran parte de las disponibles a la fecha de su publicación, fueron recopiladas en el año 2003 en el artículo *Los Arrecifes de Coral de la República Dominicana* (Gerald, 2003); utilizada como referencia para toda mención de los arrecifes del país en estudios subsiguientes.

La inclusión de la República Dominicana en la red de monitoreo CARICOMP (Caribbean Coastal Marine Productivity) a principios de los 90, el éxito y expansión de Reef Check liderado por el Dr. Rubén Torres, la aparición de Organizaciones No Gubernamentales (e.g. FUNDEMAR) y su alianza estratégica con ONG's internacionales de vasta experiencia en conservación como The Nature Conservancy (TNC); la inclusión de empresas con visión ambientalista (Fundación

Grupo Puntacana y Fundación Propagas) así como también el surgimiento de la Red Arrecifal Dominicana (RAD), el Consorcio Dominicano de Restauración Costera (CDRC) y su inserción en redes de restauración y monitoreo regional como AGRRA y la Red de Resiliencia Arrecifal (RNN), ha posicionado a la República Dominicana como uno de los países Caribeños líderes en conservación, monitoreo y restauración de arrecifes de coral (Calle-Treviño et al. 2018, 2020, Bayraktarov et al. 2020, Cano et al. 2021, Cortés-Useche et al. 2021, Sellares-Blaco et al. 2021). Los trabajos relacionados con arrecifes de coral han sido extremadamente prolíficos para el país, los cuales se encuentran compilados en una revisión bibliográfica reciente ([Irazabal, 2018](#)).

No obstante, la vasta mayoría de los trabajos publicados hasta la fecha se resumen en descripciones geológicas y/o ecológicas mientras que el entendimiento de los procesos que determinan la estructura y función de los arrecifes de la República Dominicana requieren un mayor entendimiento (Cortés-Useche et al. 2021). En particular, el análisis de los procesos que conducen a la estabilidad, declive y recuperación de los arrecifes de coral, aún son poco entendidos.

2. Amenazas globales y su impacto sobre la salud coralina

Los estresores globales que amenazan la permanencia de los arrecifes modernos tropicales, tal y como los conocemos hoy, se encuentran bien documentados; no solo en su origen, sino en los impactos directos e indirectos que producen sobre la estructura y función de estos ecosistemas (Abelson 2020, Carriger et al. 2021). Debido a que los arrecifes coralinos se componen de organismos con límites de tolerancia fisiológica estrechos y bien definidos, su distribución se encuentra limitada a aguas someras y tropicales, donde la interacción entre los procesos oceanográficos y atmosféricos tienen gran relevancia (Dubinzky, 2010).

Los arrecifes de coral han evolucionado en presencia de procesos que repercuten a

escala global, a escalas geológicas y evolutivas (Wood, 1999). Específicamente, el cambio climático natural (i.e., ciclos glaciales e interglaciales asociados a la proporción de CO₂ atmosférico), cambios en la química de los océanos, el movimiento de los continentes por deriva tectónica y la apertura o cierre de masas oceánicas, han modelado no solo la composición de las faunas coralinas, sino la distribución global de estos ecosistemas (Wood, 1999, Stanley, 2003). Los arrecifes de coral que vemos hoy, son el resultado de cientos de miles de años de cambios ambientales, en especial los que han ocurrido durante el Pleistoceno y el Holoceno (Stanley, 2003). Es por ello, que los factores globales de mayor impacto sobre la salud actual de los arrecifes de coral se relacionan directa o indirectamente con el cambio climático que estamos experimentando durante el Antropoceno (Lough et al. 2018), el cual se encuentra claramente asociado a la fertilización de CO₂ hacia la atmósfera como resultado de la quema acelerada de combustibles fósiles.

2.1. Calentamiento, blanqueamiento y enfermedades coralinas

El calentamiento de las masas oceánicas es uno de los problemas globales más serios que enfrentan los arrecifes del Antropoceno (Lough et al. 2018). La temperatura de los océanos se ha incrementado a nivel global, en especial, las diferencias entre los máximos y mínimos de temperatura que se registran en las estaciones cada año, se han hecho cada vez más estrechas, al tanto que la tendencia temporal de esta variable continúa ascendiendo (Campbell et al. 2011, Taylor et al. 2012, Randall y van Woesik, 2015).

La temperatura es una de las variables ambientales más importantes para los corales que forman arrecifes en aguas tropicales (Dubinsky, 2010). Los corales duros formadores de arrecifes viven en estrecha asociación mutualista con algas unicelulares llamadas zooxantelas (Dubinsky, 2010). La naturaleza de esta asociación es altamente específica entre el hospedero (coral) y el endosimbionte (alga), dependiendo del hábitat que el coral

ocupa (La Jeunesse et al. 2010). Asimismo, las ventajas que la asociación confiere tanto al alga como al coral, colectiva e individualmente son claras, y se ha demostrado que la relación provee grandes ventajas en términos nutricionales, para la calcificación, reciclaje de nutrientes y metabolitos celulares que pueden ser perjudiciales, refugio y protección contra depredadores (Roth, 2014). Sin embargo, como resultado de esta estrecha relación, ambos socios se ven forzados a ocupar un nicho extremadamente reducido; uno que satisface el funcionamiento óptimo de la relación mutualista (Glydos, 2006, Stanley y van de Schootbrugge, 2018).

Tanto el coral como las zooxantelas invierten energía de forma que la relación se mantenga en condiciones óptimas (i.e., provea mayor éxito reproductivo a ambas partes). Por ejemplo, se sabe que el coral regula la densidad de zooxantelas, manteniéndose dentro de densidades que oscilan entre 1×10^6 y 1×10^8 células por centímetro cuadrado (Cervino et al. 2003) y protege a las zooxantelas del exceso de radiación solar con proteínas de fluorescencia que dispersan la luz (Lyndby et al. 2016), o adoptando formas de crecimiento que maximizan la incidencia de la energía lumínica óptima para la fotosíntesis (Titlyanov y Titlyanova 2002, Antony et al. 2005). Finalmente, tanto el coral como las zooxantelas, tienen varios mecanismos de destrucción y/o secuestro de especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés), reduciendo así el estrés oxidativo que puede dañar al alga y al coral (Downs et al. 2002).

El calentamiento global de las masas oceánicas tropicales, lleva al límite de tolerancia fisiológica a la estrecha relación que se establece entre corales y zooxantela (Crabbe, 2008). El blanqueamiento coralino no es más que la disrupción de la asociación mutualista entre el coral y las zooxantelas, cuando los límites de establecimiento óptimo de esta relación han sido violentados (Fig 3 A-D, Crabbe 2008). Esto ocurre cuando la temperatura del océano alcanza 29-32 °C por encima de la temperatura óptima de 24-28 °C por perio-

dos prolongados de tiempo (e.g. meses). En otras palabras, la probabilidad de blanqueamiento se incrementa con el estrés térmico, el cual está determinado por la intensidad y duración del aumento de la temperatura en un sitio y momento determinado (Goreau y Hayes, 2021).

El blanqueamiento es una condición de estrés que puede recuperarse sin que se produzcan efectos letales en el coral, cuando la temperatura regresa a sus niveles óptimos (Brown, 1997). El coral blanqueado puede adquirir zooxantelas en vida libre del medio marino, y/o incrementar la densidad de algas a partir de las zooxantelas que no fueron expulsadas del tejido (Lough y van Oppen, 2009). No obstante, cuando el estrés térmico es intenso y duradero, el coral puede morir (Lough y van Oppen, 2009). Como resultado, los eventos masivos de blanqueamiento son la mayor causa global de pérdida rápida de áreas coralinas (Brown, 1997). Esto se debe a que, sin las zooxantelas, el coral deja de percibir más del 80% del carbono como fuente de alimento directo que requiere para su metabolismo (Lough y van Oppen, 2009), por lo que eventos prolongados de blanqueamiento, ocasionan inanición, pérdida de capacidad reproductiva; además de afectar otros procesos básicos para la supervivencia del coral (Ward et al. 2002, Hagedorn et al. 2016).

En el Caribe, los eventos recientes de blanqueamiento masivos datan de finales de los 80 (Brown, 1997). En la década de los 90, dos eventos fueron reportados en la región, todos ellos asociados a periodos de calentamiento inusuales que ocurrieron durante los años de El Niño (Brown, 1997). Los dos eventos que causaron mayores pérdidas de coral vivo en la región ocurrieron en el año 2005 y en el 2010 (Bastidas et al. 2010, Eakin et al. 2010, Rodríguez et al. 2010). Desde entonces, solo eventos menores o medianos se han registrado en el Caribe (Wilkinson y Souter, 2008, Alemu y Clement, 2014).

En la República Dominicana, como en otros países de la región, los eventos de blanqueamiento han producido mortalidad coralina variable. Estos eventos de blanquea-

miento masivo pudieron ser estudiados en profundidad para dos localidades del país, el Parque Nacional Submarino La Caleta y Bayahibe, gracias a la existencia de estudios de línea base y monitoreos periódicos por parte de diversos grupos y ONGs (Reef Check Dominicana y FUNDEMAR). En el caso de Bayahibe, los arrecifes de esta localidad se vieron significativamente afectados por el evento de blanqueamiento regional en el año 2005, con una disminución de hasta un 14% en su cobertura viva. Sin embargo, el arrecife rápidamente se recuperó y actualmente es uno de los más saludables de la República Dominicana. En el caso de La Caleta, se vio gravemente impactado por el evento de blanqueamiento que afectó la región del Caribe en el año 2010, con una disminución del 10% en promedio de su cobertura de coral para el año 2011. El arrecife rápidamente se recuperó, aumentando su tasa de cobertura coralina a razón de un 1% anual. En contraste con estos casos de éxito, el evento de blanqueamiento masivo del año 2005 afectó por igual a la localidad de Punta Cana, presentando sus valores más bajos de cobertura de coral, de los cuales no se ha recuperado hasta la actualidad. Esto nos permite afirmar que la República Dominicana, a pesar de contar con arrecifes extremadamente degradados, también dispone de ciertos arrecifes altamente resilientes a los impactos ambientales externos (Irazabal, 2018). Sin embargo, la degradación de los arrecifes coralinos en el país es tangible.

Por ejemplo, aunque la cobertura de coral vivo es altamente variable a nivel nacional, se estima que el promedio oscila alrededor del 20%, mientras que en el Caribe se han estimado valores cercanos al 25%. La cobertura más alta registrada a nivel nacional en el año 2019 fue en La Caleta (46%) mientras que Punta Cana registró un promedio de menos del 10% de cobertura de coral vivo (Steneck y Torres, 2019). Por su parte, la cobertura media de macroalgas de todas las áreas del Caribe ha aumentado constantemente desde la década de los 80 (Jackson et al, 2015). En República Dominicana, la cobertura de ma-

croalgas oscila entre 10 y 40% a nivel nacional, incluyendo las localidades de Monte Cristi - Las Galeras, y Punta Cana, respectivamente (Steneck y Torres 2019). En muchos casos el reemplazo de corales por macroalgas está relacionado con eventos de blanqueamiento; sin embargo existen otras causas que se discuten en este trabajo que pueden acelerar esta transición.

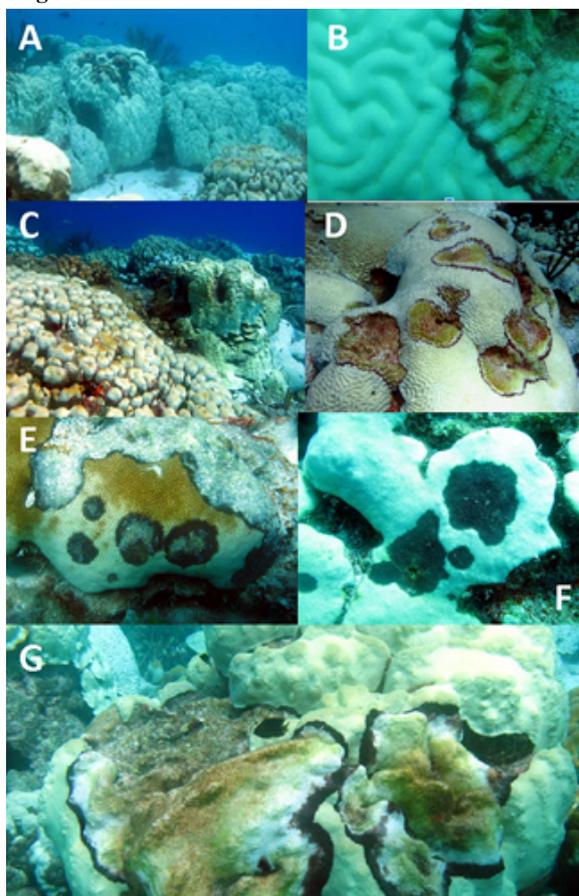
El blanqueamiento coralino, también se ha relacionado con la rápida aparición de enfermedades de coral, cuyos brotes se han esparcido por todo el Caribe reduciendo a niveles críticos la abundancia de especies de coral formadoras de arrecife (Bruno et al. 2007, Miller et al. 2009, Croquer y Weil, 2009). Diferentes estudios han mostrado una asociación entre el estrés térmico, el blanqueamiento coralino, cambios en la microflora bacteriana del coral, y la propensión a enfermedades (Harvell et al. 2007). De manera resumida, los corales poseen microorganismos asociados a sus tejidos y al moco que producen (Sweet et al. 2017). Al igual que nuestros intestinos, esta microflora representa una primera línea de defensa ante patógenos potenciales que se encuentran en el medio marino, e inclusive dentro del coral (Sweet et al. 2017). Se sabe que, durante el estrés térmico y el blanqueamiento coralino, esta microflora cambia, haciendo al coral más vulnerable a infecciones, lo que promueve diferentes problemas de salud sobre el coral (Maynard et al. 2015, Sweet et al. 2017, Fig 3 A-D).

En la República Dominicana no se han realizado estudios para verificar el impacto del blanqueamiento sobre la aparición de brotes de enfermedades coralinas; y estás a su vez, apenas empiezan a estudiarse, con la publicación de los informes de Reef Check y la estrategia de monitoreo de enfermedades de coral adelantada por The Nature Conservancy, la Red Arrecifal Dominicana y varios entes gubernamentales, no gubernamentales y académicos.

Finalmente, el calentamiento global está ocasionando la pérdida progresiva de las grandes masas de hielo en Antártida y

Groenlandia (Solomon et al. 2009). Estas masas de hielo cumplen un papel fundamental para reflejar hacia el espacio exterior la radiación solar, por lo que su derretimiento incrementa el calor que se queda atrapado en la atmósfera, ocasionando más calentamiento, y a su vez, mayor pérdida de hielo polar (Solomon et al. 2009, Bliss et al. 2014). Para los arrecifes de coral, el derretimiento de los casquetes polares, significa una rápida elevación del nivel del mar (Buddemeier y Smith 1988, Storlazzi et al. 2018). Los arrecifes pueden existir en tres fases: (1) crecimiento por encima del incremento del nivel del mar, (2) crecimiento emparejado sobre el incremento del nivel del mar y (3) crecimiento rezagado sobre el crecimiento del ni-

Figura 3. Aspecto de corales blanqueados y enfermos. A. Vista panorámica de un blanqueamiento masivo. B. Detalle del coral *Colpophyllia natans* blanqueado y con enfermedad de banda negra. C. *Orbicella annularis* blanqueada. D. *Colpophyllia natans* blanqueada con enfermedad de banda negra. E. *Solenastrea hyades* pálida y con enfermedad de lunares oscuros. F. *Solenastrea hyades* blanqueada con enfermedad de lunares oscuros. G. *Orbicella annularis* blanqueada con enfermedad de banda negra.



vel del mar (Birkeland, 1997). En la actualidad, y en el futuro cercano, el crecimiento de los arrecifes va a estar rezagado al rápido incremento del nivel del mar (Buddemeier y Smith 1988, Storlazzi et al. 2018). Es por ello que, se ha argumentado que, bajo las condiciones de cambio climático actual, los arrecifes co-ralinos tropicales podrían desaparecer. En la República Dominicana, no se han realizado estudios que muestren el impacto del incremento del nivel del mar sobre los arrecifes de coral.

2.2. Acidificación: calcificación y erosión

Los corales son organismos calcificadores, es decir, construyen un esqueleto externo que les proporciona el soporte para formar colonias. Con el incremento de CO₂ en la atmósfera, durante las últimas décadas, el pH de los océanos ha disminuido de forma sostenida, ocasionando una disminución en las tasas de calcificación (i.e., producción de carbonato de calcio) en los corales y otros organismos calcificadores responsables de la formación de los arrecifes de coral (Hoegh-Guldberg et al. 2007). Los mecanismos que relacionan la disminución del pH con la caída de la calcificación, se encuentran bien entendidos y publicados en otros trabajos (Kleypas et al. 2005). De manera resumida, el exceso de CO₂ atmosférico cambia la química oceánica para desfavorecer la calcificación. Como resultado, los corales calcifican más lento, al igual que los procesos erosivos producidos por organismos y por factores físicos como el oleaje y factores biológicos como la erosión por erizos, peces loros y otras especies (Hoegh-Guldberg et al. 2007, 2017). En la República Dominicana no se han medido las tasas de calcificación o de bioerosión en los arrecifes coralinos, asociado a la acidificación del mar. Sin embargo, existen evidencias que sugieren que la pérdida de barreras coralinas y otros arrecifes es un factor determinante para la erosión costera en la República Dominicana y el Caribe (Weilgus et al. 2010, Beck et al. 2011, Fabian et al. 2013).

2.3. Huracanes: pérdida de complejidad estructural

Los huracanes y tormentas tropicales son fenómenos climatológicos que se originan por la interacción entre procesos atmosféricos (e.g. convergencia entre zonas tropicales e intertropicales) y oceanográficos (e.g. patrones de circulación y calentamiento de las masas oceánicas, Eley et al. 2021). Estos fenómenos siempre han ocurrido con un grado alto de solapamiento respecto a la distribución de los arrecifes de coral modernos (Scoffin 1993, Rogers 1993). Sin embargo, en las últimas décadas, la frecuencia y la intensidad de estos eventos ha incrementado, ocasionando la rápida pérdida de áreas coralinas, y favoreciendo junto al calentamiento, las enfermedades y la bioerosión, la pérdida de la complejidad estructural del arrecife, lo que se conoce como aplanamiento arrecifal (Álvarez-Filip et al. 2009, Gardner et al. 2005, Newman et al. 2015). Para ilustrarlo, un arrecife con alta complejidad estructural es equivalente a una ciudad con rascacielos, casas, urbanizaciones arquitectónicamente distintas que pueden albergar y dar refugio a millones de personas. Un arrecife aplanado, es una ciudad en escombros, sin servicios básicos, un espacio hostil e inerte.

En República Dominicana, se han registrado 5-25 desastres climáticos en los últimos 40 años, con un incremento significativo entre 2002 y 2011 (Sattler et al. 2002, Pichler et al. 2013), incluyendo algunos huracanes que han tenido impactos claros en ecosistemas como bosques de manglar (Sherman et al. 2001), pesquerías artesanales (Karlson et al. 2020) y otras áreas del territorio nacional (Izzo et al. 2010). En algunos casos, se ha documentado el efecto de estos eventos, pero en la mayoría de los casos ha sido de manera cualitativa o semi cualitativa. Indistintamente de la cuantificación, los huracanes en República Dominicana pueden producir impactos significativos sobre la cobertura coralina y concomitantemente sobre la complejidad estructural de los arrecifes (Gerald 1982, 2003, Barnwell, 1983).

Durante el 2017, los huracanes María e

Irma fueron eventos atmosféricos extremos, que no tuvieron precedentes para la región Caribe (Steneck y Torres, 2018). En la República Dominicana afectaron la infraestructura y comunidades humanas adyacentes a la costa. Sin embargo, poco supimos de los impactos causados a los arrecifes del país, en especial de la costa norte (Steneck y Torres, 2018). El Programa Nacional de Monitoreo de la Salud Arrecifal de Reef Check Dominicana, Fundación Propagas y la Universidad de Maine, documentó el deterioro de los arrecifes de la localidad de Monte Cristi a raíz de estos fenómenos. El resultado mostró la pérdida de cobertura de coral vivo, que aún no se recupera, a pesar de que esta fue la estación de monitoreo con mejores condiciones para el año 2015, con 42% de cobertura de coral vivo (Steneck y Torres, 2015), lo que ejemplifica el gran impacto que pueden tener los huracanes sobre estos ecosistemas.

3. Amenazas locales y su impacto sobre la salud coralina

3.1. Pesca (remoción de especies clave, pérdida de resiliencia)

La sobrepesca se define como la extracción de recursos marinos sin criterio o sin límites regulatorios, de forma que la actividad se hace insostenible en el tiempo debido a la reducción y/o extirpación del recurso (Beamish et al. 2006). En los arrecifes de coral, la sobrepesca es uno de los factores de pérdida de salud, en especial en países en vías de desarrollo (Shantz et al. 2020). La extracción poco controlada de especies que habitan en el arrecife tiene un impacto directo sobre lo que se conoce como la resiliencia del ecosistema; es decir, su capacidad de recuperación natural, luego de que es perturbado (i.e., alterado) por un disturbio (i.e., un estresor potencial) (Briggs et al. 2020). La pérdida de resiliencia se origina por la extirpación de grupos de especies que cumplen una función específica en el ecosistema (e.g. herbívoros, carnívoros y descomponedores), lo cual incrementa la posibilidad de que el ecosistema cambie su estructura (riqueza y diversidad de especies) y

función (estructura de las cadenas alimentarias). Esto se conoce como pérdida de redundancia funcional (Nyström 2006, Bellwood et al. 2003, Briggs et al. 2020).

En la República Dominicana, como en la mayor parte del Caribe, la sobrepesca es un problema serio. La competencia es uno de los procesos biológicos de mayor relevancia en los arrecifes de coral (Chadwick et al. 2011). Por definición, este proceso ocurre cuando dos o más especies (competencia interespecífica) y/u organismos de la misma especie (competencia intraespecífica) comparten el hábitat y dependen de un recurso que es de interés común y/o escaso, es decir, se encuentra en condiciones limitantes (Begon et al. 1986). Para los organismos sésiles del arrecife (los que no se mueven) que viven en el fondo, el recurso limitante es el espacio por el cual compiten por interferencia (i.e., ataque directo al competidor) o por explotación (i.e., monopolización del recurso, en este caso lugar de asentamiento) (Begon et al. 1986). Un ejemplo de esto es la competencia por el sustrato entre algas y corales. En un arrecife sano, los corales dominan y las algas se encuentran en menor proporción (McCook et al. 2001, Jompa y McCook, 2003). Dado que las algas son mejores competidores por el sustrato, debido a que crecen más rápido, y tienen límites de tolerancia al estrés más robustos, la única forma en que los corales pueden predominar sobre las algas es mediante el control por herbivoría (Burkepile y Hayes 2010, Adam et al. 2015).

Los herbívoros más importantes en los arrecifes de coral son los erizos (*Diadema antillarum* y *Echinometra* spp.) los peces loros (Scaridos), doctores y cirujanos (Acanthuridos) (Burkepile y Hayes 2010). Estos organismos remueven toneladas de algas en el arrecife por unidad de área al año, cada uno se especializa en la remoción de grupos de algas específicos, y en general, tienen diferentes adaptaciones para poder digerirlas (Hay, 1997). Los herbívoros, también son importantes para el reciclaje del carbono en el arrecife; por ende, en la producción de arena calcárea (Glynn y Manzello, 2015), la cual le

da el aspecto blanco a las playas determinando así su valor turístico. En otras palabras, sin la herbivoría, los arrecifes cambian desde un estado dominado por corales con alta complejidad estructural, a un estado dominado por macroalgas y escombros; es decir, un cambio de fase (Ledlie et al. 2007).

La tendencia general a largo plazo de las poblaciones de peces herbívoros para la República Dominicana no es promisorias. Entre el 2015 y 2017 de cuatro a siete puntos de monitoreo estudiados tenían una abundancia de loros mayor que los 833g/100m² (Steneck y Torres 2015, 2018). En los estudios del 2019, sin embargo, ninguno de los sitios tuvo un promedio de o superior a los 833g/100m². En comparación, la biomasa combinada de cirujanos en los arrecifes mesoamericanos en 2014-15 duplicó estos valores, registrando biomasa de herbívoros por encima de 2000g/100m² (Suchley et al. 2016).

En cuanto a las poblaciones de erizos, si bien no disponemos de datos de línea base para el país, los datos de nueve localidades del Caribe compilados por Lessios (1988) oscilan entre 1 y 14 erizos por m², con una media de 5,61 antes del evento de mortalidad masiva de 1983. En la actualidad, en la República Dominicana los valores se encuentran por debajo de lo reportado en 1988 para el Caribe, por lo que solo cuando se recuperen estas poblaciones podría reducirse la cobertura de macroalgas. En tan solo un sitio de monitoreo en el país (Punta Águilas) en la localidad de Pedernales han sido medidas “densidades funcionales” de esta especie, que superaban los 30 erizos/m² (Steneck y Torres, 2019).

3.2. Desarrollo costero no sostenible: Eutrofización, sedimentación, pesticidas, y otras formas de deterioro del ambiente coralino.

El desarrollo costero poco planificado es uno de los factores de estrés y pérdida de salud arrecifal local más contundente (Carlson et al. 2019). En líneas generales el desarrollo costero impacta sobre los arrecifes de coral

de las siguientes formas: (1) modificando la línea de costa, lo cual altera la integridad de ecosistemas costeros como playas, manglares y pastos marinos; todos ellos interconectados física, química, biológica y ecológicamente con los arrecifes (Unsworth et al. 2008), (2) disminuyendo la calidad de agua, en especial cuando no existen mecanismos de manejo y control de aguas negras, las cuales inyectan nutrientes, fertilizan crónicamente al arrecife al tanto que promueven el crecimiento de algas que compiten con los corales (Souter y Linden, 2002, Carlson et al. 2019). Este escenario produce efectos negativos más dramáticos en arrecifes que han sido expuestos a la sobrepesca (Miller et al. 1999) y (3) incrementando la presión de uso sobre los arrecifes, lo cual lleva al límite la tolerancia fisiológica de los corales y otros componentes del arrecife, los cuales tienen márgenes de tolerancia de estrés muy reducidos (Putnam et al. 2017).

En la República Dominicana, la mayor parte del desarrollo turístico ocurre en áreas próximas a los arrecifes de coral, debido al valor paisajístico que estos ecosistemas agregan al entorno. Aunque las normativas ambientales dominicanas exigen estudios de impacto ambiental y de capacidad de carga (Ley 64-00), solo el seguimiento y evaluación periódica de estas intervenciones y el diseño experimental apropiado, permite cuantificar los impactos de estos desarrollos. La erosión costera es un problema que se ha ligado a la intervención de costas, y a la destrucción de barreras coralinas en República Dominicana (Torres et al. 2001, Weilgus et al. 2010, Beck et al. 2011, Fabian et al. 2013). Así lo demuestran algunos reportes elaborados por consultores externos (e.g. IH Cantabria), The Nature Conservancy y el interés del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y las autoridades ambientales dominicanas, en desarrollar soluciones híbridas para la restauración de arrecifes orientado a la protección de playas.

En Bayahibe, miles de personas confluyen semanalmente en sitios de interés turístico donde existen arrecifes, el impacto que

supone esta elevada presión turística ha sido calculado para la zona por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), el Ministerio de Turismo y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales durante los últimos 5 años. En el futuro, con el crecimiento turístico proyectado en el país, se requerirán más estudios que permitan establecer y cuantificar la relación causa-efecto entre los planes de desarrollo de la línea de costa y el impacto que pueden tener sobre indicadores específicos de la salud arrecifal; si se quieren diseñar medidas más certeras de protección o disminución de estos efectos.

3.3. Intervención de cuencas por prácticas agrícolas no sostenibles

La deforestación con fines agrícolas es un problema serio que puede afectar la salud de los arrecifes de coral a escala local (Wilkinson, 1996). La remoción de biomasa vegetal para habilitación de tierras para el cultivo altera la composición de los bosques primarios o nativos, y con ello, las propiedades del suelo, específicamente los regímenes de escorrentía; y con ello, la carga sedimentaria aportada por los ríos que desembocan en áreas costeras con desarrollo arrecifal (Bartley et al. 2014). El resultado es un incremento en la sedimentación, el aumento de la turbidez del agua y la limitación de la penetración de luz en la columna de agua (Bartley et al. 2014), lo cual es esencial para la fotosíntesis de las zooxantelas que viven asociadas al coral (Philipp y Fabricius, 2003). La sedimentación también puede matar colonias de coral rápidamente por sofocamiento, luego de cubrir de forma transitoria o permanente a las colonias de coral (Weber et al. 2012) afectando su capacidad reproductiva (Jones et al. 2015). Este efecto directo es particularmente sensible para colonias de corales en estadio juvenil de pocos centímetros de diámetro, las cuales pueden cubrirse y morir rápidamente (Erftemeijer et al. 2012). Aunque los corales tienen diferentes mecanismos para defenderse de la sedimentación (Erftemeijer et al. 2012), la entrada crónica de sedimentos,

puede ocasionar sin lugar a dudas la rápida pérdida de áreas coralinas (Erftemeijer et al. 2012).

Las descargas de ríos pueden reducir la salinidad, incrementar la introducción de químicos utilizados en la agricultura extensiva (e.g. pesticidas), disminuir exponencialmente la entrada de nutrientes como fosfatos y nitratos (e.g. fertilizantes), reduciendo de esta forma la calidad del agua que requieren los corales y los arrecifes coralinos para su desarrollo y permanencia (Bak 1987, van Dam et al. 2011). Si a estos impactos se les suman la sobrepesca, el desarrollo costero y la presión turística, el deterioro de los arrecifes puede ocurrir tan solo en meses o pocos años (Hughes, 1994).

En la República Dominicana, gran parte de los arrecifes se encuentran en áreas cercanas a ríos, cuyas cuencas bajas generalmente son utilizadas para la ganadería y agricultura extensiva de gramíneas, mientras que las cuencas altas se ven impactadas por cultivos de cítricos, café y cacao, entre otros. Estas intervenciones generan erosión de las capas superficiales del suelo, las cuales son arrastradas río abajo con las tormentas anuales causando efectos perjudiciales para los ecosistemas marino-costeros como manglares, pastos marinos y arrecifes de coral. Si bien este fenómeno ha sido ampliamente observado en diversas zonas del país (e.g. TNC y el programa de Islas Resilientes de Miches), la relación causa-efecto de la deforestación de áreas terrestres para la agricultura con la pérdida específica de una extensión determinada de arrecifes de coral ha sido poco cuantificada, al menos en diferentes partes de la isla. Sin embargo, en la República Dominicana se reconoce que la sedimentación es un factor muy importante que ha contribuido con la degradación de arrecifes coralinos (Torres et al. 2001).

4. Medidas de mitigación

4.1. Responsabilidades y acuerdos suscritos a nivel internacional

La República Dominicana es Estado parte de

varios convenios y tratados internacionales relacionados con la conservación de los recursos marinos, cuyas estipulaciones encierran una serie de compromisos en torno a la conservación y uso sostenible de sus ecosistemas y especies.

Uno de estos es el Convenio de Diversidad Biológica, firmado el 13 de junio de 1992 y ratificado en 1996, que compromete al país a reglamentar y administrar los recursos biológicos importantes para la conservación de la diversidad biológica y a promover la protección de ecosistemas y hábitats naturales, procurando su rehabilitación y restauración (Resolución 25-96, 1996). Del mismo modo, es parte del Protocolo SPAW (Specially Protected Areas and Wildlife), en el que cada Parte, de acuerdo con sus leyes y reglamentos, así como con las disposiciones del Protocolo, debe tomar las medidas necesarias para proteger, preservar y manejar de manera sostenible, en su territorio las zonas que necesitan de una protección y las especies amenazadas (PNUMA, 2012). Fue adoptado por la República Dominicana mediante la Resolución 358-98 el 18 de agosto de 1998, que además contempla el establecimiento de áreas protegidas y la reglamentación de actividades que tengan efectos adversos sobre esas áreas y especies bajo amenaza.

El Código de Conducta para la Pesca Responsable, adoptado el 31 de octubre de 1995 por la Conferencia del Programa de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), ofrece un marco para la explotación sostenible de los recursos acuáticos vivos, incluyendo los del medio marino. Plantea la necesidad de reconocimiento de que el uso sostenible a largo plazo de los recursos pesqueros es el objetivo primordial de la conservación y gestión, debiéndose adoptar medidas apropiadas, basadas en los datos científicos más fidedignos disponibles a los fines de mantener o restablecer las poblaciones a niveles que puedan producir el máximo rendimiento sostenible, con arreglo a los factores ambientales y económicos pertinentes, incluidas las

necesidades especiales de los Estados en desarrollo (CODOPESCA, 2018).

Un gran paso a destacar es el establecimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que supone un compromiso mundial para la adopción de medidas para la protección del medio ambiente que garanticen el uso racional de los recursos para las presentes y futuras generaciones. En 2015 los líderes mundiales adoptaron la Agenda 2030, que recoge los 17 objetivos de desarrollo sostenible, en el cual se incluye el objetivo Nro. 14 “conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos”. República Dominicana avanza en la conservación y uso sostenible de los mares y océanos y en la protección efectiva de los ecosistemas marinos, aunque aún se demanda de más y mejor información que permita construir indicadores relevantes y políticas e iniciativas concretas y de envergadura (Co-misión de Desarrollo Sostenible, 2018).

4.2. Fortalecimiento institucional como herramienta de gestión

Con el objetivo de mejorar la gestión de los recursos naturales, incluyendo los arrecifes de coral, en el año 2000 se creó la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, mediante la promulgación de la Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales. En el año 2010, mediante un decreto presidencial, todas las Secretarías de Estado pasaron a ser Ministerios sin variar su función, y así pasó a llamarse Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Este tiene la responsabilidad de establecer normas para la conservación, protección, y restauración de los recursos naturales de la Nación.

En 2008, mediante Decreto 601-08, fue creado el Consejo Nacional para el Cambio Climático y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CNCCMDL), con el objetivo de articular esfuerzos entre los sectores de desarrollo del país para combatir el problema global del cambio climático, un tema particularmente importante

misión Interinstitucional de Alto Nivel para el Desarrollo Sostenible mediante el Decreto 23-16, modificado por el Decreto 26-17. Esta Comisión fue la responsable de emitir el Informe Nacional Voluntario, el cual narra el cumplimiento del país de la Agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS). En la versión 2021 de este documento se destacan las limitaciones estadísticas sobre el medioambiente y, consecuentemente, la necesidad de generar más información de calidad en este ámbito. No se presentaron resultados sobre el ODS 14 Vida Submarina, de hecho, de las entidades consultadas solo el 6% manifestaron estar relacionadas a este.

Sin embargo, reconociendo la gravedad de la amenaza que supone el cambio climático sobre los ecosistemas costeros y marinos, el Estado dominicano ha creado políticas públicas que dan soporte legal para enfrentar sus consecuencias sobre el medio ambiente y las comunidades locales, entre las que podemos mencionar:

- La Ley Orgánica de la Estrategia Nacional de Desarrollo (END) 2030 de 2012 (Ley 1.12), indica en su línea de acción No. 4 sobre manejo sostenible del medio ambiente, en su objetivo específico No. 4.1 que uno de sus enfoques es “proteger y usar de forma sostenible los bienes y servicios de los ecosistemas, la biodiversidad y el patrimonio natural de la nación, incluidos los recursos marinos”.

- El Plan Estratégico para el Cambio Climático (PECC) 2011-2030 de 2012, contempla dentro de sus objetivos la consecución de altas capacidades de adaptación al cambio climático, tomando en cuenta el conocimiento de las comunidades locales, por medio de la ejecución de medidas y acciones sugeridas por instancias competentes y asumidas por el país.

- La Política Nacional de Cambio Climático (PNCC), Decreto 269-15 de 2015, establece una estrategia para gestionar la variabilidad climática producto de la intervención humana, y aunque no es específica sobre los ecosistemas marinos, propicia un marco político e institucional que permita la disminución de emisiones de gases de efecto

invernadero, una de las causas principales del aumento de la temperatura del mar.

- El Plan Nacional de Adaptación para el Cambio Climático en la República Dominicana 2015-2030 (PNACC RD) de 2016, contempla en el eje estratégico 4, 5 y 6, priorizar el incremento de la resiliencia de los ecosistemas y sus especies asociadas, incluyendo los arrecifes coralinos, su restauración, y la creación de un fondo que permita responder ante los efectos negativos del cambio climático.

- El Plan Nacional Plurianual del Sector Público (PNPSP) 2021-2024 emitido en 2021, establece como una de las áreas de intervención “la sostenibilidad ambiental y el cambio climático”, lo que involucra proteger y conservar la biodiversidad, mejorar el medio ambiente en los destinos turísticos y la recuperación las costas donde establece como tarea explícita “atender de forma prioritaria la conservación y regeneración de los corales”.

Como iniciativa que nace desde la sociedad civil, se destaca la conformación de la Red Arrecifal Dominicana, una alianza de organizaciones e individuos que reúne a 28 miembros a nivel nacional. RAD promueve la participación y comunicación entre Gobierno, sector privado, academia y comunidades locales para definir las acciones que deben implementarse para la gestión sostenible de los arrecifes de coral (Red Arrecifal Dominicana, 2019).

4.3. Protección de especies claves para la salud arrecifal

Muchos peces juegan un papel clave en el ecosistema del arrecife y sin duda se ven afectados por la sobrepesca (Roberts, 1995). Las poblaciones de taxones clave de herbívoros, como las diferentes especies de la Familia *Scaridae*, y el Erizo Negro *Diadema antillarum*, dependen de los arrecifes de coral como hábitat, pero al mismo tiempo, los corales dependen de estos para mantener un buen estado de salud. Los procesos de herbivoría pueden promover el dominio de los corales al reducir la cobertura y/o la biomasa

de las algas (Suchley A, 2016). La mortalidad en masa del *Diadema* en 1983, y la sobrepesca de especies herbívoras, el pez loro en particular, ha sido uno de los mayores factores determinantes del declive de los arrecifes en el Caribe (Jackson JBC, et al, 2014).

En el año 2017 el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales emitió la Resolución 0023-17 que prohibió la captura y comercialización de algunas especies herbívoras arrecifales, tiburones y rayas, dada la importancia ecológica de estos organismos, acorde al enfoque precautorio dispuesto en el art. 8 de la Ley 64-00. Este instrumento legal dispone una veda en todo el territorio nacional de peces herbívoros de las familias *Scaridae* y *Acanthuridae* (Fig 4) por dos años (junio 2017-junio 2019), del Erizo Negro *Diadema antillarum* por 5 años (junio 2017-junio 2022), y las especies de tiburones y rayas (orden *Elasmobranchios*) por tiempo indefinido.

Sin embargo, para 2019 se observó un declive en la población de biomasa de peces loros en las áreas de Monte Cristi, Pedernales y Samaná. Entre 2015 y 2017 de cuatro a siete estaciones tenían una abundancia de loros mayor a los 1000 g/120 m². En los estudios del 2019 ninguna de las estaciones tuvo un promedio igual o superior a los 1000 g/120 m² (Steneck y Torres, 2019). En las áreas de Punta Cana, Bayahibe y Cabeza de Toro entre 2018 y 2019, las densidades de pez loro no aumentaron de manera significativa, indicando una necesidad de extensión de veda (Fundación Grupo Puntacana, 2019). Asimismo, el estudio *Análisis de la efectividad de la veda del pez loro*, mediante una serie de encuestas a nivel nacional demostró que los pescadores arrecifales fueron impactados negativamente en el aspecto económico y social por la veda, ya que la pesca del pez loro representaba entre el 30 y 50% de la captura total (The Nature Conservancy, 2019).

Desde junio de 2019 hasta agosto de 2020 no existió en la República Dominicana algún

tipo de protección para los peces loros, a pesar de que la Lista Roja de Especies de Fauna en Peligro de Extinción, Amenazadas o Protegidas de República Dominicana de 2018 incluye 8 especies de la familia *Scaridae* en estado Vulnerable (The Nature Conservancy, 2020).

A partir de septiembre de 2020 una serie de instrumentos legales han sido emitidos en torno a la protección de peces herbívoros:

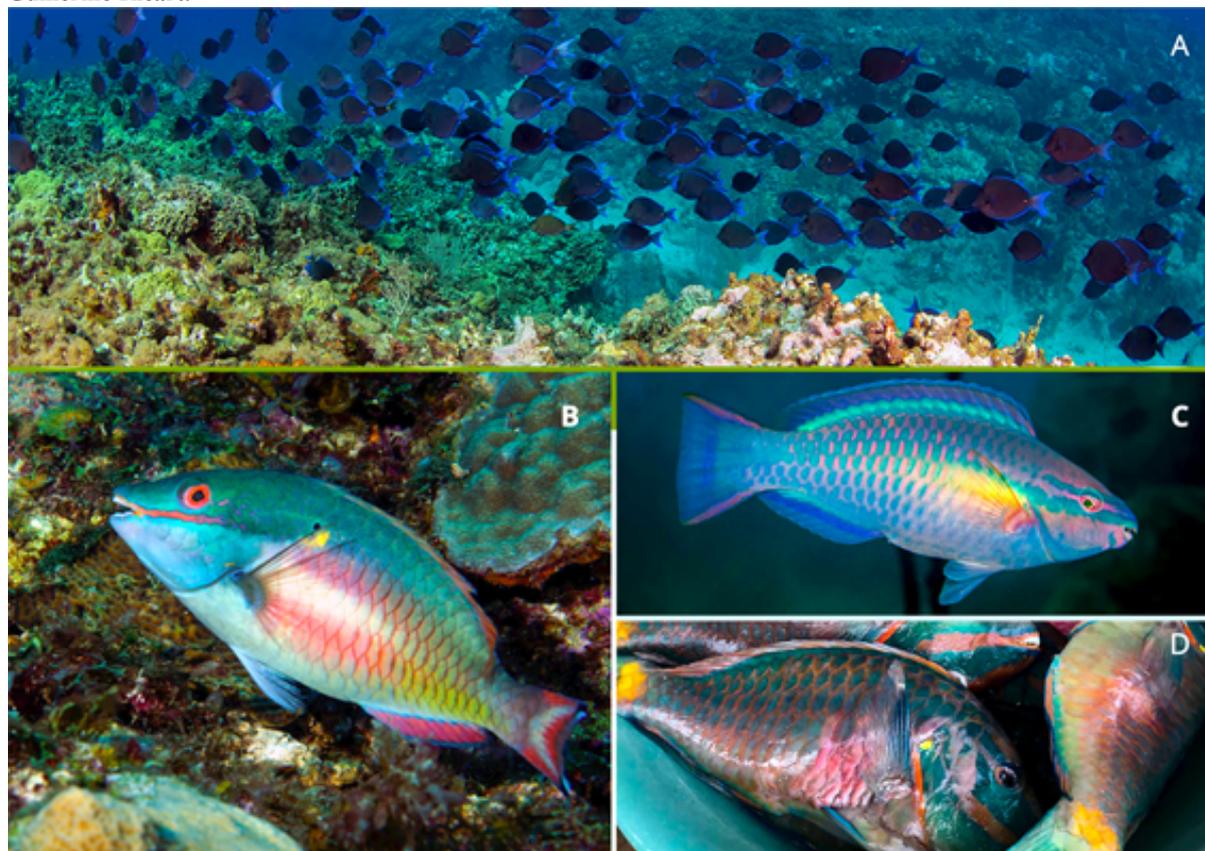
- Resolución 0023-20 de septiembre de 2020, emitida por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, dictó una veda de un año bajo condiciones similares a la veda de 2017. Como valor agregado, en su artículo Nro. 5 ordenó establecer un programa de monitoreo con indicadores de efectividad para medir el impacto de la regulación.

- Decreto 326-21 de mayo de 2021 emitido por la Presidencia de la República Dominicana, que derogó la Resolución 0023-20, y establecía una veda de 4 meses para varias especies de peces loros, desde el 1 de septiembre hasta el 31 de diciembre.

- Decreto 401-21 de julio de 2021 emitido por la Presidencia de la República Dominicana, actualmente vigente y que deroga el Decreto 326-21, establece un período de veda de 2 años para peces herbívoros, y suma también las familias *Pomacanthidae* y *Chaetodontidae*.

Otras soluciones de manejo se han planteado para apoyar la conservación de los peces herbívoros en aguas dominicanas. Recientemente, el *Plan de monitoreo para manejo y conservación de peces loro (Scaridae)*, propone un diseño de monitoreo que guiará a las principales partes interesadas sobre cómo recopilar de manera consistente datos relacionados con los peces loros, que se utilizarán para informar las medidas más efectivas de conservación y gestión de las especies, que contemplen la participación de los actores involucrados (The Nature Conservancy, 2020).

Figura 4. Peces herbívoros arrecifales. A. Escuela de peces de la familia *Acanthuridae*. B. Pez loro Banda Roja (*Sparisoma aurofrenatum*). C. Pez loro Princesa (*Scarus taeniopterus*). D. Peces loro capturados para consumo. Crédito: Guillermo Ricart.



4.4. Cultivo de corales para la restauración de arrecifes de coral

La restauración de corales se puede realizar mediante la propagación asexual y sexual y otros tipos de intervenciones para mejorar la idoneidad del sustrato para los corales trasplantados (Boström-Einarsson et al., 2020). En República Dominicana, al igual que en el resto del Caribe, con el apoyo de TNC los esfuerzos de restauración, cultivo y propagación coralina se han centrado principalmente en las especies *Acropora cervicornis* y *Acropora palmata* (Consortio Dominicano de Restauración Costera, 2020). Los principales programas de restauración se concentran en la costa este y sureste del país, donde se encuentran actualmente tres laboratorios de corales: (1) el Centro de Innovación Marino (CIM) de la Fundación Grupo Puntacana en Punta Cana, donde se implementan técnicas de reproducción asexual como fragmentación in situ y microfragmentación desde viveros de tierra; (2) el Laboratorio para la

Reproducción Asistida de Corales de la Fundación Dominicana de Estudios Marinos (FUNDEMAR) en Bayahíbe, en el que se implementan técnicas de fertilización asistida y propagación larval a pequeña escala; y (3) El proyecto Coral Lab del programa Wave of Change del Grupo Iberostar en Bávaro, donde se llevan a cabo pruebas de estrés térmico para reconocer genotipos de especies resistentes a los cambios de temperatura del mar.

Otros esfuerzos más recientes existen en la costa norte (Fundación Ecológica Maguá en Sosúa y Punta Rucia, y el Centro para la Conservación y Ecodesarrollo de la Bahía de Samaná y su Entorno, CEBSE en Samaná), y en la costa sur (Fundación Verde Profundo en Boca Chica, y la iniciativa Sea Something en Palmar de Ocoa). Todas estas organizaciones están agrupadas a través del Consortio Dominicano de Restauración Costera, quienes junto al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales crearon el *Manual de evaluación de desempeño de viveros corali-*

nos, que establece un método estandarizado para evaluar el estado y rendimiento de un programa de viveros de coral (Consortio Dominicano de Restauración Costera, 2020).

Las intervenciones para restaurar y/o rehabilitar arrecifes de coral son consideradas como una solución para enfrentar el problema de degradación de los arrecifes en el futuro (Wilkinson, 2008). Sin embargo, no muchos estudios en la literatura publicada informan sobre indicadores específicos y medibles para rastrear el éxito y el progreso de la restauración (Bayraktarov et al, 2020). El éxito operativo de un programa de restauración se compone de tres elementos claves: 1. la sostenibilidad financiera y la capacidad técnica a través de alianzas claves con el sector privado, organizaciones no gubernamentales y la comunidad científica; 2. la existencia de una infraestructura adecuada; y 3. un programa bien estructurado que responda de manera gradual a los objetivos del proyecto de restauración institucional (Sellares et al. 2021).

Además, a través de acciones como el evento Coral Manía, cada año se busca escalar los esfuerzos de trasplante e involucrar a la comunidad. En el último Coral Manía realizado en 2019, 28 administradores, practicantes, jardineros de coral, turistas y voluntarios locales se reunieron en Bávaro para trasplantar 1,660 fragmentos de coral de la especie *Acropora cervicornis*. Hasta donde se sabe, esta fue la primera vez que se utilizó el mapeo aéreo para guiar los esfuerzos de trasplante (Bayraktarov et al, 2020), específicamente los derivados de espectroscopía de imágenes del Global Airborne Observatory (GAO). El seguimiento de los trasplantes realizados en enero de 2020, en cuatro de los sitios seleccionados, confirmaron que el 92% de ellos sobrevivieron después de 3 meses. Para octubre de 2020 (11 meses después), la supervivencia se mantuvo por encima del 76%. Estos resultados demuestran tasas de éxito superiores al promedio para la supervivencia de trasplantes de coral para esta especie (Schill et al., 2021).

La técnica de jardinería de coral se constituye en la nueva alternativa para evitar la des-

aparición de especies en su hábitat natural, la siembra de coral produce grandes beneficios para las comunidades locales y para el ecosistema costero, fomentando un equilibrio en la biodiversidad y la formación de playas de arenas blancas (Feliz, 2017).

4.5. La educación: elemento clave para la conservación de los arrecifes coralinos

La educación es un camino importante para abordar las grandes brechas que existen entre el uso y conservación de los recursos marinos. Tiene un papel central en apoyar al público en general, y en especial a las futuras generaciones, a comprender el tema, llevar a cabo cambios en el estilo de vida que reduzcan las emisiones de gases generadores del efecto invernadero y adaptarse a las cambiantes condiciones locales (Consejo Nacional del Cambio Climático, 2012).

En 2019, la Red Arrecifal Dominicana inició el programa educativo *Arrecifes del Futuro*, en el cual más de 3,000 jóvenes aprendieron la importancia de conservar los arrecifes coralinos, vivieron la experiencia de colaborar con expertos sobre los trabajos de conservación marina y se realizó el Primer Festival de Corales del país (Red Arrecifal Dominicana, 2019). En 2020, el Estado dominicano promulgó la Ley No.94-20 sobre Educación y Comunicación Ambiental, que incluye la educación ambiental en las diferentes etapas del sistema escolar y superior dominicano, en centros docentes públicos y privados; así como, de forma transversal y articulada, en todas las modalidades de enseñanza formal, no formal e informal, a fin de procurar la sensibilización y concienciación ambiental en toda la sociedad dominicana.

Recientemente, en julio de 2021, se inauguró la Especialidad en Educación Ambiental en modalidad virtual, que cuenta con un currículo diseñado por la Fundación Propagas, en alianza con diferentes universidades nacionales y bajo la aprobación del Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología, que tiene como objetivo mejorar la capacidad de los docentes de facilitar el aprendizaje y la conciencia ambiental (Fundación Propagas,

2021).

Diferentes instituciones implementan programas educativos con gran impacto que contemplan contenido sobre los arrecifes coralinos y sus especies, entre los que se pueden mencionar:

- Dominican Environmental Education Program (DEEP) de Counterpart International, que asocia a 6 colegios privados en un programa ambiental basado en la ciencia ciudadana.

- Programa Jóvenes Embajadores de Reef Check República Dominicana y Fundación TUI Care, que imparte conocimientos sobre ecología y sostenibilidad a estudiantes de nivel nacional, y ha realizado aportes al contenido de educación ambiental marina dentro del plan de estudios dominicano.

- Programa de Conservación Marina de la Fundación Puntacana, FUNDEMAR y CEBSE, que involucra visitas guiadas y participativas para estudiantes de secundaria y universitarios, a los proyectos de conservación marina de cada fundación. Además, dispone de charlas virtuales pregrabadas sobre la importancia de estos ecosistemas.

- Programa educativo del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales a través de su Dirección de Educación y Divulgación Ambiental, que implementa prácticas sincrónicas y asincrónicas que utilizan herramientas tanto virtuales como presenciales, e incluye actividades como la Semana de Concienciación Juvenil, Congresos medioambientales para la formación docente y divulgación por diferentes medios de comunicación.

4.6. Manejo de áreas marinas protegidas

Las áreas marinas protegidas han sido empleadas históricamente para reducir la presión de impactos locales sobre los espacios naturales donde se asientan especies en riesgo, comunidades y/o ecosistemas clave. En líneas generales, el objetivo de estos espacios es lograr el uso sostenible de los recursos naturales. En las últimas décadas se han incrementado los esfuerzos para: (1) incrementar las áreas marinas protegidas y/o (2) mejorar

la forma en que se manejan (Spalding et al. 2016). En el primer caso, lo que se persigue es aumentar el número de refugios y zonas de cría para especies y ecosistemas asumiendo que las medidas se toman reducen el impacto de estresores locales o dan una mejor posibilidad de recuperación natural ante estresores cuyo impacto es global (e.g. el calentamiento global que produce el blanqueamiento coralino) y así mejorar la adaptación al cambio climático (Wells et al. 2016). Además, se persigue lograr que las áreas marinas protegidas no funcionen como entidades discretas sino más bien como corredores ecológicos que fomenten la conectividad biológica, ecológica y genética entre las especies (Moffitt et al. 2011). En el segundo ámbito de acción, el objetivo es incrementar la vigilancia, el cumplimiento de las normativas y el empoderamiento del manejo local que incluya a múltiples actores, de manera que los objetivos y metas del área marina protegida puedan cristalizarse (Solandt et al. 2014). En este sentido, se ha recalcado que el éxito de un área marina protegida depende de la fortaleza del marco legal e institucional, así como también de la gobernabilidad existente en cada país (Pendelton et al. 2018). Debido a que estos parámetros varían entre geografías, la mera declaración de áreas marinas protegidas sin el empoderamiento legal requerido ha sido cuestionada como herramienta de conservación (Solandt et al. 2014).

En la República Dominicana el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) se conforma actualmente de 127 unidades de conservación clasificadas en seis categorías y 13 subcategorías de manejo, en las cuales se incluye una superficie marina de 45,904.39 km² y una longitud de costa de 1251,7 km, lo que representa el 75% de la línea costera del país bajo protección (ver página Web MIMARENA).

Entre muchas otras, el Santuario Marino Arrecifes del Sureste (SAMAR) fue declarado área marina protegida en 2009 bajo el Decreto 571-09, cuyo propósito es conservar el hábitat natural y los ambientes especiales que se forman en la plataforma continental

del sureste de la Isla de La Hispaniola. Tiene una extensión de 7,862.59 km², a lo largo de aproximadamente 120 km de costa, y abarca ecosistemas de arrecifes de coral, varios centros urbanos importantes y dos de los principales centros de turismo del país que reciben más de 4 millones de visitantes al año. Está clasificada bajo la categoría de manejo IV “Conservación mediante manejo activo”, que corresponde a áreas de manejo de Hábitats/Especies, según lo establecido por la UICN. Es la segunda más grande del país, y abarca desde el Canal de la Mona (al este de Cabo Engaño) hasta la porción marina existente al sur de la desembocadura del Río Higuamo. Alberga de numerosas especies marinas, incluyendo el manatí (*Trichechus manatus*) que se encuentra en Peligro de Extinción según la Lista Roja de la UICN (Fundación Grupo Puntacana, 2017).

SAMAR es un ejemplo de cogestión de un área Marina Protegida única en el Caribe. Los “co-manejantes” que integran las 3 unidades son: la Fundación Central Romana, Clúster Turístico La Romana Bayahibe, Asociación de Hoteles La Romana Bayahibe, Fundación Dominicana de Estudios Marinos (FUNDEMAR), Fundación Capcana, Universidad Iberoamericana (UNIBE), Asociación de Propietarios Cap Cana, Scape Ecological Foundation, Fundación Grupo Puntacana, Cluster Turístico Altagracia, Asociación de Hoteles y Proyectos Turísticos de la Zona Este, Asociación de Proveedores de Servicios Acuáticos de Hoteles de la Provincia La Altagracia, Asociación Blue Finance Dominicana.

Este modelo de cogestión ofrece una plataforma interesante que puede ser replicado en diferentes países dado que integra los beneficios de la extensión geográfica del área protegida con el fortalecimiento de la gestión a través de alianzas público-privadas. Por ejemplo, actualmente SAMAR cuenta con un sistema de monitoreo de arrecifes de coral con un protocolo unificado que hace seguimiento varias veces al año de indicadores de salud, como cobertura coralina, cobertura de macroalgas y abundancia de reclutas. El método se

basa en análisis de imágenes del fondo bentónico, siguiendo el protocolo del Global Coral Reef Monitoring Network (adaptado). Además, todos los co-manejantes han acordado contribuir con el plan de acción de monitoreo de enfermedades coralinas y blanqueamiento lanzado por la Red Arrecifal Dominicana y por The Nature Conservancy para hacer seguimiento a la prevalencia y distribución de enfermedades coralinas. Se cuentan con bases de datos estandarizadas y se han realizado diferentes talleres a través de la Red Arrecifal Dominicana - The Nature Conservancy para entrenar a los que recolectan la información y la digitalizan en las bases de datos. Por su parte, dos de los miembros del co-manejo; la Fundación Dominicana de Estudios Marinos, y La Fundación Grupo Punta Cana (FGPC) lideran sendos esfuerzos de restauración de hábitats coralinos bajo el apoyo técnico y experimental de The Nature Conservancy. Lo anterior se traduce en un manejo eficiente y sustentable de los bienes y servicios ecosistémicos que proveen los arrecifes de coral a los actores locales al tanto que se logran los objetivos de protección, sin que ello implique que no existan retos y desafíos que atender.

Otro ejemplo es el Parque Nacional Submarino La Caleta, creado en 1986 bajo el Decreto 249 de 1986, y luego ratificado por la Ley Sectorial de Áreas Protegidas y Biodiversidad No. 202 firmada en 2004. Fue declarada área protegida dada la importancia y la relativa buena salud de los arrecifes de coral en esa área y su importancia como destino para el buceo (SCUBA), también es un sitio cultural importante para el pueblo taíno, y actualmente utilizado por los pescadores locales en la comunidad de La Caleta.

Reef Check Dominicana firmó un acuerdo de cogestión con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales en 2017 para la gestión integral del parque, y con el apoyo de muchas instituciones y agencias locales e internacionales, se llevaron a cabo estudios iniciales de verificación de arrecifes y seguimiento continuo, y pescadores y buzos acordaron un plan de zonificación y un Área de No Pesca. Se establecieron boyas (demarca-

ción y amarres), indicando claramente las diferentes zonas y usos, y dando a los usuarios la oportunidad de no usar sus anclas cuando visitan los sitios de arrecifes.

Dado el relativo éxito inicial, el modelo de gestión basado en la comunidad de La Caleta fue utilizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales como un estándar para ser aplicado a otras Áreas Marinas Protegidas en el país.

5. Consideraciones finales y conclusiones

En la República Dominicana el estudio de los arrecifes de coral tiene varias décadas de historia. El conocimiento acumulado ha permitido conocer la distribución espacial y extensión de estos ecosistemas, la estructura de las comunidades coralinas, listado de especies y composición de las faunas coralinas del país. Gran parte de estos estudios se encuentran en repositorios de la Universidad Autónoma de Santo Domingo, y su Centro de Investigaciones de Biodiversidad Marina Idelisa Bonnelly de Calventi (CIBIMA IBC), recopilados por Irazabal (2008) y en la revisión presentada por Gerald (2003). Otras caracterizaciones están disponibles en los reportes de la condición de los arrecifes de República Dominicana, liderados por Reef Check Dominicana y auspiciados por la Fundación Propagas. Estudios sobre la valoración económica de los arrecifes para el país pueden accederse desde el portal de The Nature Conservancy y otras agencias como la GIZ. En el país el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales y el ejecutivo nacional tiene plena conciencia sobre la importancia de los arrecifes para la economía nacional; y en respuesta, ha adelantado varias iniciativas orientadas para la conservación de estos ecosistemas para futuras generaciones. Ejemplo de ello son las vedas nacionales de peces herbívoros, la promulgación de decretos que reconocen a estos ecosistemas como estratégicos a nivel nacional y el incentivo de alianzas público-privadas para el co-manejo de áreas coralinas que requieren protección.

Si bien se conocen los factores locales y globales que pueden estar incidiendo so-

bre la salud de los arrecifes de la República Dominicana, hacen falta más esfuerzos para tipificar los mecanismos que operan a nivel local y global que están determinando las trayectorias de deterioro, estabilidad y/o recuperación. Este no es un reto que se limita a la geografía dominicana, es más bien, una tarea global. Las alianzas entre las autoridades ambientales dominicanas, las instituciones académicas nacionales e internacionales y las ONG 's locales y regionales pueden ser clave para avanzar y llenar los vacíos de información. Estas alianzas están dando sus frutos, el Santuario Marino Arrecifes del Sureste y el Parque Nacional Submarino La Caleta, el plan de acción y respuesta de enfermedades coralinas, los monitoreos nacionales de salud coralina y las oportunidades de entrenamiento, la formación para nuevas generaciones de científicos marinos, la consolidación de la Red Arrecifal Dominicana y del Consorcio Dominicano de Restauración Costera; son solo algunos ejemplos que ilustran que vamos en buena dirección.

Sin duda alguna, el camino es largo. El futuro cercano es uno que estará regido por el cambio climático, por ende, habrá obstáculos que superar, retos y metas que cumplir, cambios de paradigmas en nuestros estilos de vida. No obstante, la capacidad de los arrecifes de coral de sobreponerse a estos períodos adversos queda demostrada después de haber sobrevivido a 5 extinciones masivas. Las sociedades humanas, solo necesitan hacer lo correcto para darles a los arrecifes esta oportunidad. Esperamos que la República Dominicana dé un paso al frente para convertirse en un referente regional en conservación de áreas coralinas saludables y/o la recuperación de arrecifes coralinos deteriorados en el Caribe.

Finalmente, algunas sugerencias para que esto sea posible son:

(1) Se requiere pasar de estudios descriptivos a entendimiento de patrones de declive, estabilidad o recuperación.

(2) Con estos patrones, entender los procesos responsables.

(3) Conociendo los procesos (ej. ame-

nazas locales) desarrollar planes de mitigación y modelos que nos permitan un mejor manejo.

(4) Fortalecer las alianzas entre el sector gubernamental, las ONG 's locales y regionales, y la academia, para sumar esfuerzos en protección, restauración a las escalas apropiadas y monitoreo de las intervenciones orientadas a mejorar la condición de los arrecifes.

(5) La educación y sensibilización de las comunidades locales, operadores turísticos y jóvenes a nivel nacional, debe ser un eje transversal en las acciones dirigidas a conservar los arrecifes coralinos, finalmente son nuestros modos de vida los que dependen de la buena salud de este ecosistema, tan valioso y sensible.

Referencias

- Abelson, A. (2020). Are we sacrificing the future of coral reefs on the altar of the "climate change" narrative? *ICES Journal of Marine Science*, 77(1), 40-45.
- Adam, T. C., Burkepile, D. E., Ruttenberg, B. I., y Paddock, M. J. (2015). Herbivory and the resilience of Caribbean coral reefs: knowledge gaps and implications for management. *Marine Ecology Progress Series*, 520, 1-20.
- Agencia de Cooperación Alemana. (2019). *Identificación de servicios ecosistémicos en las áreas piloto seleccionadas: Punta Cana, Bayahibe y Samaná*. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ)
- Alemu, J. B., y Clement, Y. (2014). Mass Coral Bleaching in 2010 in the Southern Caribbean. *PLOS One*.
- Alvarez-Filip, L., Dulvy, N. K., Gill, J. A., Côté, I. M., y Watkinson, A. R. (2009). Flattening of Caribbean coral reefs: region-wide declines in architectural complexity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1669), 3019-3025.
- Anthony, K. R., Hoogenboom, M. O., y Connolly, S. R. (2005). Adaptive variation in coral geometry and the optimization of internal colony light climates. *Functional Ecology*, 19(1), 17-26.
- Bak, R. P. M. (1987). Effects of chronic oil pollution on a Caribbean coral reef. *Marine Pollution Bulletin*, 18(10), 534-53
- Barnwell, F.H. (1980). *Impacto del Huracán David (1979) sobre los corales de la cresta del arrecife de Boca Chica, Bahía de Andrés, República Dominicana*. CIBIMA, 15: 1-10.
- Bartley, R., Bainbridge, Z. T., Lewis, S. E., Kroon, F. J., Wilkinson, S. N., Brodie, J. E., Y Silburn, D. M. (2014). Relating sediment impacts on coral reefs to watershed sources, processes and management: A review. *Science of the Total Environment*, 468, 1138-1153.
- Bastidas, C., Bone, D., Croquer, A., Debrot, D., Garcia, E., Humanes, A., et al..(2012). Massive hard coral loss after a severe bleaching event in 2010 at Los Roques, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 60, 29-37.
- Bayraktarov, E., Banaszak, A. T., Montoya Maya, P., Kleypas, J., Arias-González, J. E., Blanco, M., y Frías-Torres, S. (2020). Coral reef restoration efforts in Latin American countries and territories. *PLOS One*, 15(8), e0228477.
- Beamish, R. J., McFarlane, G. A., y Benson, A. (2006). Longevity overfishing. *Progress in Oceanography*, 68(2-4), 289-302.
- Beck, M.W., Heck, N., Acosta, M., Schill, S., McNulty, V., y Pflieger, K (2020). *The Value of Reefs for Protecting the Most Vulnerable Populations in the Dominican Republic, Jamaica and Grenada*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Beck, M. W., Brumbaugh, R. D., Airoidi, L., Carranza, A., Coen, L. D., Crawford, C., ... y Guo, X. (2011). Oyster reefs at risk and recommendations for conservation, restoration, and management. *Bioscience*, 61(2), 107-116.

- Begon, M., Harper, J. L., y Townsend, C. R. (1986). *Ecology. Individuals, populations and communities*. Blackwell scientific publications.
- Bellwood, D. R., Hoey, A. S., y Choat, J. H. (2003). Limited functional redundancy in high diversity systems: resilience and ecosystem function on coral reefs. *Ecology letters*, 6(4), 281-285.
- Bellwood, D. R., Hughes, T. P., Folke, C., y Nyström, M. (2004). Confronting the coral reef crisis. *Nature*, 429(6994), 827-833.
- Betancourt L., y Herrera-Moreno A. (2019). *Identificación y valoración de los servicios ecosistémicos de los arrecifes de coral en áreas marinas piloto seleccionadas de República Dominicana*. <https://www.bpmesoamerica.org/wp-content/uploads/2020/11/Identificacion-sistemas-ecosistemicos-web.pdf>
- Biggs, C. R., Yeager, L. A., Bolser, D. G., Bonsell, C., Dichiera, A. M., Hou, Z., et al.(2020). Does functional redundancy affect ecological stability and resilience? A review and meta-analysis. *Ecosphere*, 11(7), e03184.
- Birkeland, C. (1997). *Life and death of coral reefs*. Springer Science & Business Media.
- Bliss, A., Hock, R., y Radić, V. (2014). Global response of glacier runoff to twenty-first century climate change. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 119(4), 717-730.
- Bonelly de Calventi, I. (1974). *Corales Pétreos de la República Dominicana*. Colección Ciencia y Tecnología, Estudios Biología Pesquera, 1-3.
- Boström-Einarsson, L., Babcock, R. C., Bayraktarov, E., Ceccarelli, D., Cook, N., Ferse, S. C., et al. (2020). Coral restoration—A systematic review of current methods, successes, failures and future directions. *PLoS One*. 15:e0226631. doi: 10.1371/journal.pone.0226631
- Brown, B. E. (1997). Coral bleaching: causes and consequences. *Coral reefs*, 16(1), S129-S138.
- Bruno, J. F., Selig, E. R., Casey, K. S., Page, C. A., Willis, B. L., Harvell, C. D., et al.(2007). Thermal stress and coral cover as drivers of coral disease outbreaks. *PLOS Biology*, 5(6), e124.
- Buddemeier, R. W., y Smith, S. V. (1988). Coral reef growth in an era of rapidly rising sea level: predictions and suggestions for long-term research. *Coral reefs*, 7(1), 51-56.
- Burkepile, D. E., y Hay, M. E. (2010). Impact of herbivore identity on algal succession and coral growth on a Caribbean reef. *PLOS One*, 5(1), e8963.
- Calle-Triviño, J., Cortés-Useche, C., Sellares-Blasco, R. I., y Arias-González, J. E. (2018). Assisted fertilization of threatened Staghorn Coral to complement the restoration of nurseries in Southeastern Dominican Republic. *Regional Studies in Marine Science*, 18, 129-134.
- Calle-Triviño, J., Rivera-Madrid, R., León-Pech, M. G., Cortés-Useche, C., Sellares-Blasco, R. I., Aguilar-Espinosa, M., et al.(2020). Assessing and genotyping threatened staghorn coral *Acropora cervicornis* nurseries during restoration in southeast Dominican Republic. *Aquatic Biology PeerJ*, 8, e8863.
- Campbell, J. D., Taylor, M. A., Stephenson, T. S., Watson, R. A., y Whyte, F. S. (2011). Future climate of the Caribbean from a regional climate model. *International Journal of Climatology*, 31(12), 1866-1878.
- Cano, I., Sellares-Blasco, R. I., Lefcheck, J. S., Villalpando, M. F., y Croquer, A. (2021). Effects of herbivory by the urchin *Diadema antillarum* on early restoration success of the coral *Acropora cervicornis* in the central Caribbean. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 539, 151541.
- Carew, J. L., y Mylroie, J. E. (1995). Quaternary tectonic stability of the Bahamian Archipelago: Evidence from fossil coral reefs and flank margin caves. *Quaternary Science Reviews*, 14(2), 145-153.

- Carlson, R. R., Foo, S. A., y Asner, G. P. (2019). Land use impacts on coral reef health: A ridge-to-reef perspective. *Frontiers in Marine Science*, 6, 562.
- Carriger, J. F., Yee, S. H., y Fisher, W. S. (2021). Assessing coral reef condition indicators for local and global stressors using Bayesian networks. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 17(1), 165-187.
- Cervino, J. M., Hayes, R. L., Honovich, M., Goreau, T. J., Jones, S., y Rubec, P. J. (2003). Changes in zooxanthellae density, morphology, and mitotic index in hermatypic corals and anemones exposed to cyanide. *Marine Pollution Bulletin*, 46(5), 573-586.
- Chadwick, N. E., Morrow, K. M. (2011). *Competition among sessile organisms on coral reefs*. In *Coral reefs: an ecosystem in transition* (pp. 347-371). Springer
- Chiappone, M. (2000). Coral Reef Conservation in Marine Protected Areas: *A Case Study of Parque Nacional del Este, Dominican Republic*. The Nature
- Comisión Interinstitucional de Alto Nivel para el Desarrollo Sostenible. (2021). *Informe nacional voluntario 2021 - Crecimiento con equidad y respeto al medioambiente*. <https://mepyd.gob.do/publicaciones/informe-nacional-voluntario-2021-crecimiento-con-equidad-y-respeto-al-medioambiente>
- Consejo Nacional para el Cambio Climático y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (2012). *Plan Estratégico para el Cambio Climático (PECC) 2011-2030*. https://www.preventionweb.net/files/61012_planestrategicopecc20112030.pdf
- Convenio de la Diversidad Biológica.(Resolución No. 25-96, 02 de octubre de 1996, 7-45. <https://ambiente.gob.do/transparencia/download/98/convenios-internacionales/1214/convenio-de-diversidad-biologica-cdb.pdf>
- Consorcio Dominicano de Restauración Costera. (2020). *Manual de Evaluación de Desempeño de Viveros Coralinos*.
- Cortés-Useche, C., Hernández-Delgado, E. A., Calle-Triviño, J., Blasco, R. S., Galván, V., y Arias-González, J. E. (2021). *Conservation actions and ecological context: optimizing coral reef local management in the Dominican Republic*. PeerJ, 9, e10925.
- Crabbe, M. J. C. (2008). Climate change, global warming and coral reefs: Modelling the effects of temperature. *Computational Biology and Chemistry*, 32(5), 311-314.
- Cressey, D. (2016). Coral crisis: Great Barrier Reef bleaching is “the worst we’ve ever seen”. <https://www.nature.com/articles/nature.2016.19747>
- Cróquer, A., y Weil, E. (2009). Changes in Caribbean coral disease prevalence after the 2005 bleaching event. *Diseases of aquatic organisms*, 87(1-2), 33-43.
- Downs, C. A., Fauth, J. E., Halas, J. C., Dustan, P., Bemiss, J., y Woodley, C. M. (2002). Oxidative stress and seasonal coral bleaching. *Free Radical Biology and Medicine*, 33(4), 533-543.
- Dubinsky, Z., y Stambler, N. (Eds.). (2010). *Coral reefs: an ecosystem in transition*. Springer Science & Business Media.
- Eakin, C. M., Morgan, J. A., Heron, S. F., Smith, T. B., Liu, G., Alvarez-Filip, L. & Yusuf, Y. (2010). Caribbean corals in crisis: record thermal stress, bleaching, and mortality in 2005. *PLOS One*, 5(11), e13969.
- Eastwood, E. K., Clary, D. G., y Melnick, D. J. (2017). Coral reef health and management on the verge of a tourism boom: a case study from miches, dominican republic. *Ocean & Coastal Management*, 138, 192-204.
- Eley, E. N., Subrahmanyam, B., y Trott, C. B. (2021). Ocean–Atmosphere Interactions during Hurricanes Marco and Laura (2020). *Remote Sensing*, 13(10), 1932.
- Ellison, A. M., Buckley, H. L., Case, B. S., Cardenas, D., Duque, Á. J., Lutz, J. A., y Zimmerman, J. K. (2019). Species diversity associated with foundation species in temperate and tropical forests. *Forests*, 10(2), 128.

- Erfemeijer, P. L., Riegl, B., Hoeksema, B. W., y Todd, P. A. (2012). Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: a review. *Marine pollution bulletin*, 64(9), 1737-1765.
- Fabian, R., Beck, M., & Potts, D. (2013). *Reef restoration for coastal defense: a review*, 59 p. University of California.
- Feliz N., De Oleo D. (2017). *Propuesta de proyecto piloto de siembra de coral Acropora palmata y Acropora cervicornis, en el litoral adyacente al Acuario Nacional, Municipio de Santo Domingo Este*.
- Fundación Grupo Puntacana. (2017). Plan de manejo orientativo del Santuario Marino Arrecifes del Sureste (2018-2020). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Fundación Plenitud. (2016). *Plan Nacional de Adaptación para el cambio climático en la República Dominicana 2015-2030 (PNACC RD)*.
- Fundación Propagas. (2021). Fundación Propagas lanza especialidad en educación ambiental. <https://www.fundpropagas.com/el-maestro-que-educa-en-la-naturaleza/>
- Gardner, T. A., Côté, I. M., Gill, J. A., Grant, A., y Watkinson, A. R. (2005). Hurricanes and Caribbean coral reefs: impacts, recovery patterns, and role in long-term decline. *Ecology*, 86(1), 174-184.
- Geraldes, F. X. (1994). *Iniciativa para la Conservación de los Arrecifes Coralinos del Caribe: República Dominicana. CIBIMA*.
- Geraldes, F. X., y Vega, M. B. (1995). *Evaluación ecológica, pesquera y socioeconómica del Parque Nacional Submarino La Caleta*. MAMMA Inc.
- Geraldes, F. X. (2003). *The coral reefs of the Dominican Republic. In Latin American coral reefs* (pp. 77-110). Elsevier Science.
- Geraldes, F.X. (1982). *Los efectos del Huracán David y la Tormenta Federico en el arrecife de coral de Boca Chica. CIBIMA* 27: 1-8.
- González Núñez, C. (1974). Operación MadrePerla (1960). *Boletín de la Sociedad Dominicana de Geología* 4, 13-31.
- Glaydos, D. (2006) *Modeling the Advantages and Disadvantages of the Coral-Algal Symbiosis. Graduate Theses and Dissertations*. <http://scholarcommons.usf.edu/etd/3905>.
- Glynn, P. W., Y Manzello, D. P. (2015). *Bioerosion and coral reef growth: a dynamic balance. In Coral reefs in the Anthropocene* (pp. 67-97). Springer.
- Goreau, T. F. (1959). The ecology of Jamaican coral reefs I. Species composition and zonation. *Ecology*, 40(1), 67-90.
- Goreau, T. J., y Hayes, R. L. (2021). Global warming triggers coral reef bleaching tipping point. *Ambio*, 50(6), 1137-1140.
- Graham, N. A., Bellwood, D. R., Cinner, J. E., Hughes, T. P., Norström, A. V., y Nystrom, M. (2013). Managing resilience to reverse phase shifts in coral reefs. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(10), 541-548.
- Hagedorn, M., Carter, V. L., Lager, C., Ciani, J. F. C., Dygert, A. N., Schleiger, R. D., y Henley, E. M. (2016). Potential bleaching effects on coral reproduction. *Reproduction, Fertility and Development*, 28(8), 1061-1071.
- Halcrow, W. (1976). *Environmental study of the Boca Chica reef for the development of a tourist center for the southern coast of the Dominican Republic*. Banco Central de la República Dominicana.
- Hardt, M. J. (2009). Lessons from the past: the collapse of Jamaican coral reefs. *Fish and fisheries*, 10(2), 143-158.
- Harvell, D., Jordán-Dahlgren, E., Merkel, S., Rosenberg, E., Raymundo, L., Smith, G., et al.(2007). Coral disease, environmental drivers, and the balance between coral and microbial associates. *Oceanography*, 20, 172-195.
- Hay, M. E. (1997). The ecology and evolution of seaweed-herbivore interactions on coral reefs. *Coral reefs*, 16(1), S67-S76.
- He, Q., y Silliman, B. R. (2019). Climate change, human impacts, and coastal

- ecosystems in the Anthropocene. *Current Biology*, 29(19), R1021-R1035.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., et al (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318(5857), 1737-1742.
- Hoegh-Guldberg, O., Poloczanska, E. S., Skirving, W., y Dove, S. (2017). Coral reef ecosystems under climate change and ocean acidification. *Frontiers in Marine Science*, 4, 158.
- Hoekstra, J. M., Boucher, T. M., Ricketts, T. H., y Roberts, C. (2005). Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecology letters*, 8(1), 23-29.
- Hughes, T. P. (1994). Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science*, 265(5178), 1547-1551.
- Hughes, T. P., Barnes, M. L., Bellwood, D. R., Cinner, J. E., Cumming, G. S., Jackson, J. B., y Scheffer, M. (2017). Coral reefs in the Anthropocene. *Nature*, 546(7656), 82-90.
- Idjadi, J. A., y Edmunds, P. J. (2006). Scleractinian corals as facilitators for other invertebrates on a Caribbean reef. *Marine Ecology Progress Series*, 319, 117-127.
- Irazábal, I. (2018). *Identificación de patrones de cambio en los arrecifes de coral en La Caleta, Bayahibe y Punta Cana, en la República Dominicana, entre 1995-2017*, 84 pp. Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra.,
- Izzo, M., Aucelli, P. P. C., Javier, Y., Pérez, C., y Roskopf, C. M. (2010). The tropical storm Noel and its effects on the territory of the Dominican Republic. *Natural hazards*, 53(1), 139-158.
- Jackson, J. B., y Alexander, K. E. (2011). *Introduction: the importance of shifting baselines. In Shifting Baselines* (pp. 1-7). Island Press.
- Jackson JBC, Donovan MK, Cramer KL, Lam VV (editors) (2014). Status and Trends of Caribbean Coral Reefs: 1970-2012. Global Coral Reef Monitoring Network, IUCN, Gland, Suiza.
- Jompa, J., y McCook, L. J. (2003). Coral-algal competition: macroalgae with different properties have different effects on corals. *Marine Ecology Progress Series*, 258, 87-95.
- Jones, R., Ricardo, G. F., y Negri, A. P. (2015). *Effects of sediments on the reproductive cycle of corals. Marine Pollution Bulletin*, 100(1), 13-33.
- Karlsson, M., y Mclean, E. L. (2020). Caribbean Small-Scale Fishers' Strategies for Extreme Weather Events: Lessons for Adaptive Capacity from the Dominican Republic and Belize. *Coastal Management*, 48(5), 456-480.
- Kennedy, E. V., Perry, C. T., Halloran, P. R., Iglesias-Prieto, R., Schönberg, C. H., Wisshak, M., y Mumby, P. J. (2013). Avoiding coral reef functional collapse requires local and global action. *Current Biology*, 23(10), 912-918.
- Kleypas, J. A., Feely, R. A., Fabry, V. J., Langdon, C., Sabine, C. L., y Robbins, L. L. (2005). Impacts of ocean acidification on coral reefs and other marine calcifiers: a guide for future research. *In Report of a workshop held* (Vol. 18, No. 2005, p. 20).
- Knowlton, N., y Jackson, J. B. C. (2008). Shifting baselines, local impacts, and global change on coral reefs. *PLOS Biology*, 6(2), e54.
- LaJeunesse, T. C., Pettay, D. T., Sampayo, E. M., Phongsuwan, N., Brown, B., Obura, D. O., y Fitt, W. K. (2010). Long-standing environmental conditions, geographic isolation and host-symbiont specificity influence the relative ecological dominance and genetic diversification of coral endosymbionts in the genus *Symbiodinium*. *Journal of Biogeography*, 37(5), 785-800.
- Ledlie, M. H., Graham, N. A. J., Bythell, J. C., Wilson, S. K., Jennings, S., Polunin, N. V., et al (2007). Phase shifts and the role of herbivory in the resilience of coral reefs. *Coral Reefs*, 26(3), 641-653.

- Lessios HA (1988) Mass mortality of *Dia-
dema antillarum* in the Caribbean: what
have we learned? *Annu Rev Ecol Syst*
19:371–393
- Ley de Educación y Comunicación Am-
biental, No.94-20, (31 de julio de 2020).
[http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/
dom200839.pdf](http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/
dom200839.pdf)
- Lough, J. M., y Van Oppen, M. J. H. (2009).
*Introduction: coral bleaching—patterns,
processes, causes and consequences. In
coral bleaching* (pp. 1-5). Springer
- Lough, J. M., Anderson, K. D., y Hughes, T.
P. (2018). Increasing thermal stress for
tropical coral reefs: 1871–2017. *Scientific
Reports*, 8(1), 1-8.
- Lugo, A. E. (2000). Effects and outcomes of
Caribbean hurricanes in a climate change
scenario. *Science of the Total Environ-
ment*, 262(3), 243-251.
- Lyndby, N. H., Köhl, M., y Wangpraseurt, D.
(2016). Heat generation and light scatter-
ing of green fluorescent protein-like pig-
ments in coral tissue. *Scientific Reports*,
6(1), 1-14.
- Masson, V., Vimeux, F., Jouzel, J., Morgan,
V., Delmotte, M., Ciais, P., y Vaikmae,
R. (2000). Holocene climate variability
in Antarctica based on 11 ice-core isoto-
pic records. *Quaternary Research*, 54(3),
348-358.
- Mateo, J., F. Gerales, Y. Rodríguez y E.
Pugibet (2002). Actividad pesquera en
las comunidades de Mano Juan, Catuano
y Bayabibe, Parque Nacional del Este,
República Dominicana: Recomendacio-
nes para su manejo compartido. 53
Gulf and Caribbean Fisheries Institute,
11 pp.
- Maynard, J., Van Hooidek, R., Eakin, C. M.,
Puotinen, M., Garren, M., Williams, G.,
... y Harvell, C. D. (). Projections of cli-
mate conditions that increase coral disea-
se susceptibility and pathogen abundance
and virulence. *Nature Climate Change*,
5(7), 688-694.
- McCook, L., Jompa, J., y Diaz-Pulido, G.
(2001). Competition between corals and
algae on coral reefs: a review of evidence
and mechanisms. *Coral reefs*, 19(4), 400-
417.
- Miller, J., Muller, E., Rogers, C., Waara,
R., Atkinson, A., Whelan, K. R. T., et
al.(2009). Coral disease following massi-
ve bleaching in 2005 causes 60% decline
in coral cover on reefs in the US Virgin
Islands. *Coral Reefs*, 28(4), 925.
- Miller, M. W., Hay, M. E., Miller, S. L., Ma-
lone, D., Sotka, E. E., y Szmant, A. M.
(1999). Effects of nutrients versus her-
bivores on reef algae: a new method for
manipulating nutrients on coral reefs.
Limnology and Oceanography, 44(8),
1847-1861.
- Ministerio de Economía, Planificación y
Desarrollo. (2012). *Ley Orgánica de la
Estrategia Nacional de Desarrollo 2030
(Ley 1.12)*. [https://www.intec.edu.do/
downloads/documents/institucionales/
marco-legal/Ley_](https://www.intec.edu.do/
downloads/documents/institucionales/
marco-legal/Ley_)
- Ministerio de Economía, Planificación y De-
sarrollo. (2021). *Plan Nacional Plurianual
del Sector Público (PNPSP) 2021-2024*.
[https://mepyd.gob.do/publicaciones/
plan-nacional-plurianual-del-sector-pu-
blico-2021-2024](https://mepyd.gob.do/publicaciones/
plan-nacional-plurianual-del-sector-pu-
blico-2021-2024)
- Moberg, F., y Folke, C. (1999). Ecological
goods and services of coral reef ecosys-
tems. *Ecological economics*, 29(2), 215-
233.
- Moffitt, E. A., White, J. W., y Botsford, L. W.
(2011). The utility and limitations of size
and spacing guidelines for designing ma-
rine protected area (MPA) networks. *Bio-
logical Conservation*, 144(1), 306-318.
- Mumby, P. J., y Steneck, R. S. (2008). Co-
ral reef management and conservation in
light of rapidly evolving ecological pa-
radigms. *Trends in ecology & evolution*,
23(10), 555-563.
- Nehm, R. H., & Budd, A. F. (Eds.). (2008).
*Evolutionary stasis and change in the
Dominican Republic Neogene* (Vol. 30).
Springer Science & Business Media.
- Newman, S. P., Meesters, E. H., Dryden, C.
S., Williams, S. M., Sanchez, C., Mumby,
P. J., y Polunin, N. V. (2015). Reef flatten-
ing effects on total richness and species

- responses in the Caribbean. *Journal of Animal Ecology*, 84(6), 1678-1689.
- Nyström, M. (2006). Redundancy and response diversity of functional groups: implications for the resilience of coral reefs. *Ambio*, 30-35.
- Pandolfi, J. M., y Jackson, J. B. (2006). Ecological persistence interrupted in Caribbean coral reefs. *Ecology Letters*, 9(7), 818-826.
- Pendleton, L. H., Ahmadi, G. N., Browman, H. I., Thurstan, R. H., Kaplan, D. M., y Bartolino, V. (2018). Debating the effectiveness of marine protected areas. *ICES Journal of Marine Science*, 75(3), 1156-1159.
- Philipp, E., y Fabricius, K. (2003). Photophysiological stress in scleractinian corals in response to short-term sedimentation. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 287(1), 57-78
- Pichler, A., y Striessnig, E. (2013). Differential vulnerability to hurricanes in Cuba, Haiti, and the Dominican Republic: the contribution of education. *Ecology and Society*, 18(3).
- Putnam, H. M., Barott, K. L., Ainsworth, T. D., y Gates, R. D. (2017). The vulnerability and resilience of reef-building corals. *Current Biology*, 27(11), R528-R540.
- Randall, C. J., y van Woesik, R. (2015). Contemporary white-band disease in Caribbean corals driven by climate change. *Nature Climate Change*, 5(4), 375-379.
- Reaka-Kudla, M. L. (1997). The global biodiversity of coral reefs: a comparison with rain forests. *Biodiversity II: Understanding and protecting our biological resources*, 2, 551.
- Red Arrecifal Dominicana. (2019). Reporte anual 2019. <https://www.redarrecifaldominicana.org/>
- Roberts, C. (1995). *Effects of Fishing on the Ecosystem Structure of Coral Reefs. Conservation Biology - CONSERV BIOL.* 9. 988-995. 10.1046/j.1523-1739.1995.9050988.x.
- Rodríguez, S., Cróquer, A., Bone, D., y Bastidas, C. (2010). Severity of the 1998 and 2005 bleaching events in Venezuela, southern Caribbean. *Revista de Biología Tropical*, 58, 189-196.
- Rogers, C. S. (1993). Hurricanes and coral reefs: the intermediate disturbance hypothesis revisited. *Coral Reefs*, 12(3-4), 127-137.
- Roth, M. S. (2014). The engine of the reef: photobiology of the coral-algal symbiosis. *Frontiers in microbiology*, 5, 422.
- Sattler, D. N., Preston, A. J., Kaiser, C. F., Olivera, V. E., Valdez, J., y Schlueter, S. (2002). Hurricane Georges: A cross-national study examining preparedness, resource loss, and psychological distress in the US Virgin Islands, Puerto Rico, Dominican Republic, and the United States. *Journal of Traumatic Stress*, 15(5), 339-350.
- Scoffin, T. P. (1993). The geological effects of hurricanes on coral reefs and the interpretation of storm deposits. *Coral Reefs*, 12(3), 203-221.
- Schill, S., Asner, G., McNulty, V., Pollock, F., Croquer, A., Vaughn, N., et al.(2021). Site Selection for Coral Reef Restoration Using Airborne Imaging Spectroscopy. *Frontiers in Marine Science*, 8.
- Sellares-Blasco, R. I., Villalpando, M. F., Guendulain-García, S. D., y Croquer, A. (2021). Assisted coral reproduction in the Dominican Republic: a successful story to replicate in the Caribbean. *Frontiers in Marine Science*, 8, 927.
- Shantz, A. A., Ladd, M. C., y Burkepile, D. E. (2020). Overfishing and the ecological impacts of extirpating large parrotfish from Caribbean coral reefs. *Ecological Monographs*, 90(2), e01403.
- Sherman, R. E., Fahey, T. J., y Martinez, P. (2001). Hurricane Impacts on a Mangrove Forest in the Dominican Republic: Damage Patterns and Early Recovery 1. *Biotropica*, 33(3), 393-408.
- Solandt, J. L., Jones, P., Duval-Diop, D., Kleiven, A. R., y Frangoudes, K. (2014). Governance challenges in scaling up from individual MPAs to MPA networks. *Aquatic Conservation: Marine and Fresh-*

- hwater Ecosystems*, 24(S2), 145-152.
- Solomon, S., Plattner, G. K., Knutti, R., y Friedlingstein, P. (2009). Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(6), 1704-1709.
- Souter, D. W., y Linden, O. (2000). The health and future of coral reef systems. *Ocean & Coastal Management*, 43(8-9), 657-688.
- Spalding, M., Longley-Wood, K., Acosta-Morel, M., Cole, A.D., Wood, S.A., Haberland, C., y Ferdaña, Z. (2018). *Estimating Reef-Adjacent Tourism Value in the Caribbean*. de https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/Reef_Adjacent_Tourism_Value_Caribbean_Study.pdf
- Spalding, D., Meliane, M., Bennett, J.J., Dearden, N P., Patil, P.G., y Brumbaugh, R. (2016). Building towards the marine conservation end-game: consolidating the role of MPAs in a future ocean. *Aquatic Conservation: Marine and freshwater ecosystems*, 26, 185-199.
- Stanley Jr, G. D. (2003). The evolution of modern corals and their early history. *Earth-Science Reviews*, 60(3-4), 195-225
- Stanley, G., & van de Schootbrugge, B. (2018). The evolution of the coral-algal symbiosis and coral bleaching in the geologic past. In *Coral Bleaching* (pp. 9-26). Springer, Cham.
- Steneck R. y Torres R., (2019). Estado y Tendencias de los Arrecifes Coralinos en la República Dominicana 2015-2019.
- Steneck R. y Torres R., (2018). Estado y Tendencias de los Arrecifes Coralinos en la República Dominicana 2017-2018.
- Steneck R. y Torres R., (2015). Estado y Tendencias de los Arrecifes Coralinos en la República Dominicana 2017-2018.
- Storzlazzi, C. D., Gingerich, S. B., van Dongeren, A., Cheriton, O. M., Swarzenski, P. W., Quataert, E., y McCall, R. (2018). Most atolls will be uninhabitable by the mid-21st century because of sea-level rise exacerbating wave-driven flooding. *Science Advances*, 4(4), eaap9741.
- Suchley A, McField MD, y Alvarez-Filip L. (2016). *Rapidly increasing macroalgal cover not related to herbivorous fishes on Mesoamerican reefs*. PeerJ 4:e2084 <https://doi.org/10.7717/peerj.2084>
- Sweet, M. J., y Bulling, M. T. (2017). On the importance of the microbiome and pathobiome in coral health and disease. *Frontiers in Marine Science*, 4, 9.
- Taylor, M. A., Stephenson, T. S., Chen, A. A., y Stephenson, K. A. (2012). Climate change and the Caribbean: Review and response. *Caribbean studies*, 169-200.
- Titlyanov, E. A., y Titlyanova, T. V. (2002). Reef-building corals—symbiotic autotrophic organisms: 2. Pathways and mechanisms of adaptation to light. *Russian Journal of Marine Biology*, 28(1), S16-S31.
- The Nature Conservancy, Red Arrecifal Dominicana. (2020). Plan de monitoreo para manejo y conservación de peces loros (Scaridae).
- Torres, R., Chiappone, M., Gerales, F., Rodriguez, Y., y Vega, M. (2001). Sedimentation as an important environmental influence on Dominican Republic reefs. *Bulletin of Marine Science*, 69(2), 805-818.
- Unsworth, R. K., De León, P. S., Garrard, S. L., Jompa, J., Smith, D. J., y Bell, J. J. (2008). High connectivity of Indo-Pacific seagrass fish assemblages with mangrove and coral reef habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 353, 213-224.
- Van Dam, J. W., Negri, A. P., Uthicke, S., y Mueller, J. F. (2011). *Chemical pollution on coral reefs: exposure and ecological effects* (Vol. 9, pp. 187-211). Bentham Science Publishers Ltd.
- Weber, M., De Beer, D., Lott, C., Polerecky, L., Kohls, K., Abed, R. M., ... y Fabricius, K. E. (2012). Mechanisms of damage to corals exposed to sedimentation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(24), E1558-E1567.
- Wells, S., Ray, G. C., Gjerde, K. M., White, A. T., Muthiga, N., Bezaury Creel, J. E., ... y Reti, J. (2016). Building the future of MPAs—lessons from history. *Aquatic*

Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 26, 101-125

Wielgus, J., E. Cooper, R. Torres y L. Burke. 2010. *Capital Costero: República Dominicana. Estudios de caso sobre el valor económico de los ecosistemas costeros en la República Dominicana*. Documento de Trabajo. Washington, DC: World Resources Institute. <http://www.wri.org/coastal-capital>.

Wilkinson, C. R. (1996). Global change and coral reefs: impacts on reefs, economies

and human cultures. *Global Change Biology*, 2(6), 547-558.

Wilkinson, C. (2008). *Status of coral reefs of the world: 2008. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville*.

Wilkinson, C., y Souter, D. (2008). Status of Caribbean Coral Reefs After Bleaching and Hurricanes in 2005. Global Coral Reef Monitoring Network.

Wood, R. (1999). *Reef evolution*. Oxford University Press on Demand.



Aldo Croquer

Gerente del Programa de Corales de The Nature Conservancy para República Dominicana. Profesor Universidad Simón Bolívar acroquer@usb.ve. Es Doctor en Biología de Organismos egresado de la Universidad Simón Bolívar. Durante los últimos 20 años se ha dedicado a estudiar los arrecifes de coral en la región del Caribe. Actualmente posee 72 artículos publicados en revistas especializadas.



Someira Zambrano

Coordinadora de la Red Arrecifal Dominicana. Es Licenciada en Geografía egresada de la Universidad Central de Venezuela. En los últimos 8 años ha trabajado en la coordinación de proyectos relacionados con el manejo legal y técnico del medio ambiente, en particular de áreas protegidas costeras y marinas.



Iker Irazabal

Asistente de Proyectos en Reef Check República Dominicana. Es Magíster en Biología Marina de la Universidad de la Coruña. En los últimos cinco años ha participado en un centenar de monitoreos de salud arrecifal a lo largo de la isla de la Hispaniola.



Rubén Torres

Fundador y Presidente de Reef Check República Dominicana y de Torres Environmental Consulting (TEC UNLIMITED). Es Doctor en Biología Marina de la Universidad de Miami. Coordinador regional de Reef Check International, co-manejante del Parque Nacional Submarino La Caleta, miembro de la Comisión de Peces León de la Iniciativa Internacional de Arrecifes de Coral (ICRI) y la Red Global de Monitoreo de Arrecifes de Coral (GCRMN). Mentor de la Red Caribeña de Manejadores de Áreas Marinas Protegidas (CaMPAM).