

IMPACTOS DE LOS DERRAMES DE PETRÓLEO SOBRE LOS ARRECIFES CORALINOS Y SUS BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

IMPACTS OF THE OIL SPILLS OVER THE CORAL REEFS AND THEIR ECOSYSTEM'S GOODS AND SERVICES

*Estrella Villamizar**

RESUMEN

Los arrecifes coralinos son considerados “hotspots” de diversidad biológica. Además, son sistemas complejos de gran productividad acuática, lo que se traduce eventualmente en bienes y servicios para los pobladores de las áreas donde estos se encuentran. A pesar de su importancia, varios son los factores que amenazan su salud y sobrevivencia, al afectar la condición de las masas de agua donde viven. El cambio climático ha sido reconocido como uno de los principales causantes del declive de los arrecifes en el mundo. Los derrames de petróleo constituyen otra amenaza; sin embargo, las consecuencias sobre los sistemas arrecifales no son fáciles de estimar, en parte debido a su complejidad estructural y funcional. El incremento en la frecuencia de fugas y derrames de hidrocarburos en las refinerías del país representan un factor de alto riesgo para la conservación de los arrecifes coralinos y otros humedales marino-costeros de Venezuela.

ABSTRACT

Coral reefs are considered hotspots of biological diversity. Additionally, they are complex systems of great aquatic productivity, that eventually result in goods and services to the human communities near them. Despite their importance, several factors threaten their health and survival by affecting the condition of the water masses where they live. Climate change has been recognized as the main driver of reef decline in the world. Oil spills constitute another critical threat, and their impact on the reef systems is not easy to estimate due to the latter's structural and functional complexity. The increasing number of oil spills in the country's refineries represents a high-risk factor to the conservation of coral reefs and other marine-coastal ecosystems of Venezuela.

Palabras clave: Arrecifes, bienes y servicios, derrames de hidrocarburos, Venezuela.

Keywords: Coral reefs, goods and services, oil spills, Venezuela.

1. Introducción

Los corales son invertebrados marinos que secretan un esqueleto externo duro con apariencia de roca, del cual proviene la denominación de corales pétreos. Las unidades básicas del coral son los pólipos coralinos. Estos asemejan sacos gelatinosos, de forma cilíndrica, cuyo extremo apical está rodeado por una corona de tentáculos dispuestos alrededor de una cavidad central donde se alojan las gónadas y los filamentos mesenteriales que junto con los tentáculos ayudan a la captura y digestión de las presas. Por lo general, los corales son organismos coloniales donde cientos o miles de pólipos están conectados física y fisiológicamente. Por su parte, se entiende por arrecife coralino a la trama física de

CaCO₃ relativamente continua que conforman los corales, la cual puede encontrarse desde menos de 1 m hasta 30 o más de profundidad dependiendo de la transparencia de la masa de agua. La luz es un requisito indispensable para los corales formadores de arrecifes, ya que en sus tejidos viven microalgas (zooxantelas) con las cuales tienen una estrecha relación de beneficio mutuo (simbiosis).

De esta asociación pólipos-microalgas depende aproximadamente el 90 % de la nutrición del coral [1] y la salud y conservación de los arrecifes coralinos. Lamentablemente, muchas son las amenazas a las que están sometidos estos ecosistemas, ya sea en forma directa afectando los corales y sus organismos asociados o indirectamente perjudicando la

* Laboratorio de Ecología de Sistemas Acuáticos, Centro de Ecología y Evolución, Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. e-mail estrella.villamizar@ciens.ucv.ve

buena condición del ambiente acuático donde se encuentran. Los derrames de hidrocarburos son uno de los factores de impacto con más efectos directos severos y/o crónicos sobre la fauna coralina. Al ocurrir un derrame, la acción principal que debe realizarse es la recolección inmediata o a muy corto plazo (de 1 a 3 días) del hidrocarburo, ya que con ello se evita su deriva hacia zonas ecológicamente sensibles como arrecifes coralinos y manglares. La recolección también previene los procesos de meteorización del crudo derramado con lo cual se evita la formación de compuestos más difíciles de manejar y que pueden resultar más dañinos a la vida marina.

2. Importancia de los arrecifes coralinos

Los arrecifes han sido considerados los ecosistemas más diversos, productivos y complejos del medio marino [2]. En éstos habitan miles de especies de invertebrados, peces y macroalgas, además son visitados frecuentemente por tortugas y en ocasiones, hasta por mamíferos marinos. Por tal motivo han sido categorizados como *hotspots* de diversidad biológica. Esta riqueza de especies es posible en gran parte debido a la elevada complejidad estructural y variedad de hábitats que presenta este ecosistema.

Los arrecifes son el medio ambiente de varias especies bajo amenaza de extinción*, como los meros *Epinephelus striatus* y *E. itajara*, los pargos *Lutjanus cyanopterus* y *Rhomboplites aurorubens*, otras especies de peces como *Coryhopterus tortugae*, *Lachonolaimus maximus*, los corales cuerno de alce, *Acropora palmata*, cacho de venao, *A. cervicornis*, *Orbicella annularis* y los montañoso estrella *O. faveolata* y *O. franksi* [3].

Por otra parte, los arrecifes poseen una muy elevada productividad primaria (por plancton, macro y microalgas) y secundaria (herbívoros, carnívoros y descomponedores), contribuyendo de forma importante con la condición de zona de alta producción pesquera. Los arrecifes también constituyen sistemas de vital importancia para los procesos de intercambio de materia y energía entre hábitats adyacentes como manglares, pastos marinos y aguas neríticas. Esta conectividad entre ecosistemas es una condición que demanda la buena salud y el funcionamiento de cada uno de ellos, ya que de esto depende la conservación de todos.

Los arrecifes son también fuente de una gran variedad de alimentos, como peces, moluscos, crustáceos, algunos de ellos de gran interés comercial. Funcionan como barreras de protección costera contra los efectos erosivos de los vientos, tormentas, corrientes y mareas, además de contribuir significativamente en la formación de las playas arenosas. La actividad turística y recreativa que se desarrolla en los

arrecifes genera un gran beneficio económico, especialmente a las comunidades locales de las áreas donde se encuentran. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), aproximadamente 500 millones de personas en todo el mundo dependen de los arrecifes de coral para obtener alimentos, protección costera e ingresos económicos a partir del turismo y la pesca [4]. Finalmente, pero no menos importante, se resalta valor medicinal de estos ecosistemas. Muchos organismos arrecifales poseen propiedades farmacológicas, utilizadas en tratamientos contra el cáncer, la artritis, el Alzheimer, infecciones bacterianas, virus y enfermedades cardíacas. De acuerdo con la EPA, todos los servicios que proveen los arrecifes coralinos del mundo representan un beneficio neto anual de 29,8 millardos de dólares.

3. Amenazas a la salud y sobrevivencia de los corales

A pesar de su fuerte apariencia (rocosa) los corales son animales muy sensibles. De acuerdo con la última información publicada en la lista roja de especies coralinas amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) [3], de un total global de 839 especies, existen 7 en peligro crítico de extinción (CR), 24 en peligro (EN) y 199 en la categoría vulnerable (VN). El cambio climático es uno de los factores que ha producido el declive de los arrecifes coralinos en las últimas tres décadas, debido principalmente al calentamiento de las masas de agua por encima de los umbrales de tolerancia térmica de muchas especies, afectando su relación simbiótica con las zooxantelas y en consecuencia afectando su salud. El embate de un cambio climático rápido someterá a 1/3 de las especies de corales del mundo a un riesgo de extinción elevado y se predice que pueda causar un blanqueamiento severo en el 90 % de los sistemas arrecifales en el mundo para el año 2055 [5].

En general, todo factor que disminuya la calidad del agua donde habitan los puede afectar. Ejemplos de estos factores son: aguas turbias, con sedimentos o materia orgánica en suspensión; temperaturas extremas (altas o bajas); irradiancia extrema (muy baja o alta); exceso de nutrientes, lo cual estimula el crecimiento de macroalgas que compiten por el sustrato; disminución de la salinidad; y acidificación del agua, lo cual afecta el crecimiento de los corales. Otros factores son las mareas bajas extremas que causan desecación al quedar emergidos y el daño físico producto de la fragmentación de las colonias. Un impacto de importancia que afecta a los arrecifes es la contaminación por hidrocarburos y sus derivados, la cual trataremos con mayor detalle a continuación.

* Según la clasificación de la UICN, hay tres categorías de extinción global: a) en peligro crítico, b) en peligro y c) vulnerable.

4. Contaminación por derrames de hidrocarburos

Las consecuencias sobre los ecosistemas costeros, su flora y fauna, no sólo ocurren de manera inmediata debido al efecto dañino que causa el contacto directo entre el hidrocarburo y los mismos. También hay efectos a mediano y largo plazo, puesto que el hidrocarburo va sufriendo cambios en su composición, liberando al ambiente elementos químicos y metales pesados de alta toxicidad. La flora y fauna los pueden adquirir, ya sea por contacto o por ingesta y de esta forma se van incorporando a numerosos organismos en los distintos niveles de la trama trófica, lo que lleva a una magnificación en la bioacumulación de éstos, siendo el hombre, en el tope de la red trófica, una de las posibles víctimas de esta contaminación. Otro aspecto para tomar en cuenta es la posible exposición crónica de los corales al hidrocarburo debido a la acumulación residual del mismo en comunidades costeras adyacentes, tales como bosques de manglares, los cuales pueden ser una fuente continua del contaminante por un largo tiempo, incluso a través de la exportación de sedimentos con hidrocarburos a los arrecifes y otros hábitats vecinos.

Las consecuencias de los derrames de hidrocarburos pueden ser evidenciados a distintos niveles: individual (organismo), poblacional o en el ecosistema y en distintas escalas de tiempo corto (primer año), mediano (2-9 años) y largo plazo (10 o más años).

4.1 A nivel individual y corto plazo

A esta escala los daños se producen generalmente por efectos mecánicos directos. Estos pueden ser agudos y letales. Esta situación ocurre cuando el hidrocarburo llega a depositarse sobre las superficies de los corales y otros organismos sin movilidad (sésiles), lo cual dificulta sus funciones vitales de alimentación, respiración, excreción e intercambio de agua cuerpo-medio, causando su muerte a corto plazo. Otro tipo de efecto indirecto ocurre cuando el hidrocarburo permanece en las capas superficiales del agua, dificultando el paso de luz a la columna de agua alterando así el proceso fotosintético de las zooxantelas en los corales y en otros invertebrados.

4.2 A nivel individual a mediano y largo plazo

A estas escalas la afectación se debe a los efectos tóxicos que produce la exposición crónica a fracciones del crudo solubles en agua. El grado de impacto dependerá del tipo de hidrocarburo y del tiempo de permanencia en agua. Los impactos crónicos incluyen alteraciones histológicas, bioquímicas, conductuales, en el desarrollo y reproductivas. El hidrocarburo se acumula rápidamente en los tejidos del coral y se depura lentamente, lo que está relacionado al contenido lipídico en los tejidos. En

algunas investigaciones se ha encontrado que los hidrocarburos son depositados en el esqueleto calcáreo de aragonita [6]. En cuanto a la afectación del sistema reproductivo de los corales el depósito de crudo puede disminuir la fecundación por un factor de 4 con la reducción del número de colonias reproductoras, una menor producción de ovarios y de larvas por pólipo, el aborto de larvas plánulas y de huevos y perjudicar el proceso de colonización de las larvas y posterior reclutamiento sobre el fondo (hasta un 96 %). En casos graves puede incluso disminuir el tiempo de sobrevivencia [7, 8, 9]. En esponjas se ha determinado que afecta la metamorfosis larval y el reclutamiento [10].

4.3 A nivel poblacional y de ecosistema

Una contaminación severa por hidrocarburos puede disminuir las poblaciones de las especies coralinas y de otros componentes bióticos del ecosistema. En casos menos críticos puede afectar la salud de todo el ecosistema lo que eventualmente tendrá repercusión en el éxito reproductivo individual de los organismos afectados y en sus poblaciones. La muerte de las colonias puede ocurrir a corto, mediano o largo plazo, causando en todos los casos, una merma de la abundancia poblacional y en la cobertura (depósito de corales). En casos muy severos, puede ocasionar la pérdida local de especies muy sensibles. Todo esto cambia no sólo la estructura de las poblaciones del coral sino también de las comunidades alojadas o dependientes de él causando una disminución de la diversidad biológica.

Un buen ejemplo de las consecuencias de los derrames sobre áreas arrecifales es el de Bahía Las Minas en Panamá en 1986, donde se vertieron 8000 t de petróleo crudo de peso medio que afectó un área de 42 km² a lo largo de un complejo sistema marino de arrecifes tiernos, fanerógamas y manglares que habían sido objeto de estudio durante años, previos al derrame. Se considera que el derrame de Bahía Las Minas ha sido el más grande ocurrido en hábitats marino-costeros (Figura 1). Las consecuencias de este gran siniestro fueron evaluadas al inicio (apenas ocurrió y durante el primer año), a mediano plazo y a largo plazo (después de 10 años) en seis arrecifes, unos alcanzados por el derrame y otros no afectados [11, 12, 13, 14, 15]. A corto plazo se observó una mortalidad de corales importante. Luego de 5 años o un poco más, se observaron impactos subletales en la reproducción y el crecimiento. Con respecto a la cobertura de coral, se notó que en uno de los arrecifes donde el derrame se concentró más densamente, ésta disminuyó en un 76 % en los primeros 3 m y en 56 % entre los 3 y 6 m de profundidad. En arrecifes donde el derrame llegó menos, la cobertura decreció en menor proporción y en aquellos donde no llegó y la cobertura se mantuvo constante o incrementó. El efecto dañino sobre los arrecifes dependió

en parte de las especies que lo conformaban afectando principalmente al coral ramificado *Acropora palmata*, que casi llega a desaparecer del sitio más contaminado por el hidrocarburo. El tamaño de las colonias y la diversidad de la comunidad también decrecieron significativamente con el aumento de la masa del hidrocarburo. Los efectos del derrame a largo plazo no pudieron ser discernidos, ya que una variedad de factores contribuyó a la degradación de los arrecifes monitoreados, tanto los que fueron impactados por el derrame como los arrecifes no perturbados por hidrocarburos o sitios control [15].



Figura 1. Vista general de una zona afectada en Bahía Las Minas, Panamá. Foto del año 1986, Reportaje Panamá América, 9 mayo 2020.

Otros daños son la alteración de las relaciones ecológicas entre los organismos del arrecife y la disminución de la productividad del sistema. Con el tiempo (a largo plazo), los procesos erosivos (biológicos y físicos) aumentarán y se debilitará o perderá la trama de carbonato arrecifal. Nuevamente, el daño a los arrecifes producirá un efecto cascada, ya que su afectación o desaparición tendrá repercusión negativa en los ecosistemas vecinos del área impactada (manglares, praderas de hierbas marinas, etc.).

5. Consecuencias de los derrames de hidrocarburos sobre la economía local por afectar los bienes y servicios ecosistémicos que brindan los arrecifes

Se ha estimado que más de 600 millones de personas (aproximadamente el 8 % de la población mundial) viven en zonas costeras que están a menos de 10 m sobre el nivel del mar, y que cerca de 2.400 millones de personas (alrededor del 31 % de la población mundial) viven a menos de 100 km (60 millas) de la costa [16]. En el último censo poblacional que se realizó en el país (año 2011), se indica que el 75 % de la población venezolana ocupa 20 % del territorio nacional, ubicándose en la fachada costa-montaña [17]. En la región marino-costera las

pesquerías y el turismo constituyen las principales actividades mediante las cuales los pobladores locales obtienen su sustento económico. Cuando ocurren derrames en la cercanía de la costa éstos afectan los tres componentes del sistema: agua, sedimento y biota y en el caso de los ecosistemas de arrecifes coralinos la situación puede llegar a ser bastante grave. Los arrecifes cubren los fondos marinos a lo largo de todo el gradiente de profundidad hasta alcanzar aproximadamente los 25 o 30 m (en aguas poco profundas), donde los flóculos de los hidrocarburos pueden fácilmente llegar, pudiendo alcanzar el sedimento y organismos del fondo, entre éstos la fauna sésil como corales, esponjas, gorgonios y anémonas. Por otra parte, en la región del Caribe, los arrecifes, los manglares y los lechos de hierbas marinas constituyen los principales ecosistemas marinos costeros y suelen aparecer conjuntamente, lo que condiciona su alta interacción física y biológica. A través de las masas de agua se movilizan, tanto horizontal como verticalmente, los nutrientes, los huevos, las larvas, el alimento en suspensión, los sedimentos, así como también los contaminantes sólidos y líquidos. Además, tanto los manglares como los lechos de hierbas marinas son áreas de crecimiento, refugio y alimentación de muchas especies las cuales ocupan los arrecifes en sus etapas adultas. También hay habitantes que ocupan los arrecifes durante el día y se alimentan en la noche en las praderas de hierbas marinas [18]. Todas estas dinámicas demuestran el grado de interdependencia existente entre estos ecosistemas. Por tal razón los derrames de hidrocarburos en áreas de desarrollo arrecifal no solo afectarán a los corales y otros organismos del arrecife, sino también a los manglares, praderas de hierbas marinas y toda su fauna asociada, lo que implica una merma importante en los bienes y servicios que ofrecen estos sistemas.

5.1 Afectaciones al sector pesquero (de subsistencia y comercial)

Son innumerables los recursos marinos de importancia pesquera que viven en los arrecifes coralinos y los ecosistemas adyacentes. Los derrames de hidrocarburos pueden afectar significativamente estos recursos. Los hidrocarburos producen asfixia en peces, causando mortandades importantes en ciertas especies, especialmente si son formadoras de cardúmenes y nadan cerca de la superficie en zonas impactadas. La contaminación física a peces y a otros recursos pesqueros puede inducir mal olor (al macularse) o añadir efectos tóxicos en pescados, mariscos y moluscos [19]. La infraestructura pesquera -los puertos pesqueros locales, los motores fuera de borda, los cascos de las lanchas, las artes de pesca que se utilizan, entre otros (Figura 2)- es también afectada por los derrames.

5.2 Afectaciones al sector turismo

La contaminación de las playas las hace poco atractivas para el turismo (Figura 2). Esto conduce a una disminución de la demanda de hoteles, restaurantes y comercio en general. Por otra parte, la presencia de hidrocarburos, aceites o mezclas de estos en el agua o cubriendo directamente a los corales y otros fondos marinos afecta el desarrollo de actividades deportivas acuáticas, como submarinismo, velerismo, pesca deportiva y *kitesurf* perjudicando la economía productiva de las escuelas de buceo, marinas deportivas, transporte acuático privado y a la economía informal de vendedores en playas y muelles. Además, el hidrocarburo puede contaminar también las tomas de agua industriales y urbanas (plantas desalinizadoras) de las zonas impactadas, lo que puede tornarse en un problema de salud pública [20].



Figura 2. A) Reportaje *América Digital* 27/07/2019. Embarcaciones de pesca contaminadas por hidrocarburos. Palma Sola, Puerto Cabello. B) Reportaje *El Pitazo*, 11/08/2020. Pescadores recogiendo hidrocarburo en litoral arenoso de cayo Borracho, Parque Nacional Morrocoy.

6. Experiencias recientes de derrames de petróleo en los ecosistemas marino-costeros de Venezuela

Por ser Venezuela un país cuya economía está sustentada en la industria petrolera, la contaminación del ambiente por

hidrocarburos es una realidad inevitable, pero con las medidas de mantenimiento y seguridad industrial adecuadas, este problema podría ser minimizado. Veamos algunos ejemplos.

a. **Derrame desde Trinidad: 23 de abril de 2017.** Este derrame masivo de Fuel oil 380 ocurrió desde la Refinería de Pointe-a-Pierre de la Empresa estatal Petrotrin de Trinidad y Tobago. El crudo se vertió en el río Guaracara y de allí fluyó al Golfo de Paria, desde donde fue arrastrado por la corriente hacia otras costas continentales y de islas del país [21]. El derrame alcanzó las playas del Golfo de Paria, de la costa norte de la península de Paria, del Edo. Nueva Esparta, de las islas Los Testigos, Coche, La Tortuga, La Blanquilla, La Orchila y del Parque Nacional Archipiélago Los Roques y de la costa oriental de la península de Paraguaná y también alcanzó las costas de Aruba, Curaçao y Bonaire (ABC). Todas las áreas impactadas son de gran importancia ecológica, entre otras razones por ser algunas zonas de anidación de tortugas y otras por presentar grandes desarrollos arrecifales. En observaciones realizadas *in situ* en el Parque Nacional Archipiélago Los Roques se determinó la presencia de hidrocarburo en dos formas, como micropartículas y como fragmentos en forma de fistulas sobre el fondo marino en uno de los sitios (islote de Francisquí). De las observaciones realizadas, los autores consideraron que el hidrocarburo que llegó al Archipiélago pudo afectar su fauna y flora [22]. De acuerdo con la información suministrada por Petrotrin, se derramaron 300 barriles de petróleo. Sin embargo, esto no parece concordar con la amplitud de costa impactada en nuestro país y en las islas Aruba, Bonaire y Curaçao. Fuentes no oficiales de Trinidad y Tobago indicaron que el total derramado fue de 10.000 barriles.

b. **Derrames desde la Refinería El Palito de la empresa PDVSA.** Durante el año 2020 se registraron derrames de hidrocarburos en varias zonas del país, siendo el estado Falcón uno de los más afectados. Fueron hechos notorios y ampliamente documentados a través de las redes sociales y programas de radiodifusión venezolanos, los derrames de hidrocarburos producidos desde la Refinería El Palito (PDVSA) en el área de Golfo Triste. Estos derrames impactaron las costas de los estados Falcón y Carabobo incidiendo en muchos casos sobre los ecosistemas marino-costeros, incluso sobre áreas bajo régimen de administración especial (ABRAE). Desde finales del mes de julio ocurrieron al menos cuatro derrames procedentes de la misma fuente, los cuales pudieron ser claramente evidenciados mediante el procesamiento de imágenes obtenidas a partir de sensores remotos [23].

El primer derrame se constató en imágenes del 22 de julio. Cabe mencionar que cuando ocurrió, las autoridades de PDVSA no activaron a corto plazo el correspondiente Plan Nacional de Contingencia contra Derrames de Hidrocarburos en agua. Sólo aproximadamente tres semanas después del accidente se observaron algunos mantos y barreras oleofílicas en la zona. Lamentablemente, el hidrocarburo ya se había extendido por distintas partes, en la región de Golfo Triste, alcanzando varias áreas del Parque Nacional Morrocoy. En las playas arenosas de Boca de Aroa, Tucacas, Cayo Borracho, ensenadas con islas de manglares (*Rhizophora mangle*) y algunos canales de navegación en la zona denominada la “L” y hacia el área de Boca Grande se observaron manchas de crudo y/o sustancias aceitosas en el agua. Periodistas y miembros de ONG ambientales divulgaron por las redes sociales fotos que mostraban manchas de hidrocarburos y aceites en la superficie del agua alrededor de varios cayos del parque cuyos fondos están poblados por arrecifes coralinos. Las fechas y las áreas impactadas por los derrames fueron: 22/07 de 85 km², 26/07 de 300 km², 10/08 varias manchas dispersas de un área aproximada de 260 km², 20/08 manchas dispersas, no se estimó su área. También se conoció sobre nuevos derrames en noviembre de 2020 [24]. El daño ecológico producido por los derrames de 2020 no ha sido establecido aún. Sin embargo, es posible que éstos hayan podido afectar el proceso reproductivo de los corales, ya que los derrames ocurrieron en julio y agosto, dos de los cuatro meses en los cuales ocurre la reproducción masiva de los corales (julio-octubre). Por otra parte, tampoco se ha dado a conocer el tipo, la composición y el volumen del hidrocarburo derramado.

Para conocer las consecuencias ecológicas de un derrame de petróleo se requiere una evaluación científica sistemática y sólida, que debe iniciarse inmediatamente luego de ocurrir el accidente (diagnóstico inicial) y proseguir al menos de una evaluación a mediano y otra a largo plazo, las cuales permitan determinar las consecuencias a estas escalas de tiempo y conocer las posibilidades de recuperación del sistema. La Sociedad Venezolana de Ecología (SVE) y el grupo *ad hoc* que hizo un seguimiento a los eventos señalados, manifestaron su intención de apoyar a las autoridades locales e informar con responsabilidad, basados en la experticia de científicos venezolanos con amplia trayectoria, de las posibles consecuencias de estos lamentables hechos (SVE, en prensa), no obstante, aún no se ha recibido la invitación pertinente por parte de las autoridades ambientales.

Por otra parte, la costa occidental del estado Falcón, particularmente al oeste del golfo de Coro, en la zona de Río Seco y Punta Maragüey, también ocurrieron en 2020 derrames de hidrocarburos (y sus derivados) provenientes de

las Refinería de Amuay y Cardón, así como una fuga de gases desde el oleoducto de Río Seco. En esta región existen planicies intermareales donde se alimentan diversas y abundantes especies de aves playeras [25], así como cangrejos, poliquetos y otros invertebrados marinos. Por otra parte, ésta es un área de pesca de camarones de gran relevancia para el sostén económico de los pobladores locales. Las consecuencias de estos derrames tampoco han sido cuantificadas. Queda la incertidumbre y preocupación por el posible consumo de pescado y otras especies marinas provenientes de zonas contaminadas por hidrocarburos, como las que se han mencionado.

7. Resiliencia de los sistemas arrecifales impactados por derrames de hidrocarburos. Caso Parque Nacional Morrocoy

La resiliencia de un sistema complejo es la capacidad de absorber perturbaciones recurrentes o impactos momentáneos y adaptarse al cambio sin virar a un estado alternativo estable [26]. Lamentablemente, la resiliencia de la mayor parte de los arrecifes coralinos en el mundo pareciera estar agotándose. Muchos son los factores que los están afectando y a una frecuencia muy alta, como en el caso de los eventos de blanqueamiento masivos, pudiendo estos sistemas no disponer de tiempo suficiente para recuperarse entre eventos sucesivos. La capacidad de resiliencia de un sistema arrecifal luego de una contaminación severa por petróleo (con efectos parcialmente letales y subletales) puede llevar desde varias décadas hasta cientos de años, lo que dependerá del clima (tropical, subtropical, templado), del hidrocarburo (composición química, concentración, volumen derramado), de los tratamientos postderrame y de la extensión de la destrucción de hábitats y su régimen de exposición (los más protegidos tardarán más). Además de ambientales, factores biológicos y ecológicos también influyen la sensibilidad y posibilidad de recuperación de las especies individuales. Los resultados del estudio de Guzmán *et al.* (2020) [15] no arrojaron evidencias de impacto crónico de los corales a largo plazo (>10 años) luego del derrame en Bahía Las Minas, pero sí mostraron que una variedad de factores había contribuido a la degradación de todos los arrecifes durante el tiempo de estudio, tanto los alcanzados por el derrame como por los no alcanzados.

En el caso de los arrecifes del Parque Nacional Morrocoy, no es posible pronosticar si serán o no resilientes a los efectos potenciales que pudieron haber producido los sucesivos derrames de hidrocarburos en la región de Golfo Triste a partir de julio de 2020, ya que desconocemos hasta la fecha la naturaleza del hidrocarburo, su composición química, el volumen derramado y las áreas impactadas dentro del área, factores indicados en el párrafo anterior. Por otra parte, este parque ha sido afectado históricamente por una serie

de tensores antropogénicos, como la elevada descarga de sedimentos proveniente de tres cuencas hidrográficas del área, aguas servidas no tratadas, contaminantes sólidos y líquidos, desarrollo masivo de infraestructura turística, sobrepesca y más recientemente (tres últimas décadas) por tensores ambientales relacionados al cambio climático. Además, a inicios del año 1996 ocurrió una anomalía oceanográfica en el área, la cual produjo una mortalidad masiva de corales en numerosos arrecifes franjeantes del parque. Si bien se ha observado una leve recuperación de la cobertura de coral en varios de los arrecifes afectados, ésta ha sido muy lenta (más de dos décadas). Es posible que las perturbaciones previas a las que estuvieron sujetos los arrecifes del parque y el posible impacto de los derrames de hidrocarburos ocurridos en 2020 pudieran haber superado la capacidad de resiliencia de los arrecifes de este importante sistema marino-costero del país y poner en riesgo los bienes y servicios que éstos brindan a las comunidades locales.

Referencias

- [1] Muscatine, L. The role of symbiotic algae in carbon and energy flux in coral reefs En: *Ecosystems of the World 25. Coral Reefs*. (Ed.) Dubinsky (Elsevier, Amsterdam, 1990), pp. 75–87.
- [2] Connell, J. H. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science* **199**, 1302-1310 (1978).
- [3] International Union for Conservation of Nature (IUCN). The IUCN Red List of threatened species. Disponible en <https://www.iucnredlist.org/> (2008).
- [4] Environmental Protection Agency USA. Disponible en <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-los-arrecifes-de-coral>. Consultado 20 Feb. 2021.
- [5] Bartz, R. J. y Brett, A. Preserving reef-building coral genetic resources with assisted migration: balancing precaution and risk. Disponible en <https://nsac.law.miami.edu/wp-content/uploads/2015/11/Bartz-Final.pdf> (2017).
- [6] National Oceanic and Atmospheric Administration USA (NOAA). Toxicity of oil to reef-building corals: A spill response perspective. *NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 8*, Seattle, Washington, pp. 87 (2001).
- [7] Loya, Y. y Rinkevich, B. Abortion effect in corals induced by oil pollution. *Marine Ecology Progress Series*. **1**, 77-80 (1979).
- [8] Peters, E.C., Meyers, P.A., Yevich, P.P. y Blake, N.J. Bioaccumulation and histopathological effects of oil on a stony coral. *Marine Pollution Bulletin* **12**, 333-339 (1981).
- [9] Hartmann, A.C., Stuart, A., Sandin, S.A., Chamberland, V.F., Marhaver, K.L., de Goeij, J.M., Mark J. A. y Vermeij, M.J.A. Crude oil contamination interrupts settlement of coral larvae after direct exposure ends. *Marine Ecology Progress Series* **536**, 163–173 (2015).
- [10] Luter, H. M., Whalan, S., Andreakis, N., Wahab, M.A., Botté, E.S., Negri, A.P. y Webster, N.S. The effects of crude oil and dispersant on the larval sponge holobiont. *mSystems* **4**, e00743-19 (2019). doi.org/10.1128/mSystems.00743-19.
- [11] Jackson, J.B., Cubit, J.D., Keller, B.D., Batista, V., Burns, K., Caffey, H.M., Caldwell, R.L., Garrity, S.D., Getter, C.D., Gonzales, C., Guzman, H.M., Kaufmann, K.W., Levings, S.C., Marshall, M.J., Steger R, Thompson, R.C. y Weil, E. Ecological effects of a major oil spill on Panamanian coastal marine communities. *Science* **243**, 37–44 (1989).
- [12] Guzmán, H., Jackson, J.B. y Weil, E. Short-term ecological consequences of a major oil spill on Panamenian subtidal reef corals. *Coral Reefs* **10**, 1-12 (1991).
- [13] Guzmán, H..M y Holst, I. Effects of chronic oil-sediment pollution on the reproduction of the Caribbean reef coral *Siderastrea siderea*. *Marine Pollution Bulletin* **26**, 276–282 (1993).
- [14] Guzmán, H.M., Cipriani, R. y Jackson, J.B. Historical decline in coral reef growth after the Panama Canal. *Ambio* **37**, 342–346 (2008).
- [15] Guzmán, H., Kaiser, S. y Weil, E. Assessing the long-term effects of a catastrophic oil spill on subtidal coral reef communities off the Caribbean coast of Panamá (1985–2017). *Marine Biodiversity* **50**, 28 (2020).
- [16] Organización de las Naciones Unidas (ONU). Las personas y los océanos (23 de julio de 2017). Notas (hoja informativa). Disponible en <https://www.onu.org.mx/las-personas-y-los-oceanos/> (2017).
- [17] Instituto Nacional de Estadísticas (INE). XIV Censo nacional de población y vivienda. Resultado total nacional de la República Bolivariana de Venezuela 2014. pp. 68.
- [18] Villamizar, E. Las praderas de fanerógamas marinas como un hábitat de importancia para peces juveniles y adultos en el Parque Nacional Archipiélago de Los Roques. En: *Ciencia y Conservación en el Sistema de Parques Nacionales de Venezuela, Una experiencia de cooperación interinstitucional*, (Eds.) Novo I., Morales, L.G., Rodríguez, C.T., Martínez, G. y De Hertelendy, I. (*EcoNatura*, 1997) pp. 271-276.
- [19] International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF). Efectos de la contaminación por hidrocarburos en el sector de la pesca y la acuicultura. *Documento de Información técnica 11*, (2011) pp. 11.
- [20] International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF). Effects of oil pollution on social and economic activities. *Technical Information Paper 12* (2011) pp. 7.
- [21] Rodríguez, G. A. J. Asociación venezolana de derecho

marítimo. Comisión de Egresados Universitarios. El Derrame Petrolero en Trinidad y Tobago. Consecuencias Ambientales y Jurídicas. Disponible en https://docs.wixstatic.com/ugd/7a5940_9bdfc06ca95b40ba9b06e76aac7e00bc.pdf. (2017).

[22] González C., Espinoza, D., Campos, A. e Yranzo, A. Evaluación preliminar sobre el posible impacto ambiental del derrame de Petrotrin, en el Parque Nacional Archipiélago Los Roques. Reporte de trabajo de campo (2017).

[23] Klein, E. El mar se tiñe de negro: seguimiento de derrames mediante sensores remotos. Disponible en: <https://tinyurl.com/derramesFalcon> (2020).

[24] Sociedad Venezolana de Ecología (SVE). Derrames de hidrocarburos en las costas de Carabobo y Falcón:

vulnerabilidad de la biodiversidad y respuesta de la SVE. Nota de correspondencia Grupo *ad hoc* para atender las afectaciones a la biodiversidad marino por los derrames de la Refinería El Palito y Refinería Cardón en el año 2020. *Ecotrópicos* (en revisión, 2020) pp. 30.

[25] Giner, S. Punta Maragüey y Punta Caimán, sitios clave para la conservación de las aves playeras en la Costa Occidental de Venezuela. Artículo divulgativo. Disponible en: <https://whsrn.org/es/punta-maraguey-y-punta-caiman-sitios-clave-para-la-conservacion-de-las-aves-playeras-en-la-costa-occidental-de-venezuela/>. 20 de Enero de 2021.

[26] Hughes, T. P., Graham, N. A. J., Jackson, J. B. C., Mumby, P. J. y Steneck, R.S. Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience. *Trends in Ecology and Evolution* **25** (11), 633-642 (2010).