

IMPACTOS DE LOS DERRAMES DE HIDROCARBUROS SOBRE LOS ECOSISTEMAS DE MANGLAR

IMPACTS OF OIL SPILLS ON MANGROVE ECOSYSTEMS

*María Beatriz Barreto Pittol**

RESUMEN

Los impactos causados por los derrames de hidrocarburos se suman al conjunto de actividades humanas que conllevan a la degradación y pérdida de los manglares en las costas de Venezuela, principalmente por mortalidad de sus diferentes componentes y la liberación crónica de contaminantes incorporados al suelo. La elevada conectividad hidrológica de los humedales permite el movimiento de los contaminantes entre los distintos ecosistemas asociados a los manglares, con efectos negativos en escalas temporales que pueden ser cuantificadas y observadas a mediano y largo plazo, incluyendo una disminución en la complejidad estructural, así como la alteración de la funcionalidad y de los servicios ecosistémicos que ellos proveen. En los sitios donde los manglares han sido afectados por derrames, como es el caso del Parque Nacional Morrocoy, deben iniciarse planes de monitoreo de los impactos causados por el hidrocarburo, con el fin de desarrollar programas de rehabilitación y restauración.

ABSTRACT

The impacts caused by oil spills added to human activities lead to the degradation and loss of mangroves in Venezuelan coastal areas, mainly due to the mortality of their components and the chronic release of contaminants incorporated into the soil. The high hydrological connectivity of wetlands allows the movement of pollutants between the different ecosystems associated with mangroves, with negative effects on time scales that can be quantified and observed at medium and long terms, including a decrease in structural complexity, as well as alteration of the functionality and ecosystem services provided. In places where mangroves have been affected by spills, such as the Morrocoy National Park, plans to monitor the impacts caused by hydrocarbons should be initiated, in order to develop rehabilitation and restoration programs.

Palabras clave: Contaminación de suelos, impactos humanos, mortalidad de manglares.

Keywords: Human impacts, mangrove mortality, soil contamination.

1. Introducción

Los manglares son ecosistemas forestales dominados por árboles y arbustos que habitan la zona intermareal superior de costas y estuarios en latitudes tropicales y subtropicales [1], donde están conectados hidrológicamente con otras comunidades leñosas inundables, así como con planicies y salitrales colonizados por vegetación halófila conformada por suculentas y gramíneas, mientras que en la zona intermareal inferior interactúan con praderas de fanerógamas marinas y arrecifes coralinos.

Los impactos causados por los derrames de hidrocarburos se suman a otros efectos derivados de actividades humanas que afectan a los manglares de forma directa o indirecta, entre otras

cosas por la disminución de la cobertura original, por cambios en el uso de la tierra y por actividades extractivas. Entre los efectos secundarios de estas alteraciones está la disminución del flujo de agua dulce, que produce la salinización de los suelos, así como el deterioro y la mortalidad masiva registrada en los manglares de la costa Caribe de Venezuela [2].

La degradación y mortalidad de los manglares por impactos humanos conllevan a la pérdida de los servicios ecosistémicos que éstos proveen, los cuales están relacionados con actividades como la pesquería, el turismo, la protección de las líneas de costa y la capacidad de almacenamiento de carbono; éste último juega un papel preponderante a escala local y nacional como una medida de mitigación ante el cambio climático [3].

* Instituto de Zoología y Ecología Tropical (IZET), Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

2. Conectividad hidrológica

Una de las características de los humedales es su alta conectividad. Implica el movimiento de materiales y componentes bióticos (e. g., propágulos e individuos juveniles) entre los elementos del paisaje, cuyo vehículo de conexión es el agua que representa el medio de transporte de sedimentos, nutrientes y también de contaminantes de origen doméstico e industrial. Los ecosistemas costeros son subsidiados por los flujos de agua dulce (ríos, quebradas y escorrentía durante las lluvias) de origen continental y por entradas de agua salada oceánica aportada las mareas, las corrientes y el oleaje [4]. Estos procesos hidrológicos y sus mecanismos de retroalimentación están acoplados a su vez, a cambios que sufren los componentes biogeoquímicos y ecológicos del sistema [5]. Por esta razón, los impactos puntuales tienen repercusión en el conjunto de los ecosistemas que conforman el humedal y así, en las propuestas de restauración y/o mitigación deben considerarse todos esos aspectos.

3. Actividad humana relacionada con la mortalidad y degradación de los manglares

En Venezuela, las principales actividades humanas relacionadas con la mortalidad de los manglares, así como con el deterioro de los atributos estructurales y funcionales del ecosistema en la zona del Parque Nacional Morrocoy son:

1. la pérdida de ecosistemas en las cuencas hidrográficas que influyen a los humedales, incluyendo a los manglares;
2. el desvío, represamiento y uso del agua dulce para consumo humano, agricultura y ganadería;
3. la deforestación y modificación de la topografía como resultado de la construcción de piscinas para el cultivo de camarones;
4. la sobreexplotación de recursos pesqueros y la extracción de maderas o leña;
5. la conversión del manglar para desarrollos urbanos e infraestructuras turísticas;
6. el vertido de efluentes contaminantes y desechos sólidos; y
7. las actividades relacionadas con la minería y con la industria petrolera.

A lo largo de la costa de Venezuela un número importante de manglares en diferentes localidades muestran signos de deterioro por diversos impactos, incluyendo la disminución en superficie por eventos de mortalidad masiva del ecosistema, mientras que la vegetación remanente presenta una decadencia evidente [2]. En la costa Caribe de Venezuela, principalmente

en las regiones centro occidental, central, oriental e insular (entre los estados Falcón y Sucre), extensas áreas de manglares han sido transformadas o presentan un alto grado de deterioro por los impactos directos y/o indirectos de actividades relacionadas con el turismo y el urbanismo, las cuales también generan perturbaciones en las cuencas altas, medias y bajas que influyen al humedal. Es importante resaltar que esta situación se presenta aun en aquellos sitios de Venezuela designados en el marco de la Convención Ramsar (los parques nacionales Archipiélago Los Roques, Laguna de Tacarigua y Morrocoy, así como los refugios de fauna Ciénaga de los Olivitos y Cuare), donde se ha registrado la mortalidad o desgaste de los manglares causados por actividades humanas (Figura 1).



Figura 1. Manglar deteriorado y muerto dominado por *Avicennia germinans*. A. Mortalidad de un rodal de mangle negro y posterior colonización (Refugio de Fauna Silvestre Cuare, estado Falcón); B. Mortalidad masiva; note la pérdida de las capas superficiales del suelo (Parque Nacional Morrocoy, estado Falcón).

4. Efecto de los derrames de hidrocarburos en los manglares

Los derrames de petróleo en las zonas marino-costeras del Caribe de Venezuela impactan al conjunto de ecosistemas, así como a sus diversos componentes, con efectos negativos en escalas temporales que pueden ser cuantificadas y observadas a corto, mediano y largo plazo. Los elementos afectados cuando los derrames suceden en la costa y se extienden por la acción de corrientes y mareas, incluyen, además de los manglares, playas

arenosas, arrecifes, macroalgas, praderas de fanerógamas, planicies intermareales y herbazales halófilos, donde el agua es el vehículo de transporte de una diversidad de contaminantes productos de la meteorización de los hidrocarburos [6].

Es necesario resaltar que el funcionamiento de los ecosistemas estuarinos y marino costeros responde a un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos interconectados [7]. Estos ecosistemas están sometidos a múltiples factores que generan estrés y su localización en la interfase terrestre marina, como es el caso de los herbazales halófilos, salitrales/planicies mareales hipersalinas, manglares, praderas de fanerógamas, macroalgas y arrecifes, los hacen susceptibles a impactos desde los ámbitos terrestre y marino [7].

En los últimos años los impactos a los manglares por derrames de hidrocarburos, además de haber afectado a los humedales ubicados en la cuenca del Lago de Maracaibo y en el Golfo de Venezuela, también han impactado otros sectores de la costa venezolana, así como en las islas y archipiélagos (Figura 2). Los derrames de hidrocarburos y el vertido de efluentes contaminantes por la industria petrolera están sucediendo con mayor frecuencia. La naturaleza compleja del hidrocarburo y los procesos de meteorización que sufren a lo largo del tiempo en el agua y en el suelo, dificultan la evaluación de riesgos, así como la aplicación de medidas de remediación o restauración [8].

Los efectos causados por los diferentes hidrocarburos (petróleo y derivados) sobre los ecosistemas de manglar, sus componentes (flora, fauna y suelo) y su funcionamiento han sido documentados por evaluaciones detalladas realizadas a mediano y largo plazos, después de derrames importantes como el sucedido en Panamá y en BP Macondo (Golfo de México)

[9]. Al cubrir las raíces, los tallos y el suelo, el hidrocarburo produce un efecto agudo, incluyendo la mortalidad a corto plazo de la fauna y la flora asociada con estos sustratos (e.g., bivalvos, gasterópodos, crustáceos, macroalgas y perifiton). Esto condiciona la pérdida de las funciones provistas por numerosos componentes de la fauna que actúan como ingenieros de ecosistemas, con efectos directos sobre los ciclos de nutrientes. El hidrocarburo penetra y se acumula en las galerías de los organismos y puede permanecer allí por largo tiempo lo que constituye una fuente crónica de contaminantes.

Los contaminantes provenientes de los hidrocarburos del petróleo afectan la columna de agua, los sedimentos y el agua intersticial, con impactos agudos que producen la mortalidad inmediata de organismos bénticos y la infauna [8]. Son afectados desde macroinvertebrados hasta las comunidades microbianas, con la subsecuente disrupción de los procesos metabólicos dependientes de las relaciones planta-microbiota del suelo, con secuelas negativas en el funcionamiento del ecosistema (productividad primaria, relaciones nutricionales y descomposición).

Los efectos directos de los derrames que causan la muerte de organismos, así como los impactos indirectos que producen la alteración de la estructura y el funcionamiento de las comunidades y ecosistemas, han sido documentados de forma inequívoca tanto en experimentos de laboratorio [10] como en el campo [11, 12]. Sin embargo, determinar las consecuencias a largo plazo sobre los organismos y sistemas cuando la cantidad de contaminante es baja y sus efectos son sutiles o existen otros impactos que pueden estar afectando a estos sistemas es un reto a afrontar. Esto requiere de un enfoque multidisciplinario y multisistémico, además de la aplicación de nuevos métodos de análisis sin perder de vista los costos asociados cuando los

derrames influncian áreas extensas o tienen una escala de afectación a largo plazo [13]. Una vez que el hidrocarburo se incorpora a los suelos y sedimentos puede constituir una fuente no puntual y crónica de contaminación al ambiente, donde es posible observar un gradiente de alta a baja concentración de contaminantes en función de la distancia desde su fuente [13].

Tomando en cuenta los aspectos previamente descritos, los tres principales impactos de los hidrocarburos sobre los manglares son:

1. Mortalidad por cubrimiento de las raíces aéreas y de los tallos con el hidrocarburo o por la

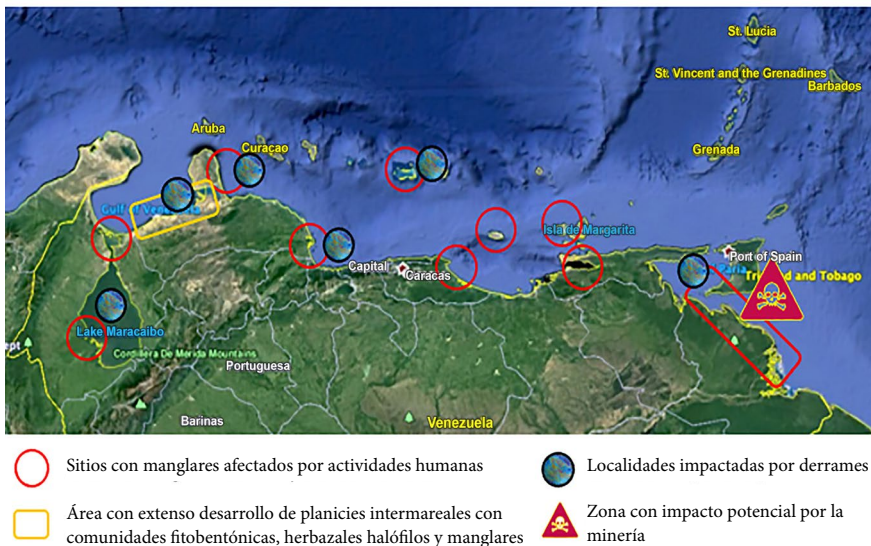


Figura 2. Manglares en la costa e islas de Venezuela impactados por actividades humanas y derrames de hidrocarburos. Imagen modificada de Google Earth®.

incorporación de compuestos tóxicos a través de las raíces subterráneas [8, 13], lo que conduce a una disminución del tamaño poblacional y a cambios en la distribución de las clases de edad, diámetro y altura, así como a una menor complejidad estructural de la vegetación.

2. Mortalidad por estrés fisiológico o deterioro de los individuos, con alteraciones en la reproducción [13]. La tasa de producción de propágulos es menor, el patrón de la fenología reproductiva es alterado, observándose una disminución en la eficiencia para la producción de propágulos y/o cambios en el tiempo de dispersión. Otros efectos negativos documentados son una menor tasa de establecimiento de las plántulas [8].
3. Disminución en la cobertura y extensión de los manglares. Ambas situaciones pueden ser determinadas por la muerte de árboles como resultado de un efecto prolongado del hidrocarburo, lo que produce además una degradación de las condiciones del sitio, incluyendo la erosión del suelo; esto limita el establecimiento de las plántulas y en periodos superiores a los 30 años del derrame el sistema pudiera no recuperarse y la pérdida del hábitat es permanente [8].

La alta conectividad de los sistemas marino costeros es otro aspecto importante a considerar porque una vez que se han incorporado los productos del derrame y sus derivados en los suelos orgánicos típicos de los manglares se difunden, lo que constituye una fuente crónica y a largo plazo de contaminantes que afectan a ecosistemas adyacentes [14].

5. Restauración de manglares afectados por actividades humanas

La restauración es presentada regularmente como una solución exitosa para enmendar la pérdida de manglares y otros impactos generados sobre estos ecosistemas; sin embargo, su aplicación y alcance como medida mitigante representa un reto por los múltiples problemas y limitaciones existentes para lograr las metas deseadas [15]. Entre estos impedimentos resaltan los siguientes:

- *Ambientales*: cambios drásticos en el uso de la tierra, modificación de la hidrología, alteración de la calidad del agua, invasión de especies exóticas, sobreexplotación de recursos bióticos, perturbaciones por el uso de embarcaciones, eventos naturales y cambio climático, entre otros.
- *Técnicos*: selección inapropiada de los sitios a restaurar, deficiencias operativas de las instituciones responsables del manejo y falta de capacitación técnica para llevar a cabo procesos de restauración.

- *Sociales*: la no aceptación de propuestas por comunidades locales, falta de participación de las partes involucradas por la ausencia de conciencia sobre sus derechos y responsabilidades en materia de conservación.
- *Económicas*: elevados costos operativos y tiempos de ejecución prolongados.
- *Políticas*: regímenes de tenencia desfavorables y falta de estrategias compensatorias, así como esquemas de gobernanza opuestos a las metas de conservación.

6. Consideraciones finales

El primer paso para abordar la problemática de los manglares y otros ecosistemas costeros en Venezuela corresponde al desarrollo de planes de acción a nivel nacional y regional, con el objeto de evaluar los efectos de actividades humanas en la conversión y degradación de sus diferentes componentes, así como las implicaciones en los servicios ecosistémicos asociados. Por lo tanto, es necesario realizar el inventario de cobertura y sus cambios en el tiempo, tomando en cuenta que la recolección de data *in situ* es fundamental.

Es esencial la actualización e instrumentación de los planes de contingencia desarrollados por la industria petrolera, con miras a prevenir derrames y actuar en los tiempos apropiados en casos de eventos fortuitos que requieran actuaciones inmediatas para disminuir o mitigar los posibles impactos al medio ambiente.

En los sitios donde los manglares han sido afectados por derrames, como es el caso del Parque Nacional Morrocoy, deben iniciarse planes de monitoreo de los impactos causados por el hidrocarburo, con miras a desarrollar programas de rehabilitación y restauración de los diferentes componentes del ecosistema. Por otra parte, es altamente necesario diseñar acciones preventivas que permitan abordar eventualidades en forma inmediata, lo que debe incluir el equipamiento y la formación de personal para este tipo de situaciones.

A nivel mundial las estimaciones de cobertura y de contenido de carbono de los manglares de Venezuela colocan al país en la posición 9 del total de 105 naciones [16], razón por la cual la conservación de estos bosques y la recuperación de las áreas degradadas o contaminadas debe asumirse como un compromiso de estado orientado a garantizar los Derechos Humanos Universales y alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible [17, 18]. Por otra parte, este aspecto resulta de suma relevancia en el contexto del cambio climático global.

Agradecimientos

Expreso mi agradecimiento a la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (Acfiman), por su invitación en

calidad de ponente al Foro virtual “Derrames de hidrocarburos en Venezuela. Cómo afectan al ambiente y la economía local”, del cual se deriva este trabajo. La Dra. Liliana López aportó importantes sugerencias a los planteamientos aquí señalados. El Dr. José Ochoa G. contribuyó con la edición de los textos aquí presentados.

Referencias

- [1] Tomlinson, P.B. *The botany of mangroves* (University Press, Cambridge, 1986).
- [2] Barreto, M. B. Diagnostics about the state of mangroves in Venezuela: Case studies from the National Park Morrocoy and Wildlife Refuge Cuare. En *Mangroves and Halophytes: Restoration and Utilisation. Tasks for Vegetation Sciences* **43**. (Eds.) Lieth, H., Sucre, M.G. y Herzog, B. (Springer, Berlin, Heidelberg, 2008) pp.51-64.
- [3] Alongi, D.M. Global significance of mangrove blue carbon in climate change mitigation. *Sci.* **2** (3), 67 (2020). doi.org/10.3390/sci2030067.
- [4] Mitsch, W.J. y Gosselink, J.G. *Wetlands*. (Van Nostrand Reinhold, New York, 1993).
- [5] Waddington, J.M., Morris, P.J., Kettridge, N., Granath, G., Thompson, D.K. y Moore, P.A. Hydrological feedbacks in northern peatlands. *Ecohydrol.* **8**, 113-127 (2015).
- [6] National Research Council. Responding to Oil Spills in the U.S. Arctic Marine Environment. (National Academies Press, Washington, 2014). doi.org/10.17226/18625.
- [7] O’Meara, T.A., Hillman, J.R. y Thrush, S.F. Rising tides, cumulative impacts and cascading changes to estuarine ecosystem functions. *Sci. Rep.* **7**, 10218 (2017). doi.org/10.1038/s41598-017-11058-7.
- [8] Duke, N.C. Oil spill impacts on mangroves: recommendations for operational planning and action based on a global review. *Mar. Poll. Bull.* **109**, 700–715 (2016).
- [9] Deepwater Horizon Natural Resource Damage Assessment Trustees. Deepwater Horizon oil spill: Final Programmatic Damage Assessment and Restoration Plan and Final Programmatic Environmental Impact Statement (2016).
- [10] Capuzzo, J. M. Biological effects of petroleum hydrocarbons: Assessments from experimental results. En: *Long-term environmental effects of offshore oil and gas development*. (Eds.) Boesch, D. F. y Rabalais, N.N. (Elsevier Applied Science, London, 1987) pp. 343-410.
- [11] Burns, K. A., Garrity, S. D. y Levings, S. C. How many years until mangrove ecosystems recover from catastrophic oil spills? *Mar. Poll. Bull.* **26**, 239-248 (1993).
- [12] Peterson, C. H., McDonald, L.L., Green, R.H. y Erickson, W.P. Sampling design begets conclusions: the statistical basis for detection of injury to and recovery of shoreline communities after the Exxon Valdez oil spill. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **210**, 255-283 (2001).
- [13] National Research Council. National Research Council (US) Committee on Oil in the Sea: Inputs, Fates, and Effects. (National Academies Press, Washington, 2003).
- [14] Barreto, M.B., LoMonaco, S., Díaz, R., Barreto-Pittol, E., López, L., Ruaro-Peralba, M. Soil organic carbon of mangrove forests (*Rhizophora* and *Avicennia*) of the Venezuelan Caribbean coast. *Org. Geochem.* **100**, 51-61 (2016).
- [15] Stewart-Sinclair, P.J., Purandare, J., Bayraktarov, E., Waltham, N., Reeves, S., Statton, J., Sinclair, E.A., Brown, B.M., Shribman, Z.I. y Lovelock, C.E. Blue restoration – Building Confidence and overcoming barriers. *Front. Mar. Sci.* **7**, 1-13 (2020).
- [16] Hamilton, S. E., Friess, D. A. Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. *Nature Clim. Change* **8**, 240-244 (2018).
- [17] Naciones Unidas (20 de enero de 2021) *La declaración universal de derechos humanos*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda>
- [18] Naciones Unidas (20 de enero de 2021) *La agenda para el desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/es/universal-declaration-human-rights>.