

Academia de Ciencias  
Físicas, Matemáticas y Naturales



**EFFECTO DE LOS DERRAMES DE  
HIDROCARBUROS EN EL  
AMBIENTE**

*Recomendaciones para su mitigación*



**ACADEMIA DE CIENCIAS**  
FÍSICAS, MATEMÁTICAS Y NATURALES

**Enero 2022**

**Efecto de los derrames de hidrocarburos en el ambiente**  
*Recomendaciones para su mitigación*



**EFFECTO DE LOS DERRAMES DE  
HIDROCARBUROS EN EL AMBIENTE**  
*Recomendaciones para su mitigación*

**Documentos de la Academia**

---

Enero 2022





© Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, 2022

**Cita Sugerida:**

Documentos de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Caracas, Venezuela.  
25 pag, 2022

Colección Documentos

Edición digital 2022

**Hecho el depósito de Ley**

Depósito legal: DC2022000124

ISBN: 978-980-6195-76-9

**Coordinación de edición:**

Deanna Marcano

**Diseño de carátula:**

María Alejandra Ramírez

**Corrección de estilo:**

Samantha Ruggiero

**Diagramación y diseño gráfico:**

María Alejandra Ramírez

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en un sistema de recuperación, o transmitida, en cualquier forma o por cualquier medio, sin la previa autorización escrita del autor y de la Academia.

***Dra. María Beatriz Barreto***

UCV, Facultad de Ciencias, Instituto de Ecología y Zoología Tropical .  
[ecologiaucv@gmail.com](mailto:ecologiaucv@gmail.com).

***Dra. Sandra Giner***

UCV, Facultad de Ciencias, Instituto de Ecología y Zoología Tropical.  
[sandrabginer@gmail.com](mailto:sandrabginer@gmail.com).

***MSc. Miguel Lentino***

Director científico de la Fundación William H. Phelps.  
[lentino.miguel@gmail.com](mailto:lentino.miguel@gmail.com).

***Dra. Carmen Infante***

UCV, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra.  
[carmeninfante66@gmail.com](mailto:carmeninfante66@gmail.com).

***MSc. Raúl Pulido***

Coordinador de Relaciones Interinstitucionales. Instituto Municipal Ambiente. Chacao. Alcaldía del Municipio Chacao.

***MSc. Alfonzo Arrocha***

Consultor independiente de Asuntos Ambientales.  
[pulidorq@gmail.com](mailto:pulidorq@gmail.com) [comarrochaa@gmail.com](mailto:comarrochaa@gmail.com).

***Dr. Jorge Rodríguez Grau***

Director general en OIKUS Technologies, LC. Universidad del Norte de Texas.  
[jrgrau2000@gmail.com](mailto:jrgrau2000@gmail.com).

***Dra. Liliana López***

Individuo de Número de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, sillón XXV, UCV, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra.  
[lililopezucvgo@gmail.com](mailto:lililopezucvgo@gmail.com) (coordinadora).

<b>Presentación</b>	<a href="#"><u>VI</u></a>
1. Introducción	<a href="#"><u>1</u></a>
2. Los derrames en Venezuela 2020-2021	<a href="#"><u>2</u></a>
3. Prevención y mantenimiento	<a href="#"><u>5</u></a>
3.1 Diseño e implementación de los sistemas de gestión integrados para la prevención de riesgos de derrames de hidrocarburos y accidentes industriales similares	<a href="#"><u>5</u></a>
3.2 Sobre el potencial carácter regulatorio de los SGI-SSA	<a href="#"><u>6</u></a>
3.3 Medidas preventivas para el control de derrames de hidrocarburos en instalaciones petroleras: plan de contingencia	<a href="#"><u>7</u></a>
3.3.1 Recomendaciones para revisión y actualización de medidas preventivas para control de derrames	<a href="#"><u>7</u></a>
3.4 Plan Nacional de Contingencia (PNC) contra derrames de hidrocarburos en agua	<a href="#"><u>8</u></a>
3.4.1 Recomendaciones para revisión y actualización del PNC en los siguientes rubros	<a href="#"><u>10</u></a>
4. Impacto en ecosistemas	<a href="#"><u>11</u></a>
4.1 Impactos sobre los ecosistemas terrestres, toxicidad, remediación y restauración	<a href="#"><u>11</u></a>
4.2 Impactos sobre los ecosistemas marino-costeros	<a href="#"><u>14</u></a>
4.3 Impacto de los derrames petroleros sobre las aves marino-costeras	<a href="#"><u>16</u></a>
4.4 Áreas protegidas en las zonas costeras	<a href="#"><u>18</u></a>
5. Evaluación y recuperación	<a href="#"><u>18</u></a>
5.1 Evaluación de los derrames de hidrocarburos y su efecto en ambientes marinos y terrestres	<a href="#"><u>18</u></a>
6. Recomendaciones	<a href="#"><u>20</u></a>
<b>Referencias</b>	<a href="#"><u>21</u></a>

Debido a la alta incidencia de derrames de hidrocarburos que han ocurrido en los dos últimos años (2020-2021) en Venezuela, tanto en ambientes terrestres como en marino-costeros, la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, como institución asesora y con competencia en aspectos ambientales, presenta este documento para exponer los daños causados por los derrames de hidrocarburos en la naturaleza y ofrecer recomendaciones para su mitigación. La Academia ha reunido para ello a un grupo de expertos en contaminación por hidrocarburos, quienes han utilizado todos sus conocimientos y experiencias para realizar el presente análisis en un escenario de escasa información oficial disponible.

Esperamos que este material sea de utilidad para las instituciones encargadas de velar para la preservación del ambiente y para llamar la atención de la principal empresa petrolera del país en cuanto a la prevención y mitigación de este tipo de contaminación. En general, se debe contar siempre con especialistas de distintas disciplinas -ambientales, ingenieriles, especialistas en la mitigación de riesgos, entre otros- para enfrentar y solventar los problemas derivados a corto y largo plazo por los derrames. Es necesario que se entienda que la aplicación del conocimiento y la tecnología son fundamentales para disminuir el riesgo de desastres ecológicos.

# Efecto de los derrames de hidrocarburos en el ambiente. Recomendaciones para su mitigación

---

## 1. Introducción

En países cuya industria petrolera es importante para su economía, la ocurrencia de derrames de hidrocarburos de distinta magnitud es un riesgo asociado a esta actividad. Los derrames tienen efectos negativos en los ecosistemas al alterar sus componentes bióticos y abióticos, su funcionamiento y detrimento de los servicios ecosistémicos que proporcionan a la sociedad. Por otra parte, en las geósferas externas, tienen efecto en la litósfera e hidrósfera a través de su impacto en suelos, sedimentos y en ambientes marinos, fluviales y lacustres [1]. Esta contaminación causada por los derrames produce daños al ambiente y a la salud humana [2], con consecuencias negativas desde el punto de vista económico. El efecto puede ser de mayor impacto cuando ocurre en zonas costeras donde existe una alta actividad turística y/o pesquera, con las consabidas consecuencias en las especies marinas al incorporar contaminantes en las redes alimentarias [3].

Mitigar o disminuir los derrames de hidrocarburos es competencia, en primer lugar, de la industria petrolera, en cada uno de los sistemas de trabajo dentro de la cadena de producción (exploración, producción, transporte, refinación, almacenamiento, distribución) y de la contaminación por los derivados producidos, tanto desechos industriales como domésticos, que ocurren generalmente, en magnitud y tiempo muy variables. La infraestructura y mantenimiento de las instalaciones, la capacitación del personal, un plan de contingencia contra derrames y sustancias nocivas, tanto a nivel nacional como local o internacional, son acciones imprescindibles. Por otra parte, la industria debe mantenerse acorde con los estándares de las legislaciones ambientales vigentes en cada país, a fin de estandarizar procesos que respeten las normas de seguridad mundiales y desarrollar los criterios propios de remediación o limpieza de suelos, sedimentos y aguas que no causen riesgo a la salud humana o al ambiente.

En los últimos años, con una mayor frecuencia en el 2020 y 2021, han ocurrido una serie de derrames en Venezuela, tanto en ambientes marino costeros como en ambientes terrestres. Sin embargo, no hay información en cuanto a los estudios que se realizan para conocer su efecto a mediano y largo plazo en los ecosistemas y sus componentes.



Con el objetivo de contribuir a la solución de problemas relacionados a este tipo de daño ambiental, la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales ha reunido un grupo de expertos para discutir y analizar esta grave situación. En este documento se presentan aspectos relacionados al efecto de los derrames de hidrocarburos en el ambiente y recomendaciones a seguir para mitigar la contaminación. Esperamos que este material sea de utilidad para las instituciones encargadas de velar para que no se presenten este tipo de daños en el ambiente y de cómo mitigarlos, en caso de que puedan ocurrir.

A continuación, se expone un conjunto de aspectos relacionados a la prevención y mantenimiento con miras a evitar, en lo posible, los derrames de hidrocarburos. Comenzando por el diseño e implementación de los sistemas de gestión integrados, un tema para la prevención y mitigación de los derrames, posteriormente se trata lo concerniente al efecto de los derrames de hidrocarburos en el ambiente y las recomendaciones a seguir para mitigar la contaminación, junto con algunas ideas de cómo evaluar su efecto en ambientes marinos y terrestres a corto y largo plazo. Los temas aquí tratados pueden ser útiles para la prevención de riesgos de derrames de hidrocarburos y similares y paliar los riesgos de accidentes industriales. Aunque no se cubren todos los ecosistemas donde los derrames de hidrocarburos afectan a las especies, los suelos y sedimentos, así como otros tipos de humedales, praderas de fanerogamas, arrecifes de coral y los peces de ambientes marino-costeros, y en los ecosistemas terrestres, el ámbito de los ambientes fluviales y las especies asociadas a estos (peces, aves, mamíferos, entre otros), este documento pretende transmitir el daño ecológico que se producen a corto y largo plazo, y que, lamentablemente, ocurren de manera frecuente en nuestro país. Un aspecto necesario junto a estos estudios es el seguimiento de los derrames de petróleo mediante imágenes de satélite, tanto en tierra y costa como en costa afuera. Al respecto se sugiere ver los trabajos de Eduardo Klein sobre este tema [\[4, 5\]](#).

## **2. Los derrames en Venezuela 2020-2021**

La paralización de muchas de las instalaciones de la industria petrolera, en sus actividades operacionales desde la exploración hasta la comercialización de crudo y sus derivados, ha llevado a una disminución considerable del ingreso nacional. Aunado a esto, han ocurrido una gran cantidad de derrames que, obviando los procedimientos exigidos de mantenimiento, re arranque y operaciones, han sido poco o no atendidos.

El Plan de Contingencia para el Combate de Derrames de Hidrocarburos es un instrumento preventivo clave para la actuación y respuesta rápida en

la contención, combate, recolección del derrame y técnicas de limpieza y remediación ambiental. Pero, para que el plan funcione, se debe disponer de una organización, debidamente estructurada, con roles y responsabilidades claramente establecidos, personal técnico y táctico equipado y entrenado en los detalles de los procedimientos operacionales. Este plan debe ser el cuerpo de batalla de PDVSA.

En vista de esta situación y del aumento del número de derrames de hidrocarburos y su volumetría, especialmente desde el año 2020, un grupo de expertos convocados y coordinados por la Academia de Ciencias, Físicas, Matemáticas y Naturales presenta este documento, con el fin de contribuir con el estudio de esta problemática y apoyar a las instituciones y organizaciones encargadas de evitar y/o mitigar las fugas, filtraciones y derrames en instalaciones, procesos y equipos de la industria petrolera y, en el caso de que estos ocurran, accedan a la aplicación oportuna del Plan de Contingencia.

**La Tabla 1** presenta los derrames de mayor impacto ocurridos, teniendo en cuenta la escasa (o ninguna) información oficial de los eventos como tampoco de los planes de contingencia implementados para la contención y recolección, por parte de los institutos y organizaciones responsables. Es sabido que solo en algunos casos se instalaron barreras y mantas oleofílicas y se realizaron labores de limpieza manual de las playas (sin uso de maquinarias) por parte del Ministerio del Ecosocialismo, PDVSA, Inparques y ONGs, empresarios y prestadores de servicios. Nótese que el plan de contingencias establecido por PDVSA en el año 1986, que promueve el uso de embarcaciones para el despliegue de barreras de contención y uso de desnatadores destinados a la recolección del hidrocarburo derramado, entre otras acciones, no se ha aplicado en una forma eficiente en los últimos 20 años.

**Tabla 1.** Información sobre derrames en Venezuela

<i>Localización del derrame</i>	<i>Volumen derramado estimado (barriles)</i>	<i>Fecha</i>	<i>Área afectada</i>
Encallamiento del buque tanquero Nissos Amorgos saliendo del estrecho de Maracaibo hacia el Golfo de Venezuela [6].	25.400	28/02/1997	Costa noroeste de la isla de San Carlos y balneario de Caimare Chico.
Rotura de oleoducto en la Estación Jusepín de PDVSA en el Estado Monagas [6].	60.000	04/02/2012	100 km del río Guarapiche. Cierre de la planta de potabilización que surte a la ciudad de Maturín durante dos meses.

Rotura de oleoducto de Petro Anzoátegui en Santa Clara, Estado Anzoátegui [6].	25.000	01/11/2016	25 km de los ríos Arabí y Pao y plantaciones de las inmediaciones.
Rearranque de la Unidad de Craqueo Catalítico (FCC) de la Refinería El Palito (REP), en el estado Carabobo. La versión oficial responsabilizaba a un buque carguero que había zarpado de La Guaira [6,7,8,9,10].	26.730	Del 20 al 22/07/2020 (primer derrame)	Golfo Triste, línea de costas entre Boca de Aroa y Tucacas, y Parque Nacional Morrocoy, afectación según imágenes satelitales. Derrame generado en la REP. Impacto en la pesca y actividad turística.
Rearranque de la Unidad de Craqueo Catalítico (FCC) de la Refinería El Palito (REP), en el estado Carabobo [7,8,9].	N.D.	Del 08 al 12/08/2020 (segundo derrame)	Las imágenes del 10 al 12 de agosto evidencian una mancha en Golfo Triste y acumulación de lo que pudiese ser HC en la zona marina adyacente a la REP. Estas manchas comparadas con la primera (julio, 2020) eran mucho más heterogéneas y dispersas, con dirección hacia las playas de Boca de Aroa y Tucacas, sin afectar el Parque Nacional Morrocoy.
Rotura/fisura de oleoducto en la ciudad de Cabi-mas, en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo en el estado Zulia. La fuga de crudo se extiende por la avenida Intercomunal y la carretera K de Cabi-mas, a la altura del sector Las Cinco Bocas, según reportes de las comunidades afectadas. Trabajadores de PDVSA-Petro Cabimas se mantienen en la zona para atender la situación [11,12].	N.D.	02/09/2020 y otro del 18 al 24/09/2020	Este derrame está en plena vía pública entre el Hospital El Rosario y la sede del Colegio de Médicos de esa ciudad. Al menos 500 familias de la zona denunciaron a través de las redes sociales que el derrame no solo afecta las calles de ese sector, sino también algunas viviendas.
Fuga de petróleo en la línea uno Ulé-Amuay y en el gasoducto sublacustre del mismo corredor, tuberías Zulia-Falcón hasta el Complejo Refinador de Paraguaná (CRP) a la altura del Golfete de Coro en el estado Falcón. (Información de PDVSA) [9,13]	N.D.	14/09/2020 (se estima que dio inicio hace más de un mes)	Al 17 de septiembre se podía apreciar, a través de imágenes satelitales, una mancha de petróleo de al menos 8 km de extensión en el Golfete de Coro. Con afectación a las costas y a la pesca en río Seco, Arajó y Maraguay.

Refinería El Palito (REP), en el estado Carabobo. De acuerdo a testimonios de los trabajadores el derrame se trataba de fueloil [7,8,9].	N.D.	08/10/2020 (tercer derrame)	Se registró un nuevo derrame petrolero en las playas cercanas a la Refinería El Palito. Impacto en Golfo Triste.
Desborde de una de las lagunas de separación de hidrocarburos de la Refinería de Amuay, en el Complejo Refinador de Paraguaná (CRP) en el estado Falcón [9,11].	N.D.	15/10/2020	Golfo de Venezuela, para el 22 de octubre ya se había extendido unos 25 km, según las imágenes satelitales.
Lago de Maracaibo en la Costa Occidental a la altura de Bajo Grande en el estado Zulia [12,13].	N.D.	02/11/2020	Los pescadores del municipio San Francisco calcularon que había más de 15 km de derrames afectando a las costas del lago. Según los testimonios, la parroquia El Bajo es una de las más afectadas, siendo las zonas y comunidades aledañas a la Refinería de Bajo Grande las más impactadas. El petróleo cubre completamente la arena, rocas, plantas y al aglutinarse en la costa mata las especies de la zona.
Kilómetro 90. Municipio Aragua, Anzoátegui [14].	N.D.	16/06/2021	Crudo tipo Mery de 16 °API que fluyó por una quebrada con dirección a la localidad de Aragua de Barcelona.
Refinería de Cardón en el CRP, fisura de la base/fondo del tanque de almacenamiento de gasolina n.º 18 [6].	3.600.000 litros (aprox. 22.641 bbls)*	23/06/2021	Costas de Punta Cardón en la Península de Paraguaná, Falcón.

N.D.: Información no disponible.

(\*) Actualizado con el derrame de gasolina del 23 de junio del 2021.

### 3. Prevención y mantenimiento

#### 3.1 Diseño e implementación de los sistemas de gestión integrados para la prevención de riesgos de derrames de hidrocarburos y accidentes industriales similares

En el historial de desastres petroleros [15], es sabido que el diseño y consolidación de un Sistema de Gestión Integrado (SGI) en Salud, Seguridad y Ambiente (SSA) es un instrumento para dotar de herramientas de gestión a quienes lideran una típica operación petrolera, guiando la gestión a resultados positivos y sustentables. Los elementos que rigen este sistema son, entre otros:

1. El cumplimiento de la ley y regulaciones pertinentes, 2. la gestión de los

riesgos, 3. la investigación de todo accidente o incidente. Se estructuran en cuatro etapas: 1) la planificación, que incluye tanto el diseño como el inicio del desarrollo del sistema; 2) la ejecución, que integra la implementación del diseño (la fase de operaciones); 3) la verificación, durante toda la actividad operacional; 4) la corrección de los desvíos detectados. En consecuencia, surge la necesidad de actuar de acuerdo a las medidas preventivas y de mitigación seleccionadas. En otras palabras, la emergencia debe atacarse con respuesta inmediata a la contingencia, que cuente con el entrenamiento y la concientización del personal y la sociedad y la investigación de los accidentes/incidentes actuales y previos. Esto conlleva al diseño de acciones preventivas a futuros incidentes.

La gestión de riesgos debe ocurrir previo al posible incidente. Se comienza con la identificación del potencial peligro y la estimación del riesgo operacional, es decir, la probabilidad que ocurra el incidente y las consecuencias que se derivan. Le siguen las medidas de mitigación (o eliminación del daño) que incluyen algunas obras de tipo ingenieril o administrativo contemplado en la elaboración de un procedimiento operacional. Por supuesto, la posible etapa de ejecución debe estar sujeta a revisión de las acciones puestas en marcha para evitar nuevas situaciones de riesgos que podrían ser de mayor severidad que el problema inicialmente atacado.

### **3.2 Sobre el potencial carácter regulatorio de los SGI-SSA**

En general, la implementación de los SGI-SSA es de uso común en las empresas del sector del petróleo y el gas, demostrando su gran utilidad como sistemas vinculados a normas de carácter regulatorio. Uno de los ejemplos de éxito fue su ejecución en las operaciones petroleras del Golfo de México en los Estados Unidos de América [16], para rectificar los problemas operacionales que ocasionó el famoso accidente del Deepwater Horizon, el 21 de abril del 2010 [17]. Este evento produjo la muerte de 11 personas y 17 heridos, por lo que es considerado como el mayor derrame de petróleo de la historia en aguas marinas territoriales de EE. UU. La experiencia acumulada da cuenta de mejoras operacionales en materia de seguridad y ambiente, según datos reportados por el Gobierno de ese país entre el 2010 y 2019 [18]. Entre estas mejoras resaltan las siguientes:

- a. La disminución del 48 % en el promedio de explosiones en las instalaciones monitoreadas
- b. La reducción del 75 % en el promedio del número de accidentes fatales
- c. La disminución del 64 % en el promedio de registro de derrames.

Pero el sistema SGI-SSA para operaciones de la industria de los hidrocarburos,

diseñado a partir del ejemplo de modelos exitosos, debe seguir las pautas de un sistema de gestión integrado de carácter regulatorio y estar asociado a algún ente gubernamental para su control, considerando los siguientes parámetros:

- a. Una cultura regulatoria de respeto a la vida, el ambiente y sus ecosistemas.
- b. Un criterio de razonable flexibilidad y, a la vez, evitar “complacencia o complicidad” y contrarrestar los posibles “embudos” burocráticos.
- c. Un sistema privado de consultoría.
- d. Debe considerar una metodología de cualificación de proveedores y un registro certificable y estandarización de la calidad de servicios de consultoría.

### **3.3 Medidas preventivas para el control de derrames de hidrocarburos en instalaciones petroleras: plan de contingencia**

Es bien conocida la pérdida económica de la nación que ha resultado del decaimiento de Petróleos de Venezuela y, aunado a esto, el aumento del impacto social y ambiental por la ocurrencia de incendios, explosiones, vertidos, emisiones y fugas/filtraciones/derrames de hidrocarburos; que, por su recurrencia y volumen, han dejado un saldo ambiental y social destructivo, sin precedentes.

Se hace obligatorio realizar un inventario, revisión y análisis de riesgo de las instalaciones que vayan a reiniciar su operación, minimizando el impacto ambiental y social, priorizando las que representan un alto/medio riesgo por sus características operacionales (presión, temperatura, inflamabilidad, corrosión, volatilidad) y por su proximidad a centros poblados, ríos y áreas de sensibilidad ambiental en mar y tierra. Llegamos, entonces, a las siguientes recomendaciones con base en buenas prácticas operacionales y lecciones aprendidas existentes en la industria.

#### **3.3.1 Recomendaciones para revisión y actualización de medidas preventivas para control de derrames**

Están disponibles, por ejemplo, en los estándares y prácticas de la API (más de 700 que mejoran la seguridad operativa, ambiental y de sostenibilidad) [19], en las guías del IFC/Banco Mundial [20], que incluyen análisis de riesgo para prevenir la ocurrencia de derrames en las instalaciones y los procedimientos para control rápido del derrame en la fuente que los genera. De ellas hay que revisar y actualizar:

- a) La condición operacional de los sistemas de protección contra la corrosión.

- b) La condición operacional de los sistemas para detección de fugas, incluyendo instalaciones remotas y válvulas de parada para permitir un aislamiento rápido.
- c) El funcionamiento automático de un *Sistema de Parada de Emergencia*.
- d) El desarrollo del programa de formación técnica y operacional del personal.
- e) Los sistemas de contención secundaria, separadores y tanques desnatadores.
- f) El programa de sustitución de válvulas manuales en los oleoductos por válvulas automatizadas.
- g) Los sistemas de prevención de reventones, *Blowout Prevention System* (BOP), durante la fase de perforación y válvulas de control durante la producción.
- h) Los sistemas de protección de rayos (pararrayos) en las áreas operacionales.
- i) Los análisis de riesgos de las tuberías (oleoductos, poliductos) que pasan por centros poblados.

### **3.4 Plan Nacional de Contingencia (PNC) contra derrames de hidrocarburos en aguas**

El PNC Contra Derrames de Petróleo en Aguas fue aprobado por decreto presidencial el 09 de julio de 1986 [21] y comprendía aspectos como análisis de riesgos potenciales y sus causas, el comportamiento de los derrames, características ambientales, recursos, asesorías y organización a nivel nacional, regional y local con planes específicos de formación de personal y planes complementarios: a) bilaterales: uso conjunto de los recursos, con empresas y países vecinos y b) plan internacional: para respuesta rápida y efectiva. El plan fue aplicado por PDVSA no solo a lo largo de la costa norte de Venezuela, sino también en las cuencas de los ríos Arauca y Catatumbo. La experiencia recabada permitió la revisión y actualización del plan hasta finales de los 90.

La normativa legal que lo sustenta, revisada en el año 2014, incluye la Ley Orgánica de los Espacios Acuáticos (LOEA), que establece como autoridad acuática al INEA (Instituto Nacional de los Espacios Acuáticos) [22] y la Ley de Marinas y Actividades Conexas (LMAC), que regula el ejercicio de la autoridad acuática [23].

En la LOEA, Artículo 74 numeral 27, se establece que:

*(...) el INEA debe mantener actualizados los planes de contingencia en materia ambiental, tanto nacionales como internacionales, en especial el Plan de Contingencia*

*Contra Derrames de Hidrocarburos; y que en los mismos se establecerán los mecanismos de coordinación. La LMAC, indica en el Artículo. 89 que, El INEA al tener conocimiento de cualquier accidente en los espacios acuáticos, deberá conformar una Junta Investigadora de Accidentes, la cual sustanciará un expediente de todo lo actuado. En el Artículo 94: El Ejecutivo Nacional a través del INEA establecerá las políticas y planes nacionales de contingencia y propiciará un sistema nacional de prevención, para la preparación y lucha contra derrames de hidrocarburos u otras sustancias contaminantes con el apoyo de las instituciones públicas y privadas bajo el principio de cooperación con otros Estados, en apego a los convenios, acuerdos internacionales y las leyes nacionales que rigen la materia. En su Artículo 95: Las refinerías de petróleo, las factorías químicas y petroquímicas, las instalaciones para el abastecimiento de combustibles líquidos que posean terminales de carga o descarga de hidrocarburos en zonas portuarias y los astilleros e instalaciones de reparación naval deberán disponer, en las cercanías de los terminales o muelles, de medios, sistemas y procedimientos para el tratamiento y eliminación de residuos petrolíferos, químicos, de agua de sentinas, limpieza de aceites y grasas y de otros productos contaminantes, así como, de los medios necesarios para prevenir y combatir los derrames.*

Sin embargo, a la fecha no se tiene información oficial de parte del INEA sobre el proceso de revisión y actualización del PNC, así como tampoco de su actuación en los derrames ocurridos en los años 2020 y 2021. Además, en los últimos 20 años, el PNC no ha sido aplicado con efectividad o simplemente no se ha aplicado. En la **Tabla 2** se muestran las regiones operacionales/áreas geográficas en las cuales está dividido el país de acuerdo con el PNC.

**Tabla 2.** Regiones (7) operacionales del Plan Nacional de Contingencia (PNC) de PDVSA.

Zona	Área Geográfica	Área operacional, instalación responsable
I	Lago de Maracaibo	EyP Occidente - Tía Juana
II	Golfo de Venezuela/Península de Paraguaná, hasta San José de la Costa	Centro Refinador Paraguaná (CRP)
III	Costa Norte de Venezuela, desde San José de la Costa hasta Cabo Codera	Refinería El Palito (REP)
IV	Costa Norte de Venezuela, desde Cabo Codera hasta Carúpano	Refinería Puerto La Cruz (RPLC)
V	Carúpano hasta frontera con Guyana, incluyendo río San Juan y Delta del Orinoco hasta Puerto Ordaz	EyP Oriente - Maturín
VI	Río Arauca desde El Nula hasta Elorza	EyP Barinas - División Centro Sur
VII	Cuenca del río Catatumbo	EyP Sur - Casigua

EyP: explotación y producción



### **3.4.1 Recomendaciones para revisión y actualización del PNC en los siguientes rubros:**

- a) La estructura del PNC y su operatividad en los tres niveles de actuación y respuesta: nacional, regional y local: gerencial, supervisorio y operacional, así como la activación y respuesta de los niveles del plan en función del volumen derramado y de la capacidad en cada nivel para su atención: nivel 1 (local: derrames menores), nivel 2 (regional: derrames medianos) y nivel 3 (nacional: derrames mayores).
- b) Los roles y responsabilidades de los líderes y personal clave, incluyendo actualización del directorio y los planes de formación gerencial, supervisorio y operacional del personal (PDVSA, otras instituciones y contratistas).
- c) El programa de ejecución de simulacros operacionales, de escritorio y campo (con el despliegue y operación de los equipos) para los tres niveles de respuesta, que son un aspecto clave para la toma de decisiones que permitan una actuación y respuesta rápida.
- d) La capacidad instalada de atención y repuesta a derrames en función de los análisis de riesgo y estadísticas (número de derrames y volumen derramado).
- e) La organización regional del PNC para evaluar la inclusión de una nueva zona, zona VIII, correspondiente a la Faja Petrolífera del Orinoco (FPO) que considere la cuenca hidrográfica al norte del río Orinoco, desde el río Arauca en Elorza y su descarga al río Orinoco y de allí hasta la ciudad de Puerto Ordaz, la cual incluirá ríos afluentes de Apure, Guárico y Anzoátegui.
- f) El inventario de materiales y equipos y las condiciones de almacenamiento y operación de los mismos en cada región, área operacional: EEMM (Empresas Mixtas) y convenios operativos.
- g) La información del manual técnico y mapas de sensibilidad que incluyen características fisicoquímicas y toxicidad de los hidrocarburos derramados: EXP/P/M/L (Extrapesado/Pesado/Mediano/Liviano) y sus productos, así como características de los factores bióticos y abióticos de los diferentes ecosistemas, incluyendo aspectos de economía local y poblacional.
- h) Los convenios de ayuda mutua entre áreas operacionales de PDVSA, EEMM y convenios operativos en los complejos y/o áreas geográficas próximas. Por ejemplo, el plan de contingencia del Complejo Industrial

José Antonio Anzoátegui (Complejo José: CIJAA) coordinado por PDVSA, con apoyo de las empresas operadoras: mejoradores y terminal de almacenamiento y embarque.

- i) El registro y estadística de todos los derrames, por región, área operacional, EEMM y convenio operacional, utilizando un formulario homologado para investigación de accidentes.
- j) La incorporación en el PNC de los planes y programas de conservación de la biodiversidad en función de los resultados de estudios de investigación realizados por las universidades nacionales y otras instituciones en diferentes ecosistemas marino costero y terrestre.
- k) El programa de inspección y vigilancia aérea/marítima/terrestre para detección temprana de fugas y derrames.

## 4. Impacto en ecosistemas

### 4.1 Impactos sobre los ecosistemas terrestres, toxicidad, remediación y restauración

Los derrames propagan su efecto negativo aún después de haber sido recogido el material derramado con la aplicación de un plan de contingencia. Las secuelas son aún peores si el material derramado alcanza espacios de actividad agrícola y pecuaria. El impacto se extiende al cauce de los ríos, morichales y sabanas afectando no solo la parte aérea de las plantas, sino las raíces que puede conducir a la muerte de la vegetación. Existen una serie de preguntas sin respuestas conocidas acerca de los derrames de hidrocarburos y su impacto en los ecosistemas que indicamos en esta parte del texto.

En general, cualquiera que sea el ecosistema terrestre, la respuesta de la planta varía dependiendo de la edad, la especie y del tipo y tiempo de exposición al hidrocarburo. En el suelo, la densidad aparente, el drenaje, la escorrentía, la estructura y la porosidad se alteran, al igual que la biodiversidad de la micro y macrobiota del sitio [24]. En este contexto, es propicio preguntar:

*¿Dado la potencial afectación de los morichales, y sabanas venezolanas por los derrames de hidrocarburos, existe una documentación técnica de los resultados obtenidos del contenido de hidrocarburos en suelos y sedimentos en estos ecosistemas en los últimos años? ¿Existe una recopilación detallada de los procedimientos usados en derrames de hidrocarburos y su conveniencia en miras de una recuperación de los ecosistemas afectados? ¿Conociendo que los morichales son quizás los ecosistemas más vulnerables, se ha levantado información sobre su funcionamiento y cómo son afectados por los derrames de crudo? ¿Se han realizado caracterizaciones físico-químicas de las aguas y de la macrobiota asociada? ¿Se han establecido los pasos a seguir para la rehabilitación del ecosistema y sus consecuentes servicios ecosistémicos?*

Un aspecto clave para conocer el efecto y destino de los componentes tóxicos de cualquier origen a los ecosistemas dulceacuícolas y terrestres son los bioensayos de ecotoxicidad, que permiten realizar mediciones experimentales del contaminante en sistemas biológicos, estableciendo relaciones de concentración y respuesta bajo condiciones controladas de laboratorio. La toxicidad o capacidad de una sustancia para ejercer un efecto nocivo sobre un organismo depende de las propiedades químicas del compuesto, de su concentración, según sea la duración y frecuencia de la exposición al tóxico, y su relación con el ciclo de vida del organismo [25].

Los crudos con mayor contenido de aromáticos o de mayor gravedad API resultan más tóxicos que los crudos pesados y extrapesados (i.e. baja gravedad API). Si bien el petróleo crudo derramado posee un indiscutible potencial de toxicidad, mucho mayor peligro representa la presencia de productos derivados de los procesos de refinación.

En un derrame de petróleo crudo recién ocurrido, la estructura química de sus fracciones livianas y medianas se encuentran en rango de carbonos de  $C_6$ - $C_{10}$  (F1) y  $C_{11}$ - $C_{28}$  (F2). Estas fracciones son las más nocivas, pero también son las que mayormente sufren rápidos procesos de degradación por efecto climático (i.e. exposición al sol o fotooxidación), volatilización, biodegradación (i.e. por acción de microorganismos) u otros procesos.

En los productos refinados, las cadenas de carbonos antes citadas corresponden a los rangos típicamente encontrados en las gasolinas, querosenes y productos similares, y se encuentran en concentraciones considerablemente mayores que en el petróleo crudo. Así, los procesos degradadores no pueden actuar con la misma celeridad resultando en una mayor toxicidad y daños para la salud y el ambiente.

En los derrames de hidrocarburos intemperizados o de “vieja data”, donde la fotooxidación, volatilización y biodegradación han actuado a lo largo del tiempo, la toxicidad medida utilizando diferentes bioensayos de la cadena trófica resulta baja o nula. Sin embargo, no basta evaluar la toxicidad del hidrocarburo solamente y con ello suponer que el efecto tóxico sobre el suelo donde ha ocurrido el derrame será el mismo que el del hidrocarburo original, al inicio del derrame, puesto que la toxicidad del hidrocarburo es el resultado de una interacción compleja y variable entre las características propias del crudo, que cambiará con el tiempo, y su interacción con el suelo, también variable.

Así, por ejemplo, una misma cantidad de crudo y de igual gravedad API puede causar un problema grave en un suelo arenoso y muy poco en uno arcilloso, ya que, la adsorción del hidrocarburo en los suelos de textura fina (suelo arcilloso)

conlleva a una baja dispersión y, por ende, resulta menos tóxico [26].

Sumado a la importancia de conducir bioensayos para estimar la toxicidad de una mezcla de hidrocarburos, es también imprescindible hacer un acucioso seguimiento a los cambios químicos que se van produciendo en su matriz, mediante métodos analíticos que permitan discernir con mejor precisión, las concentraciones de las diferentes fracciones, a medida que avanza la degradación de sus componentes (limpieza del área afectada). Esto es imprescindible pues permite diferenciar, adecuadamente, entre un suelo remediado y uno de aparente inocuidad, pero con daños y peligrosidad aún persistentes. Es por ello que surgen las siguientes interrogantes:

*¿En la industria petrolera se están realizando ensayos de toxicidad, para distintas clases de suelo, con diferentes tipos y concentración de hidrocarburos para garantizar que, aun cuando se cumplan con los criterios de remediación en un suelo o sedimento, no exista ecotoxicidad? ¿Se han cuantificado las fracciones de los hidrocarburos como F1 y F2 tanto en suelos como sedimentos, así como de los hidrocarburos aromáticos policíclicos?*

En el caso venezolano, el Decreto N.º 2635 [27], en su artículo 50, señala que la mezcla suelo-desecho debe cumplir con una serie de parámetros, entre los cuales el contenido de aceites y grasas debe ser  $\leq 1$  %, peso/peso. Esto significa que, después de ocurrido un derrame de hidrocarburo, se debe muestrear el suelo, analizar todos los parámetros del artículo 50 y, en el caso de que los aceites y grasas sean mayores al 1 % (10.000 mg/kg peso/peso), es necesario aplicar mecanismos de remediación.

Las tecnologías de remediación varían desde las fisicoquímicas hasta las biológicas y su selección es función de una serie de aspectos técnicos, ambientales y económicos, con criterios de recuperación del ecosistema [28]. Una de la más usada es la biorremediación con la activación de microorganismos que están en el suelo contaminado, mediante una adecuada estructuración, con agentes acondicionadores, adición de nitrógeno y fósforo, aireación y humedad, asegurando los controles adecuados.

Las acciones de remediación condicionan tanto la rehabilitación del ecosistema como la velocidad con la cual se recupera. Acciones como la quema de la vegetación, la remoción y/o enterramientos de los suelos superficiales afectados pueden terminar dañando aún más el ecosistema. Con estos conocimientos, es necesario responder a las siguientes interrogantes, ya sugeridas antes.

*¿Si en los derrames ocurridos en sabanas del oriente venezolano y otros ecosistemas terrestres en los últimos 2 años, se han aplicado tecnologías de remediación, cuáles y qué parámetros de medición y seguimiento se han*

*empleado para garantizar la remediación o cumplimiento de legislación ambiental y conocer el grado de rehabilitación o reconstrucción del ecosistema? ¿Tiene la industria el personal capacitado y actualizado en tecnologías de remediación, criterios para reconstrucción del ecosistema y conocimiento de las nuevas exigencias ambientales en estándares de limpieza de suelos y sedimentos?*

Es imprescindible la actualización de las leyes, decretos y otros reglamentos que indiquen los niveles permisibles de los hidrocarburos y sus fracciones, así como los valores de referencia de metales pesados presentes en los suelos, aguas y sedimentos. La exigencia de Acciones Correctivas Basadas en el Análisis de Riesgo (RBCA, por sus siglas en inglés) [29] es aplicada en muchos países latinoamericanos con menos reservas petroleras que Venezuela. Se trata de un procedimiento que integra los aspectos de evaluación de sitio, selección del método de remediación y monitoreo, con las prácticas recomendadas para la evaluación de riesgos y exposición, de manera de obtener un proceso de toma de decisiones consistente para la protección de la salud humana y el ambiente.

Para que exista el riesgo tienen que recurrir conjuntamente una fuente, una vía de transporte y un receptor (humano o ecológico). La importancia del RBCA es que, sin aplicar niveles de limpieza establecidos de antemano de forma general, se pueden obtener criterios de remediación específicos sustentados en un riesgo aceptable, teniendo en cuenta los diferentes usos del suelo (actuales o futuros), de la población que esté ubicada o pueda ubicarse en el sitio en el futuro, de la geología, hidrografía y de la geografía específica del lugar. En consecuencia, existen cantidad de interrogantes, tales como:

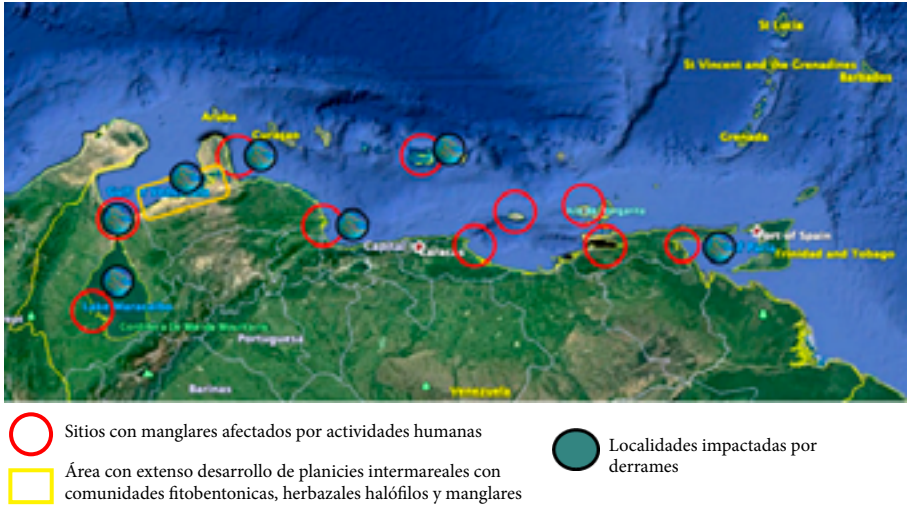
*¿Ha avanzado Venezuela después de 23 años de la promulgación del Decreto N.º 2635, en 1998, en criterios más seguros y sustentados en riesgo a la salud y al ambiente, por uso de suelo en sitios impactados por hidrocarburos? En la mayoría de los países latinoamericanos, se sustentan los criterios de limpieza, en función del uso de suelo. Así, si es de uso agrícola, las exigencias son mayores a uno de uso industrial. ¿Por qué Venezuela, siendo un país petrolero, no ha implantado la metodología RBCA?*

Estas y muchas más interrogantes deben ser atendidas por la industria petrolera en conjunto con la comunidad científica nacional.

#### **4.2 Impactos sobre los ecosistemas marino-costeros**

El funcionamiento de los ecosistemas estuarinos y marino-costeros responde a un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos interconectados [30]. Cuando los derrames suceden en la costa, se extienden por la acción de corrientes y mareas y alcanzan, además de los manglares, a las playas arenosas, los arrecifes, las macroalgas, las praderas de fanerógamas, las planicies intermareales y los herbazales halófilos [31], donde el agua es

vehículo de transporte de los de contaminantes, producto de la meteorización de los hidrocarburos [32]. Un ejemplo de la difusión de contaminantes ha sido el de los derrames cercanos al Lago de Maracaibo que, además de afectar los manglares de la zona, se extendieron a otros sectores de la costa venezolana y a las islas y archipiélagos vecinos (**Figura 1**).



**Figura 1.** Manglares en la costa e islas de Venezuela impactados por actividades humanas y derrames de hidrocarburos. Imagen modificada de Google Earth® [33].

En la zona costera, los derrames de hidrocarburos y el vertido de efluentes por la industria petrolera están sucediendo cada día con mayor frecuencia y 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 [33], desde macroinvertebrados hasta las comunidades microbianas, con la subsecuente disrupción de los procesos metabólicos dependientes de las relaciones planta-microbiota del suelo y consecuencias negativas en el funcionamiento del ecosistema (productividad primaria, relaciones nutricionales y descomposición). Por otra parte, la incorporación de hidrocarburos o derivados 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 en función de la distancia desde la fuente de los contaminantes [34].

Tanto los efectos directos causantes de la muerte de organismos 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 en experimentos de laboratorio [35] y en el campo [36, 37]. 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 influyen áreas extensas o tienen una escala de afectación a largo plazo [34]. La alta conectividad de los sistemas marino-costeros determina que los compuestos, una vez incorporados a los suelos orgánicos que caracterizan a los manglares [38], constituyen una fuente crónica y extendida que afectan a ecosistemas adyacentes.

### 4.3 Impacto de los derrames petroleros sobre las aves marino-costeras

Uno de las visiones más desoladoras en una zona costera es el daño de los derrames sobre las aves que hacen del lugar su hábitat.

A lo largo de la línea costera de Venezuela, de 3.800 km, existen 53 humedales que ocupan en total una superficie de 38.655,55 km<sup>2</sup>, equivalente al 4,19 % del total del territorio venezolano. Debido a esto, la costa de Venezuela se caracteriza por una alta diversidad de aves acuáticas, aproximadamente 115 especies, de las cuales 41 son aves marino-costeras [39,40]. Este grupo incluye aves pelágicas, aves costeras, aves vadeadoras -como las garzas, corocoras, gabanos y flamencos que buscan su alimento caminando en las orillas de playas, lagunas y manglares-, aves playeras -que se alimentan en aguas someras, en planos lodosos intermareales, manglares, playas arenosas y/o con sustratos arrecifales y en praderas de fanerógamas- y las aves de pantano -que habitan principalmente en manglares y herbazales inundables-. Entre estas aves se encuentran 68 especies migratorias y una especie endémica, además, considerada en peligro por BirdLife-IUCN, la polla costeña (*Rallus wetmorei*), cuya distribución es muy restringida a algunos manglares de la costa noroeste de Venezuela.

En las zonas costeras los principales hábitats utilizados por las aves marino-costeras como sitios de alimentación, anidación, descanso y/o como área de paso son las lagunas costeras, albuferas, salinas, planos lodosos intermareales, manglares, herbazales halófilos, playas arenosas y rocosas y ambientes pelágicos. Los manglares costeros y el cordón de islas frente a la costa de Venezuela son sitios preferidos de anidación [41], sede de las principales colonias reproductivas más importantes. Además, en Venezuela se encuentran las dos únicas colonias reproductivas de flamenco en el sur del Caribe, así como las colonias de tijeretas de mar, cotúas, pelícanos, corocoras, bobas y tiñosas.

Para las aves acuáticas migratorias, los humedales costeros a lo largo de toda la costa Caribe y Atlántica son sitios de parada e invernada de especies como el barraquete aliazul, el playero cabezón, el playero pico grueso, el caracolero y el playero pecho rufo [42, 43]. Los censos de aves acuáticas podrían servir para establecer tendencias poblacionales, fidelidad e importancia de los sitios costeros [44, 45, 46, 47], rutas y época de desplazamiento. Esta información es de gran utilidad para la identificación de las áreas claves de conservación de las aves acuáticas ante un derrame petrolero [48, 49, 50].

Las aves marinas, las aves acuáticas coloniales, las aves de los pantanos costeros y las aves playeras son particularmente susceptibles a los derrames de petróleo, debido al uso que hacen de las aguas abiertas donde el petróleo tiende a concentrarse en la superficie o a lo largo de las costas y los pantanos, en los que pueden depositarse grandes cantidades de petróleo [51].

Estos grupos de aves pueden ser afectados de diferentes formas y la tasa de contaminación dependerá de la variación en el uso de los microhábitats. En primer lugar, las manchas flotantes de hidrocarburo en mar abierto o cerca de la costa ocasionan que las aves terminen petroleadas -es decir, con el plumaje cubierto, en diferentes extensiones, y las plumas saturadas de aceite-, se enreden y pierdan las propiedades impermeabilizantes y aislantes del plumaje, con la consecuente reducción de su capacidad de vuelo y su capacidad para desplazarse en búsqueda del alimento [52]. Esta pérdida de las propiedades críticas del plumaje es considerada la principal causa de mortalidad de las aves marinas tras la contaminación por hidrocarburos [53]. Las especies buceadoras (pelícanos, bobas, chíparos, entre otros) son el principal grupo afectado ya que, al ingresar en la mancha de aceite para zambullirse, todo el plumaje queda petroleado. Las diferentes especies descansan sobre la superficie del mar o en la playa, y, cuando el derrame se aproxima a la costa, se deposita en las playas, manglares y planos intermareales así el impacto se extiende a las aves, como flamencos, garzas, corocoras y pollas, que hacen uso de estos ambientes.

La intoxicación por absorción de hidrocarburos puede ocurrir durante el acalamiento, pero también por el consumo de presas contaminadas. Entre las patologías ocasionadas en las aves por la ingesta de petróleo, en dosis no letales, se incluyen anemia, disminución de la absorción de nutrientes, alteración de la respuesta al estrés, disminución de la función inmunológica y resistencia a enfermedades, irritación gastrointestinal y hemorragia, respuestas inflamatorias, aumento de la tasa metabólica, deterioro reproductivo, crecimiento deprimido y disfunción osmorreguladora [51, 52]. La reducción de la capacidad para absorber nutrientes es, particularmente, muy grave para las especies migratorias, ya que, durante el proceso de migración, se realiza



un gran esfuerzo metabólico y, además, disminuye su capacidad para generar suficientes reservas de grasa que les permitan continuar la migración [51].

Desafortunadamente, los efectos de la contaminación por petróleo pueden persistir incluso mucho después de limpiar el derrame visible o dispersado. Las comunidades de invertebrados y peces, que han acumulado contaminantes en los tejidos, todavía están disponibles y son consumidas por las aves y otros animales silvestres y por humanos. El consumo de estos alimentos contaminados puede afectar la reproducción de las aves por reducción de la fertilidad, lo que disminuye su nivel poblacional.

#### **4.4 Áreas protegidas en las zonas costeras**

Se han identificado 24 áreas de importancia para la conservación de las aves (AICAS-BirdLife, Áreas Importantes para la Conservación de las Aves y la Biodiversidad) a lo largo de la costa e islas de Venezuela, ocupando una superficie de 1.485.232 ha (un 38,42 % de la superficie total de los humedales costeros de Venezuela). Diecinueve de estas AICAS también forman parte del sistema de áreas bajo régimen de administración especial (ABRAE) de Venezuela. Estas áreas comprenden 15 parques nacionales, cuatro refugios de fauna, dos reservas de fauna y un monumento natural. Salvo cinco especies de aves marinas, todas las demás especies de aves acuáticas han sido registradas en por lo menos una de estas AICAS, por lo que, en principio, la mayoría de las especies deberían estar protegidas.

Es urgente establecer una línea base actualizada de las poblaciones de aves marino-costeras en las costas e islas de Venezuela que comprenda ubicación, sitios de reproducción y de parada, dormideros y colonias, además del seguimiento continuo de sus poblaciones.

### **5. Evaluación y recuperación**

#### **5.1 Evaluación de los derrames de hidrocarburos y su efecto en ambientes marinos y terrestres**

Es clave conocer la composición química del crudo o material (producto, mezcla de crudo con otros desechos) derramado. Para ello es necesario la rápida captación de muestras para el análisis químico del material derramado y potenciales áreas a ser afectadas [3] y requiere de personal calificado en la captación de muestras del crudo derramado, y de aguas, suelos y sedimentos.

Aparte de la composición variable del crudo mismo, esta puede ser alterada rápidamente en el ambiente [54], por lo tanto, cabe preguntar:

1) *¿Cuál es el origen del derrame (líneas de flujo de producción, oleoductos,*

*desborde de fosas, tanques de almacenamiento, transporte en ambientes terrestres o marinos, entre otros)? 2) ¿Cuál es la susceptibilidad del material derramado a ser alterado en el ambiente? 3) ¿Qué sucede con los componentes más resistentes a ser alterados? 4) ¿Existe información sobre el tiempo de exposición-alteración del material derramado? 5) ¿Se pueden tomar muestras en el tiempo tanto en forma superficial como a profundidad para poder monitorear el destino y nivel de alteración del crudo derramado y su efecto sobre los ecosistemas? 6) Además, ¿es necesario determinar si los hidrocarburos llegan a la cadena trófica? 7) ¿Cuáles son las posibles fallas del plan de contingencia? 8) ¿Cuáles son las medidas o técnicas de remediación y rehabilitación del ecosistema, parámetros de medición, frecuencia y tiempo de evaluación?*

Los derrames marino-costeros comenzaron a ser noticia resaltante a partir de julio del año 2020 [6-14], con aquellos ocurridos en las costas de Falcón, pero la gran discrecionalidad con que fueron tratados no permitió el acceso de investigadores o personal en general especializado e interdisciplinario (biólogos, químicos, geoquímicos, ecólogos y otras disciplinas). Así que aquí queda abierta la siguiente pregunta: *¿conocemos el estado actual de los suelos, sedimentos y cuerpos de agua donde han ocurrido derrames de hidrocarburos, por lo menos en los dos últimos años?*

Por otra parte, existen derrames anteriores a estos eventos ocurridos en las costas de Falcón, de los cuales se sospecha que la fuente no estaba asociada a la industria petrolera nacional [55]; y, además, también hay evidencias de derrames de crudos venezolanos en costas de otros países, como el identificado en costas de Brasil, específicamente en Salvador de Bahía [56]. Estos casos también requieren de la atención nacional. En consecuencia, existe la necesidad de preguntar:

*Si la principal industria petrolera del país cuenta con personal preparado para atender este tipo de contingencia y con personal capacitado para llevar a cabo los análisis físicos y químicos necesarios e interpretar los posibles procesos que ocurrirían en el ambiente; lo cual requiere, además, de laboratorios y equipos necesarios.*

Para la identificación y caracterización de los hidrocarburos derramados, existe la ventaja de que en el análisis se utilizan los mismos métodos y técnicas que emplea la industria petrolera en los estudios de exploración y producción de hidrocarburos, lo que facilita la evaluación del material derramado [57]. Sin embargo, es necesario conocer si en la actualidad los laboratorios de la industria petrolera están capacitados y operativos, para realizar dichos análisis. El mayor número de los eventos de los derrames, ocurrió durante la cuarentena restringida, cuando instituciones como Intevep y las universidades estaban cerradas (esto se mantiene en la actualidad), por lo cual es poco probable que algunos de los estudios y análisis planteados aquí se hayan podido realizar. Por

otra parte, si algún estudio fue realizado, no existe información disponible sobre ello (informes, publicaciones). Esto permitiría una forma de discusión entre pares y la búsqueda de mejores soluciones para los problemas de derrames en Venezuela.

## 6. Recomendaciones

- a) Disponer de una documentación técnico científica de tipo y cantidad de hidrocarburos en suelos y sedimentos en la zona marino-costera y en los ecosistemas terrestres más afectados por estos eventos, así como del origen de los derrames, la susceptibilidad del material derramado a ser alterado por el ambiente y las caracterizaciones físico-químicas de las aguas, suelos, sedimentos y de la biota asociada.
- b) Hacer seguimiento de las operaciones de recuperación, de los suelos sometidos a recuperación y de los suelos recuperados. Análisis físicos y químicos de los suelos en función del uso (agrícola-pecuaria, urbana e industrial o conservación como reservorios de carbono).
- c) Hacer seguimiento y monitoreo del ecosistema del ambiente recuperado.
- d) Disponer de procedimientos y tecnología (parámetros de medición, frecuencia y tiempo de evaluación) para la recuperación de los ecosistemas afectados y servicios ecosistémicos en los cuales se acate el cumplimiento de legislación ambiental junto con medidas de seguimiento de las zonas afectadas y su posible remediación.
- e) Revisar la normativa legal con la consecuente actualización de leyes, decretos y otros reglamentos que indiquen los niveles permisibles de los hidrocarburos y sus fracciones, así como los valores de referencia de metales pesados presentes en los suelos, aguas y sedimentos.
- f) Aplicar la metodología del RBCA.
- g) Preparar, entrenar y ubicar el personal para atender este tipo de contingencia, así como para interpretar los posibles procesos que ocurrirían en el ambiente.
- h) Ubicar y organizar laboratorios y equipamiento necesario para llevar a cabo los análisis físicos, químicos y biológicos.
- i) Censar las poblaciones de aves marino-costeras en las costas e islas de Venezuela que comprenda ubicación, sitios de reproducción y de parada, dormideros y colonias, además del seguimiento continuo de sus poblaciones.

## Referencias

- [1] Hook, S., Batley, G., Holloway, M., Irving, P., and Ross, A. *Oil Spill Monitoring Handbook*. CSIRO Publishing, Australia (2016) p. 288.
- [2] Fowzia, A. and Fakhruddin, A.N.M. Review on Environmental Contamination of Petroleum Hydrocarbons and its Biodegradation. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources* **11** (3), 63-39 (2018).
- [3] Colvin, K. A., Lewis, C. and Galloway, T.S. Current Issues Confounding the Rapid Toxicological Assessment of Oil Spills. *Chemosphere* **245**, 125585 (2020).
- [4] Klein, E. Derrame Golfo Triste, seguimiento mediante sensoramiento remoto, julio-agosto de 2020. *Informe Técnico Laboratorio de Sensores Remotos (LSR-USB)* 18-08-2020, 22 p. Disponible en <https://svecologia.org/wp-content/uploads/2020/08/InformeDerrameSVE.pdf> (2020a).
- [5] Klein, E. Modelo de dispersión y derrame de hidrocarburo, LSR-USB-SVE. Disponible en <https://funindes.com/eventos/derrame-hidrocarburo-golfo-triste-el-palito/> (2020b).
- [6] Revilla, I. Rotura en un tanque de almacenamiento en refinería Cardón ocasiona derrame de gasolina. El Pitazo, 01/7/2021. Disponible en <https://elpitazo.net/occidente/rotura-en-un-tanque-de-almacenamiento-en-refineria-cardon-ocasiona-derrame-de-gasolina/> (2021).
- [7] Sánchez, J.C. Afectación de los ecosistemas marino-costeros por los derrames de hidrocarburos. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales LXXXI* (1), 35-39 (2021).
- [8] Gutiérrez Torres, J. Científicos venezolanos lideran lucha ciudadana contra nuevos derrames petroleros en el mar Caribe. *Mongabay Latam*. Disponible en <https://es.mongabay.com/2020/08/derrame-de-petroleo-en-venezuela-parque-morrocoy/> (2020).
- [9] Díaz, A. Nadar y pescar en un mar de petróleo derramado. *Cinco8*. 23/11/ 2020. Disponible en <https://www.cinco8.com/periodismo/nadar-y-pescar-en-un-derrame-de-petroleo-derramado/> (2020).
- [10] Dannemann, V. Alarma por derrame petrolero en costas de Venezuela. *Dw. Comm*, Disponible en <https://www.dw.com/es/alarma-por-derrame-petrolero-en-las-costas-de-venezuela/a-54560000> (2020).
- [11] Díaz, J. La pesca contaminada en Falcón, secuelas del derrame de petróleo. *El Diario*. Disponible en <https://eldiario.com/2020/09/23/peces-contaminados-falcon-derrame-petrolero/amp/> (2020).
- [12] Uricare, J. 2020, el año de los derrames petroleros en Venezuela. *El Diario*, miércoles 7/7/2020, Disponible en <https://eldiario.com/2020/12/05/2020-ano-derrames-petroleros-venezuela/amp/> (2020).
- [13] *El Pitazo*, Zulia/Habitantes de Cabimas reportan un derrame de petróleo este 18/sep. El Pitazo. Disponible en [elpitazo.net/occidente/Zulia-habitantes-de-cabimas-reportan-un-derrame-de-petroleo-este-18sep/](https://elpitazo.net/occidente/Zulia-habitantes-de-cabimas-reportan-un-derrame-de-petroleo-este-18sep/) (2020).

- [14] *TalCual*. 2020, Robo de niple genera nuevo derrame de petróleo en Anzoátegui. Disponible en <https://talcualdigital.com/robo-de-niple-genera-nuevo-derrame-de-petroleo-en-anzoategui/> (2021).
- [15] Wikipedia: *Derrames de Petróleo*. Disponible en [https://es.wikipedia.org/wiki/Derrame\\_de\\_petróleo](https://es.wikipedia.org/wiki/Derrame_de_petróleo). Consultado julio de 2021.
- [16] BSEE. (Bureau of Safety and Environmental Enforcement). *Safety and Environmental Management Systems (SEMS)*: Disponible en <https://www.bsee.gov/reporting-and-prevention/safety-and-environmental-management-systems> (2021). Consultado julio de 2021.
- [17] Wikipedia: *Deepwater Horizon*. Disponible en [https://es.wikipedia.org/wiki/Deepwater\\_Horizon](https://es.wikipedia.org/wiki/Deepwater_Horizon). Consultado julio de 2021.
- [18] BSEE (Bureau of Safety and Environmental Enforcement). *SEMS Successes, Challenges and Recommendations Based on Analysis of 3rd Round SEMS Audit Results and SEMS Corrective Actions*: Disponible en <https://www.bsee.gov/sites/bsee.gov/files/analysis-of-sems-audit-reports-october-20-2020.pdf> (2020). Consultado julio de 2021.
- [19] API-*Estándares American Petroleum Institute*. Disponible en <https://www.api.org/products-and-services/es/standards>. Consultado abril de 2021.
- [20] IFC/WB (IFC y WB Banco Mundial). *Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad: desarrollo de petróleo y gas en tierra y explotación marina*, abril 2007.
- [21] Decreto Presidencial *Plan Nacional de Contingencia Contra Derrames de Hidrocarburos en Aguas de Petróleos de Venezuela*, 09/07/86. Disponible en [biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/hm000429.pdf](http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/hm000429.pdf). *OLADE Revista Energética* año 19, número 3, sep-dic. 1995.
- [22] Ley Orgánica de Espacios Acuáticos (LOEA), Decreto No 1.445 del 17/11/14. Gaceta Oficial: No 6.153 Extraordinario del 18/11/14. Disponible en [finanzasdigital.com/2014/12gaceta-extraordinaria-6-153-publican-ley-organica-de-los-espacios-acuaticos/](http://finanzasdigital.com/2014/12gaceta-extraordinaria-6-153-publican-ley-organica-de-los-espacios-acuaticos/).
- [23] Ley de Marinas y Actividades Conexas (LMAC). Decreto No 1.442 de fecha 17/11/14, Gaceta Oficial: No 6.153 Extraordinario 18/11/14. Disponible en [bolipuestos.gob.ve/descargas/Ley%20de%20Marinas%20y%20Actividades%20Conexas%20-.pdf](http://bolipuestos.gob.ve/descargas/Ley%20de%20Marinas%20y%20Actividades%20Conexas%20-.pdf).
- [24] Odukoya, J., Lambert, R. y Sakrabani, R. Understanding the Impacts of Crude Oil and its Induced Abiotic Stresses on Agrifood Production: A Review. *Horticulturae*, 5(2), 47 (2019) Disponible en <https://doi.org/10.3390/horticulturae5020047> (2019).
- [25] Hawrot-Paw, M., Koniuszy, A., Zając, G. Szyszlak-Bargłowicz, J. Ecotoxicity of Soil Contaminated with Diesel Fuel and Biodiesel. *Scientific Reports*. 10, 16436 (2020). Disponible en <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73469-3> (2020).
- [26] Khan, M., Bhabananda, B., Smith, E., Naidu, R. y Mallavarapu, M. Toxicity Assessment of Fresh and Weathered Petroleum Hydrocarbons in Contaminated Soil: A Review. *Chemosphere* 212, 755-767 (2018). Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.094> (2018).
- [27] República de Venezuela. *Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de desechos peligrosos*. Decreto 2635, Gaceta N° 5245, Caracas (1998).

- [28] Infante, C. Criterios y tecnologías de remediación en suelos contaminados con hidrocarburos. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas Naturales* **LXXXI** (1), 29-34 (2021).
- [29] ASTM International. E 1739-95. *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites: E 1739-5* (Reapproved 2010) (2010).
- [30] O'Meara, T.A., Hillman, J.R. y Thrush, S.F. Rising Tides, Cumulative Impacts and Cascading Changes to Estuarine Ecosystem Functions. *Scientific Reports* **7**, 10218 (2017). Disponible en <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11058-7>.
- [31] Barreto, M.B. Impactos de los derrames de hidrocarburos sobre los ecosistemas de manglar *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas Naturales* **LXXXI** (1): 53-57 (2021).
- [32] National Research Council. *Responding to Oil Spills in the U.S. Arctic Marine Environment*. (National Academies Press, Washington, 2014). Disponible en <https://www.nap.edu/catalog/18625/responding-to-oil-spills-in-the-us-arctic-marine-environment> (2014).
- [33] Duke, N.C. Oil Spill Impacts on Mangroves: Recommendations for Operational Planning and Action Based on a Global Review. *Marine Pollution Bulletin*. **109**, 700-715 (2016).
- [34] National Research Council. National Research Council (US) *Committee on Oil in the Sea: Inputs, Fates, and Effects*. National Academies Press, Washington (2003).
- [35] 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.
- [36] Burns, K.A., Garrity, S.D. y Levings, S.C. How Many Years Until Mangrove Ecosystems Recover from Catastrophic Oil Spills? *Marine Pollution Bulletin* **26**, 239-248 (1993).
- [37] 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. *Marine Ecology Progress Series* **210**, 255-283 (2001).
- [38] Barreto, M.B., LoMonaco, S., Díaz, R., Barreto-Pittol, E., López, L., y Ruaro-Peralba, M. Soil Organic Carbon of Mangrove Forests (*Rhizophora* and *Avicennia*) of the Venezuelan Caribbean coast *Organic Geochemistry* **100**, 51-61 (2016).
- [39] Restall, R., Rodener, C. y Lentino, M. Birds of Northern South America: An Identification Guide. *Helm Field Guide*. London (2006).
- [40] Ascanio, D., Rodríguez, G. y Restall, R. Birds of Venezuela. *Helm Field Guides*. London (2017).
- [41] Esclasans, D., Lentino, M., Luy, A. y Bosque, C. The Islands of Venezuela. P. Bradley and R. L. Norton (Eds.) *An Inventory of Breeding Seabirds of the Caribbean*. Univ. Press Florida. Gainesville (2009) pp. 216-224.
- [42] Morrison, R., Ross, R., Espinosa, F. y Figueroa, D. Venezuela. In: Morrison, R. and R. Ross. (Eds.) *Atlas of Nearctic Shorebirds on the coast of South America*. Vol. 2. Canadian Wildlife Service Special Publication. Ottawa (1989) pp. 145-160.

- [43] Morrison, R., Ross, R., Canevari, P.P., de Tarso Zuquim Antas, B. de Jong, B., Ramdial, F., Espinosa, M. y Mago de Pérez. J. Aerial Surveys of Shorebirds and other Wildlife in South America: Some Preliminary Results. *Canadian Wildlife Services Progress Notes* **148**, 1-28 (1985).
- [44] Sainz-Borgo, C., García, D., López, E., Espinoza, F., Yáñez, G., Torres, L., Martínez, M., Hernández, M., Caula, S., Sanz V. y Giner, S. Censo Neotropical de Aves Acuáticas en Venezuela 2013. *Revista Venezolana de Ornitología* **4**, 18-25 (2014).
- [45] Sainz-Borgo, C., Giner, S., Espinoza, F., Fernández-Ordoñez, J., García, D., López, E., Martínez, M., Porta, A., Sanz, V. y Torres, L. Censo Neotropical de Aves Acuáticas en Venezuela 2014. *Revista Venezolana de Ornitología* **5**, 37-46 (2015).
- [46] Sainz-Borgo, C., Giner, S., Espinoza, F., Fernández-Ordoñez, J., García, D., López, E., Matheus, J., Rengifo, C., Rodríguez-Ferraro, A., Porta, A., Sanz, V. y Torres, L. Censo Neotropical de Aves Acuáticas en Venezuela 2015. *Revista Venezolana de Ornitología* **6**, 27-36 (2016).
- [47] Sainz-Borgo, C., Espinoza, F., Fernández-Ordoñez, J., Gianni, R. López, E., Matheus, J., Martínez, M., Rengifo, C., Silva, S., Torres, L. y Giner, S. Censo Neotropical de Aves Acuáticas en Venezuela 2016. *Revista Venezolana de Ornitología* **7**, 4-13 (2017).
- [48] Martín, A., Malavé, L., Sánchez, D., Aparicio, R., Arocha, F., Bone, D., Bolaños, J.A., Castañeda, J., Cardenas, J.J. Carbonini, A.K., Díaz, Y.J., Guada, H.J., Klein, E., Lazo, R., Lemus, A., Lentino, M., Lira, C., Lodeiros, C., López, R., Marín, B., Martínez, G., Márquez, B., Márquez, A., Molinet, R., Morales, F., Posada, J., Prieto, A., Riera, A., Rodríguez, C., Ramírez, A., Senior, W., Solana, P., Severeyn, H., Spiniello, P., Valera, E., Yanes, C. y Zoppi, E. *Línea base ambiental plataforma deltana* Martín, A. y Bone, D. (Eds.). Petróleos de Venezuela, S.A. - Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela (2007) p.176.
- [49] Klein E. (Ed.) *Prioridades de PDVSA en la conservación de la biodiversidad en el caribe venezolano*. The Nature Conservancy-Petróleos de Venezuela, S.A, Universidad Simón Bolívar - Caracas, Venezuela. (2008) p.72.
- [50] Klein, E. y Cárdenas J.J. (Eds.) *Identificación de las Prioridades de Conservación Asociadas a los Ecosistemas de la Fachada Atlántica Venezolana y su Biodiversidad*. Universidad Simón Bolívar-The Nature Conservancy. Caracas, Venezuela (2011) p. 92.
- [51] Bursian, S.J., Alexander, C.R., Cacula, D., Cunningham, F.L., Dean, K.M., Dorr, B.S., Ellis, C.K., Godard-Codding, Céline A.J., Guglielmo, C.G., Hanson-Dorr, K.C., Harr, K.E., Healy, K., Hooper, Michael J.; Horak, K. E.; Isanhart, John P; Kennedy, L. V.; Link, J. E.; Maggini, I., Moye, J.K., Pérez, C.R., Pritsos, C.A., Shriner, S.A., Trust, K.A. y Tuttle, P.L. Overview of Avian Toxicity Studies for the Deepwater Horizon Natural Resource Damage Assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **146**, 4-10 (2017).
- [52] Haney, J.C., Geiger H.J. y Short, J.W. Bird Mortality from the Deepwater Horizon Oil Spill. I. Exposure Probability in the Offshore Gulf of Mexico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **513**, 225-237 (2014).
- [53] Pérez, C.R., Moye, J.K., Cacula, D., Dean, K.M. y Pritsos, C.A. Low Level Exposure to Crude Oil Impacts Avian Flight Performance: The Deepwater Horizon Oil Spill Effect on Migratory Birds. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **146**, 98-103 (2017).

- [54] Prince, R.C. y Walters, C.C. Biodegradation of Oil Hydrocarbons and its Implications for Source Identification. En: *Standard Handbook Oil Spill Environmental Forensics*, Second Edition, Stout, S. and Wang, Z. (Eds.) **19**, 869-916 (2016).
- [55] Gutiérrez, J. Venezuela: el derrame de petróleo ocurrido en Trinidad y Tobago afecta a la Península de Paria. *Mongabay Latam*. Periodismo Ambiental Independiente en Latinoamérica. Disponible en [https://es.mongabay.com/2017/05/derrame-petrolero-biodiversidad-contaminacion-areas\\_naturales\\_protegidas](https://es.mongabay.com/2017/05/derrame-petrolero-biodiversidad-contaminacion-areas_naturales_protegidas) (2017).
- [56] Oliveira, O., Queiroza, A., Cerqueira, J., Soares, S., García, K., Filho, A., *et al.* Environmental Disaster in the Northeast Coast of Brazil: Forensic Geochemistry in the Identification of the Source of the Oily Material. *Marine Pollution Bulletin* 160, 111597 (2020).
- [57] López, L. Derrames de petróleo y sus efectos en el carbono orgánico de suelos y sedimentos. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales* **LXXXI** (1), 25-28 (2021).



Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales  
Palacio de las Academias, Av. Universidad, Apartado de Correo 1421.  
Caracas, 1010-A. Venezuela