

El viaje del petróleo en el mar: lo que se esconde bajo la superficie

JORGE ALEXANDER ROJAS VARGAS Y
LILIANA PARDO LÓPEZ

Jorge Alexander Rojas Vargas es Ingeniero Químico de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente es candidato a Doctor en Ciencias Bioquímicas en el Instituto de Biotecnología (IB) de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, bajo la dirección de la Dra. Liliana Pardo.

Liliana Pardo López es investigadora del Instituto de Biotecnología de la UNAM y tiene a su cargo el grupo de Biotecnología Marina, es miembro de la Academia de Ciencias de Morelos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Derrame de petróleo en el océano. La mayoría de las personas hemos oído hablar de derrames de petróleo en el océano y de su efecto perjudicial en los ecosistemas marinos. La imagen de una mancha negra de petróleo expandiéndose por el mar y afectando a la vida marina y costera es difícil de olvidar. Estos incidentes nos llevan a cuestionar la necesidad de seguir extrayendo petróleo del fondo del mar, así como también a los expertos a buscar formas de evitar estos accidentes. Pero ¿cuánto sabemos realmente sobre la presencia de petróleo en el océano y cuándo se considera que su presencia es un problema?

Generalidades del petróleo

El petróleo, también conocido como aceite crudo, es un recurso natural que se origina a partir de la exposición de materia orgánica a altas presiones y temperaturas en el subsuelo terrestre durante un largo período de tiempo. Su composición se basa principalmente en hidrocarburos de diferentes pesos moleculares, que son materias primas esenciales en diversas industrias, como la farmacéutica, agrícola, química y de plásticos. De allí los enormes esfuerzos por extraer este "oro negro" del subsuelo. Se estima que el petróleo se encuentra distribuido en todo el mundo en zonas llamadas yacimientos, junto con una mezcla de hidrocarburos gaseosos conocida como gas natural. La profundidad de estos yacimientos depende del movimiento de las placas tectónicas. En México, el petróleo más superficial ha sido localizado en el subsuelo marino del Golfo de México, ocasionando que la industria petrolera del país centre sus actividades en esta zona. En 2022, la mayoría del petróleo extraído en México provino del Golfo (Figura 1), un aceite crudo formado durante el período Jurásico temprano-medio.

Los cinco tipos de petróleos mexicanos presentes en el Golfo de México se describen en la Tabla I. El Instituto Americano del Petróleo (API por sus siglas en inglés) clasifica el petróleo según su densidad respecto al agua. Esta medida de densidad

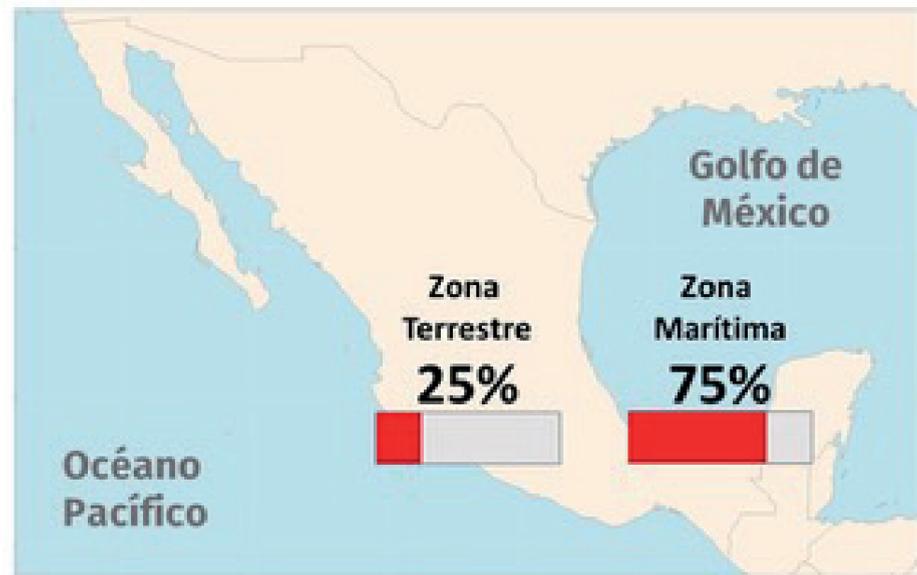


FIGURA 1. PRODUCCIÓN de petróleo en México durante el año 2022. Datos tomados de [1]

se conoce como gravedad o grados API (°API). Si el petróleo tiene una gravedad superior a 10, se afirma que es más liviano que el agua. Según esta clasificación, todos los petróleos mexicanos, incluido los más pesados Altamira y Talam, flotan en el agua.

Tabla I. Tipos de petróleos mexicanos. Adaptado de [2]

Tipo de petróleo	° API	Clasificación
Altamira	15.0 – 16.5	Pesado
Istmo	32.0 – 37.0	Ligero
Maya	21.0 – 22.0	Pesado
Olmecca	38.0 – 39.0	Superligero
Talam	15.8 – 16.0	Pesado

Formas de liberación del petróleo

Desde el inicio de la extracción petrolera por actividades humanas se han producido vertidos accidentales de petróleo. No obstante, gracias a la mejora de protocolos y al avance de la tecnología, se ha logrado reducir la cantidad de petróleo derramado. En la década de 1970, se vertieron al mar accidentalmente volúmenes equivalentes a 790 piscinas olímpicas, mientras que, en la década de 2010, se redujo a unas 350 [3], [4]. A pesar de estos avances, las emanaciones naturales de petróleo en el fondo del mar, causadas por la alta presión en los yacimientos, siguen siendo una fuente significativa de petróleo en el océano. Según el Consejo Nacional de Investigación de Estados Unidos, se estima que estas emanaciones liberan alrededor de 2600 piscinas por década [5]. Todo un escándalo a primera vista si pensamos en el petróleo como una sustancia peligrosa para la salud humana y el medio ambiente.

Entonces, ¿por qué no vemos diariamente manchas de petróleo en el mar debido

a las filtraciones naturales? La respuesta se debe a que el petróleo liberado en una filtración ocurre en el fondo del mar y su cantidad es menos masiva que el volumen liberado en un vertido accidental. Una emanación agrega diariamente al mar menos de una quinta parte de una piscina olímpica, mientras que un derrame accidental libera mucho más, como el derrame de petróleo de Macondo en el Golfo de México en 2010, que arrojó más de tres piscinas diarias durante 87 días seguidos [4], o el derrame de Sanchi entre China y Japón en 2018, que liberó 59 piscinas en solo una semana [3].

Cuando el petróleo de una filtración se mezcla con el agua de mar, asciende hacia la superficie debido a que normalmente es menos denso que el agua (ver Figura 2). A medida que sube, parte del petróleo se disuelve en el agua mientras que otra se dispersa por acción de las corrientes marinas y el oleaje. Dado que el volumen de una emanación es muy bajo, el petróleo se dispersa completamente antes de llegar a la superficie, lo que explica el por qué no podemos verlo. Las manchas que sí vemos flotando son las derivadas de los accidentes petroleros. Noventa y cuatro de cada cien de los accidentes registrados han ocurrido en la superficie [3].

El viaje del petróleo vertido en el mar

Cuando ocurre un derrame, lo primero que hace el petróleo es extenderse en la superficie por efecto del oleaje, mientras que una parte se disemina dentro del agua (Figura 2). Los componentes más volátiles empiezan a evaporarse rápidamente, mientras que otros inician su degradación por la radiación solar y por la acción de algunos microorganismos, como hongos y bacterias, que los usan de alimento en un proce-

so conocido como biodegradación [6], [7]. A medida que degradan el petróleo, algunos de estos microorganismos secretan sustancias en forma de geles que atrapan algunas gotas de petróleo y materia orgánica, generando lo que se conoce como la nieve marina de petróleo. Estos geles se asemejan a copos de nieve que caen hacia el fondo del mar [8]. Finalmente, los componentes más pesados y difíciles de degradar, junto a la nieve, se depositan en el sedimento marino en zonas distantes al lugar del derrame, arrastrados por las corrientes marinas. Allí continuarán su proceso de degradación y/o acumulación por varios años hasta quedar petrificados.

Los procesos mencionados anteriormente pueden durar varios meses, lo que aumenta el riesgo de que el petróleo en la superficie del mar sea llevado por el viento y el oleaje hasta alguna costa. Esta permanencia del petróleo afecta la biodiversidad en el agua al disminuir la cantidad de oxígeno y cambiar el pH de la superficie del océano, incrementa el peligro de envenenamiento de animales como aves y peces, e incluso puede ocasionar la desertificación de los sitios donde finalmente se acumula el petróleo, sea en costa o en el lecho marino [9].

Mitigación luego de un derrame

Países como México y Estados Unidos han establecido planes de contingencia para mitigar el impacto de las manchas de petróleo y evitar que lleguen a las zonas costeras. Estos planes incluyen medidas inmediatas como la contención, la recuperación y la dispersión del petróleo mediante el uso de chorros de agua [10]. Como alternativas secundarias, se han propuesto la quema *in situ* y/o el uso de dispersantes químicos dentro de las primeras horas después del derrame. Estas alternativas pueden tener efectos negativos ya que los humos de la quema son tóxicos, y los dispersantes químicos actuales siguen siendo perjudiciales para la vida marina y no son efectivos cuando se derrama petróleo pesado.

A pesar del esfuerzo por disminuir el impacto de los accidentes, los métodos descritos en estos planes han demostrado no ser suficientes, como se evidenció en el caso del derrame de petróleo de Macondo, donde el 26% del petróleo alcanzó a llegar a costas de Estados Unidos [11].

Microorganismos degradadores de petróleo

Pero no todo son malas noticias. Tal como se mencionó previamente, en el océano existen microorganismos capaces de degradar algunos hidrocarburos del petróleo. La cantidad de estos microbios aumenta en el mar luego de un derrame debido al incremento en la disponibilidad de alimento [12]. Su presencia constituye un mecanismo natural de limpieza del océano y han sido considerados agentes valiosos para ser usados en potenciales estrategias biotecnológicas para acelerar la descontaminación marina.

Los microorganismos presentes en el océano que son capaces de degradar el petróleo han evolucionado durante años bajo la exposición constante a este material. Algunos de estos microorganismos, como las bacterias "hidrocarbonoclastas" de los géneros *Alcanivorax*, *Marinobacter*, *Oceanobacter*, *Cycloasticus* y *Thalassolituus*, producen enzimas que les permiten degradar los hidrocarburos con mayor eficacia que los microbios de otros ambientes no expuestos al petróleo [13]. Además de las bacterias, también se han encontrado hongos degradadores de los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* o *Lasiodiplodia*, y microalgas de los géneros *Selenastrium*,

Scenedemus o *Chlorella*, que han sido descritos como capaces de consumir fracciones del petróleo [14].

Investigación desde el Instituto de Biotecnología

El derrame de Macondo, el más grande en la historia del Golfo de México, generó un gran interés por comprender mejor los efectos de este tipo de accidentes para desarrollar herramientas de prevención, monitoreo y respuesta ante los posibles impactos negativos a futuro. Como consecuencia, se creó en 2015 en México el Consorcio de Investigación del Golfo de México (CIGoM), un proyecto multidisciplinario que busca estudiar este ecosistema en grandes escalas espaciales y temporales.

El Atlas de Línea Base Ambiental del Golfo de México, publicado en 2021, es una obra del CIGoM que proporciona una descripción detallada y exhaustiva de los fenómenos que se observan en esta fracción del océano. En la elaboración del Atlas, el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (IB-UNAM), con sede en Cuernavaca, contribuyó en la descripción de la diversidad bacteriana presente en el Golfo mediante técnicas de frontera. Se identificaron 450 géneros bacterianos comunes en muestras de sedimento marino tomadas en 16 campañas oceanográficas, algunos con el potencial para degradar hidrocarburos. Estos géneros servirán como referencia para monitorear el estado de salud del ecosistema luego de algún accidente petrolero, o ante cambios ambientales debidos al calentamiento global.

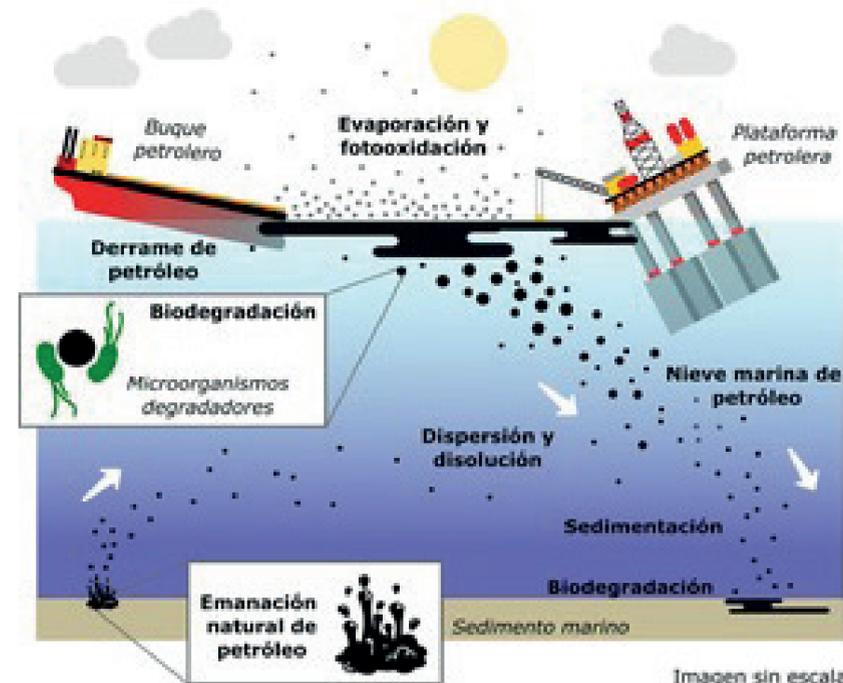


FIGURA 2. ESQUEMA del viaje del petróleo vertido en el océano. PEMEX, "Estadísticas petroleras enero 2023," *Indicadores Petroleros*, 2023. [Online]. Disponible: <https://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Paginas/IndicadoresPetroleros.aspx>. [Fecha de acceso: 24-Mar-2023].

natural por el sol y ciertos microorganismos en el mar, otra fracción que no se degrada se sedimenta porque son componentes pesados o debido a la nieve marina. Algunos países tienen planes de contingencia para mitigar el impacto de estos derrames, pero se requieren nuevas y mejores tecnologías para remediar completamente el daño ocasionado en zonas que no están acostumbradas a la presencia del petróleo. El IB-UNAM se ha unido al CIGoM para contribuir al entendimiento de estos fenómenos en la región. Como parte de su colaboración, el IB-UNAM ha ayudado a identificar la línea base de bacterias en los sedimentos del Golfo, aislado y caracterizado bacterias degradadoras de petróleo, y explorado estrategias que puedan aprovechar estos microorganismos en tecnologías de descontaminación ambiental.

Referencias

- PEMEX, "Estadísticas petroleras enero 2023," *Indicadores Petroleros*, 2023. [Online]. Available: <https://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Paginas/IndicadoresPetroleros.aspx>. [Accessed: 24-Mar-2023].
- PEMEX, "Petróleo," *PEMEX Productos y Servicios*, 2019. [Online]. Available: <https://www.pemex.com/comercializacion/productos/Paginas/petroleo.aspx>. [Accessed: 01-Dec-2022].
- "Spills," Cedre, 2021. [Online]. Available: <https://www.cedre.fr/Recherches/Spills>. [Accessed: 22-Mar-2023].
- H. D. M. Villela, R. S. Peixoto, A. U. Soriano, and F. L. Carmo, "Microbial bioremediation of oil contaminated seawater: A survey of patent deposits and the characterization of the top genera applied," *Sci. Total Environ.*, vol. 666, pp. 743–758, May 2019.
- National Research Council (US) Committee on Oil, Fates, and Effects, *Natural seepage of crude oil into the marine environment*. Washington, D.C., DC: National Academies Press, 2003.
- J. Xue, Y. Yu, Y. Bai, L. Wang, and Y. Wu, "Marine oil-degrading microorganisms and biodegradation process of petroleum hydrocarbon in marine environments: A review," *Curr. Microbiol.*, vol. 71, no. 2, pp. 220–228, Aug. 2015.
- I. M. Head, D. M. Jones, and W. F. M. Röling, "Marine microorganisms make a meal of oil," *Nat. Rev. Microbiol.*, vol. 4, no. 3, pp. 173–182, Mar. 2006.
- B. H. Gregson, B. A. McKew, R. D. Holland, T. J. Nedwed, R. C. Prince, and T. J. McGenity, "Marine oil snow, a microbial perspective," *Front. Mar. Sci.*, vol. 8, Jan. 2021.
- D. I. Little, S. R. J. Sheppard, and D. Hulme, "A perspective on oil spills: What we should have learned about global warming," *Ocean Coast. Manag.*, vol. 202, no. 105509, p. 105509, Mar. 2021.
- S. de Marina, "Plan Nacional de Contingencia para Derrames de Hidrocarburos y Sustancias Nocivas Potencialmente Peligrosas en las Zonas Marinas Mexicanas," *ww.gob.mx*, 2016. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/semar/articulos/>
- M. Wilson, D. Bailey, E. Maung-Douglass, M. Parthya, S. Sempier, and T. Skelton, "Oil on the beach: What happened after Deepwater Horizon?," *Oil spill science*, 2021. [Online]. Available: <https://masgc.org/oilscience/oil-on-beaches-DeepwaterHorizon-2021.pdf>. [Accessed: 01-Dec-2022].
- S. Kleindienst, S. Grim, M. Sogin, A. Bracco, M. Crespo-Medina, and S. B. Joye, "Diverse, rare microbial taxa responded to the Deepwater Horizon deep-sea hydrocarbon plume," *ISME J.*, vol. 10, no. 2, pp. 400–415, Feb. 2016.
- V. Cafaro, V. Izzo, E. Notomista, and A. Di Donato, "Marine hydrocarbonoclastic bacteria," in *Marine Enzymes for Biocatalysis*, Elsevier, 2013, pp. 373–402.
- F. Dell' Anno, E. Rastelli, C. Sansone, C. Brunet, A. Ianora, and A. Dell' Anno, "Bacteria, fungi and microalgae for the bioremediation of marine sediments contaminated by petroleum hydrocarbons in the omics era," *Microorganisms*, vol. 9, no. 8, p. 1695, Aug. 2021.
- L. F. Muriel-Millán *et al.*, "Functional and genomic characterization of a *Pseudomonas aeruginosa* strain isolated from the southwestern gulf of Mexico reveals an enhanced adaptation for long-chain alkane degradation," *Front. Mar. Sci.*, vol. 6, Sep. 2019.
- J. Rodríguez-Salazar, A. Loza, K. Ornelas-Ocampo, R. M. Gutiérrez-Ríos, and L. Pardo-López, "Bacteria from the southern Gulf of Mexico: Baseline, diversity, hydrocarbon-degrading potential and future applications," *Front. Mar. Sci.*, vol. 8, Mar. 2021.
- J. Rosas-Díaz *et al.*, "Paenarthrobacter sp. GOM3 Is a Novel Marine Species With Monoaromatic Degradation Relevance," *Front. Microbiol.*, vol. 12, p. 713702, Aug. 2021.
- J. Rojas-Vargas, R. González-Sánchez, A. Sánchez-Flores, A. F. Licea-Navarro, and L. Pardo-López, "Complete Genome Sequence of *Halopseudomonas aestusnigri* Strain GOM5, Isolated from Asphalt Marine Sediments of the Gulf of Mexico," *Microbiol Resour Anounc.*, p. e0122221, Mar. 2022.
- J. Rojas-Vargas *et al.*, "Oil-degrading bacterial consortium from Gulf of Mexico designed by a factorial method, reveals stable population dynamics," *Frontiers in Marine Science*, vol. 9, 2022.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.