



Novedades científicas

De actualidad

Desde la UAM

Desde las redes

Noticias de la AMC

Odalys Julissa Ibarra-Alejos y René Ventura-Houle



Bacterias devoradoras de petróleo

El petróleo es un hidrocarburo que ha sido una fuente de energía explotada y utilizada para la creación de productos como la gasolina, plásticos y telas sintéticas, por mencionar algunos. Sin embargo, el petróleo y sus derivados son tóxicos y pueden llegar a ser cancerígenos y mutagénicos. Han ocurrido derrames de petróleo en agua y suelo debido a la exploración, extracción, transporte y refinación de este hidrocarburo, lo que se ha convertido en un peligro ambiental y social. Existen, no obstante, organismos diminutos capaces de limpiar el agua y el suelo de esos contaminantes y de contribuir a la recuperación del ambiente de forma más rápida, permitiendo que éstos ya no causen daño.

Introducción

Los microorganismos son organismos microscópicos, los seres más pequeños en la Tierra. Estos organismos tienen funciones diferentes y muy importantes en el planeta, ya que gracias a ellos podemos contar con numerosos servicios, como la fermentación de alimentos, la descomposición de materia orgánica, la generación de energía y la creación de combustibles, entre muchos otros. Dentro de los microorganismos podemos encontrar bacterias, algas, hongos, levaduras y protozoarios, los cuales se encuentran de forma natural en los ecosistemas. Existen diferentes microorganismos capaces de degradar o transformar los contaminantes que se encuentran en el ambiente en sustancias menos tóxicas, restaurando los sitios en donde ocurrió una contaminación. Esto pueden lograrlo mediante diferentes mecanismos, como la degradación directa, la producción de enzimas o biosurfactantes (cabe resaltar que las bacterias son las principales productoras de biosurfactantes), compuestos que ayudan a que los contaminantes estén disponibles para los microorganismos con mayor facilidad y puedan utilizarlos como fuente de energía, metabolizando los compuestos y haciendo que estas sustancias dejen de estar disponibles en el ambiente, con lo cual disminuyen el riesgo que representan para otros organismos, incluyendo al ser humano.

Contaminación por petróleo en el agua

En el agua se pueden encontrar diversos contaminantes, producidos principalmente por actividades realizadas por el hombre. El agua ha sido contaminada con desechos orgánicos (por ejemplo, las heces fecales del humano y de sus animales domésticos), así como diversos desechos inorgánicos provenientes de la industria, como plásticos, metales pesados, pesticidas, sales o hidrocarburos.

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos. El petróleo, por su parte, es una mezcla compleja de hidrocarburos, el cual es utilizado como fuente de energía a nivel mundial, razón por la que ha sido tan explotado. Sin embargo, a pesar de ser una fuente de energía proveniente de sustancias orgánicas, y una materia prima de la que se derivan productos como la gasolina, telas sintéticas, plásticos, entre muchos otros, se puede convertir en un problema ambiental debido al mal manejo en su extracción, transporte y refinación, provocando derrames en el agua y en el suelo.

Al ingresar en el agua, el petróleo forma una capa densa y oleosa que, por un lado, evita el paso de la luz solar e impide el intercambio gaseoso indispensable para la vida acuática y que, por otro lado, ocasiona la muerte de peces y otros animales acuáticos al recubrir sus cuerpos y órganos vitales (piel, plumaje, branquias, etc.), además de ser un compuesto tóxico, cancerígeno, mutagénico y **bioacumulable**.

El petróleo, en especial el de fracción pesada, suele ser más difícil de degradar para los microorganismos. Algunos ejemplos de petróleo de esta categoría incluyen el petróleo crudo, el *fuel oil* (producido a partir de la refinación del primero, utilizado como combustible en la industria marítima o en plantas de energía eléctrica) y el asfalto, que se usa comúnmente para la construcción de carreteras. Por otro lado, el petróleo de fracción ligera es del que se derivan combustibles como el gas natural, o bien puede usarse como materia prima para la producción de gasolina.

Se han desarrollado métodos para la eliminación de estos compuestos en los cuerpos de agua, tales como los métodos fisicoquímicos, herramienta que a pesar de ser útil en situaciones de emergencia, pueden ser de elevado costo. Muchos de estos métodos pue-

den llegar a generar subproductos tóxicos, por lo que resulta un problema mayor. Ante estas situaciones, se han buscado nuevas estrategias para la remoción de contaminantes, como la del petróleo en el agua.

Derrames de petróleo en México

En México se han registrado derrames de petróleo de gran magnitud; entre ellos destaca el derrame del pozo Ixtoc I. Este incidente ocurrió en 1979 en un pozo exploratorio de petróleo ubicado en el golfo de México, específicamente en el estado de Campeche, a 94 km al noroeste de Ciudad del Carmen. Dicho derrame afectó las costas de Campeche, Veracruz, Tabasco, Tamaulipas y algunas zonas de Texas. Además, han ocurrido otros derrames de petróleo que si bien no se originaron en territorio mexicano, sí han afectado sus costas; tal es el caso del Deepwater Horizon (DWH) (una plataforma semisumergible de perforación en aguas profundas para la extracción de petróleo), en donde más de 4 millones de barriles de petróleo crudo se derramaron en el golfo de México en 2010. Fue el mayor derrame que se ha registrado en el mar.

Actualmente siguen ocurriendo derrames de petróleo, aunque de menor magnitud. El último reporte en el anuario estadístico de Pemex reporta que en 2019, entre fugas y derrames, sucedieron un total de 1 092 eventos y casi 900 millones de metros cúbicos fueron descargados al medio ambiente.

Los derrames de petróleo pueden causar serios problemas ambientales en diferentes ecosistemas. Un ejemplo del daño que pueden ocasionar los derrames de petróleo al ecosistema son las muertes de aves acuáticas, que se sumergen en el agua en busca de comida y sus plumas quedan cubiertas por el petróleo, lo que ocasiona que en muchos casos mueran por inmovilización (ver cuadro 1).

Biorremediación, una estrategia para la restauración de sitios contaminados

La remediación es el proceso de descontaminación de un sitio que utiliza tecnologías para la remoción de contaminantes que pueden encontrarse en el suelo,

Bioacumulable ▶ La bioacumulación es el proceso en el que sustancias químicas aumentan de concentración conforme van pasando de un organismo vivo a otro en la cadena alimenticia.

Cuadro 1. Derrames de petróleo en México

Evento	Año	Lugar	Cantidad derramada
Ixtoc I	1979	Campeche, México	560 millones de litros de petróleo crudo
DWH	2010	Luisiana, EUA	4 millones de barriles de petróleo crudo

Información tomada de: "Derrames de petróleo que han afectado las costas mexicanas," *Anuario estadístico 2019*, Pemex.

agua o aire. La remediación ayuda a remover, controlar, disminuir o eliminar los contaminantes presentes en el sitio afectado.

Las técnicas de remediación utilizadas pueden ser *in situ* o *ex situ*; es decir, que la remediación puede realizarse en el sitio de contaminación o bien fuera de este. Existen diferentes métodos para llevar a cabo la remediación, entre los cuales se encuentran: los fisicoquímicos y los biológicos, mejor conocidos como biorremediación.

Los métodos fisicoquímicos emplean diferentes herramientas, haciendo uso de disciplinas como la física y la química, de modo que, por ejemplo, podríamos usar una sustancia química para eliminar un contaminante presente en el agua; sin embargo,

el problema con algunas de estas tecnologías es que si bien ayudan a la remoción de contaminantes, también pueden provocar que la contaminación se agrave al introducir otras sustancias. Otro de los inconvenientes es su elevado costo, ya que pueden llegar a hacer uso de grandes maquinarias e infraestructuras, además de tener altos costos de operación y materiales, por lo que pueden resultar inaccesibles. Cabe resaltar que el empleo de estos métodos no degrada el contaminante, sino que suele retirarlo del sitio para descargarlo o almacenarlo en otro.

Por ello, la biorremediación surge como una alternativa para la degradación de compuestos orgánicos e inorgánicos. Este término surge a principios de la década de 1980 y se refiere al método que hace



Figura 1. Derrame de petróleo del cráter del pozo petrolero de San Diego de la Mar, núm. 3, mejor conocido como Dos Bocas en Tamalín, Veracruz. Crédito: Odalys Julissa Ibarra Alejos.



Figura 2. El sitio del desastre petrolero ocurrido en Dos Bocas en julio de 1908 no ha sido hasta la fecha restaurado. Crédito: Odalys Julissa Ibarra Alejos.

uso de la capacidad de organismos vivos como los microorganismos para la degradación y eliminación de contaminantes presentes en el suelo, agua e incluso en el aire.

¿Qué pueden degradar los organismos vivos? La naturaleza es tan maravillosa que se pueden degradar los plásticos que han inundado muchos ecosistemas, los metales pesados tóxicos para el medio ambiente y la salud humana, así como las heces fecales provenientes de los desagües domésticos, de modo que se puede regresar el agua limpia a los ríos y mares a través de este procesamiento biológico tanto de los desechos que salen de nuestras casas como de los desechos industriales y, por supuesto, los hidrocarburos derramados en suelo o agua.

Para la biorremediación, pueden utilizarse plantas, hongos, bacterias, algas, o bien una combinación de ellos. Cada organismo tiene diferente capacidad para la acumulación y tolerancia de ciertos contaminantes en particular y diferentes mecanismos de acción. Un ejemplo de organismos utilizados en la biorremediación son los llamados “microorganismos benéficos”, los cuales son un conjunto de bacterias, hongos y levaduras que han sido previamente seleccionados y puesta a prueba su eficacia para la remoción de contaminantes en agua o suelo. Por ello, podríamos considerar a los microorganismos como una especie de conserjes de nuestro planeta, ya que se encargan de limpiar y mantener libre el agua y el suelo de sustancias no deseadas, brindándonos un valioso “servicio ambiental”.

Bacterias degradadoras de petróleo

Cuando consumimos un alimento, tenemos la capacidad de transformarlo en energía. Hay alimentos que nos brindan una mayor energía y que son muy útiles para nuestro organismo, ya que podemos digerirlos más rápido o fácilmente, mientras que hay otros que no son tan benéficos para nosotros, no nos gusta su sabor o no nos caen bien, y por estas razones muchas veces rechazamos su consumo. Algo similar pasa con los microorganismos: pueden llegar a alimentarse de diversas sustancias y metabolizarlas para transformarlas en su fuente de energía; sin embargo, tienen afinidad o preferencia por ciertos compuestos, mientras que hay otros que no pueden tolerar o no son de su agrado.

La diversidad de bacterias en nuestro planeta es enorme y existen algunas especies que tienen la capacidad de metabolizar compuestos como los hidrocarburos y transformarlos en sustancias menos tóxicas o disminuir su presencia en el ambiente. Utilizan enzimas, las cuales son moléculas que ayudan a que una reacción se lleve a cabo de una manera más rápida; es decir, las enzimas producidas por las bacterias participan en el proceso de degradación de los hidrocarburos.

Cuando ocurre un derrame de petróleo, los compuestos de bajo peso molecular –los cuales son los



Figura 3. Una muestra del derrame en el ecosistema de Dos Bocas, Veracruz. Crédito: Odalys Julissa Ibarra Alejos.

hidrocarburos alifáticos de cadena corta (como el butano o el metano)– se volatilizan dentro de las primeras horas después de ocurrido el derrame y suelen ser tóxicos para las bacterias, quedando los **hidrocarburos poliaromáticos** (como el naftaleno utilizado en la producción de insecticidas) y los heterocíclicos (por ejemplo, tiofeno, usado como aditivo en la industria de lubricantes y en agroquímicos), por lo que las bacterias que se encuentran en el sitio después de un derrame de petróleo son tolerantes y capaces de degradar estos compuestos. Sin embargo, cabe mencionar que el petróleo de fracción pesada e hidrocarburos de cadena larga (los cuales tienen mayor tendencia a permanecer en el medio ambiente después de un derrame) suelen ser más difíciles de degradar para las bacterias.

El petróleo puede llegar al agua por un derrame accidental o por afloración natural, cualquiera que

sea el caso; existen microorganismos, como las bacterias, que pueden participar en su degradación y que además pueden llegar a tener una alimentación exclusiva de petróleo. En el proceso de degradación participan diferentes especies de bacterias, de acuerdo con su preferencia por determinados hidrocarburos. Además de esto, otros factores importantes a considerar acerca de la degradación de petróleo son las condiciones ambientales y las propiedades fisicoquímicas del petróleo.

Pocos géneros bacterianos se han descrito como capaces de degradar los hidrocarburos poliaromáticos y heterocíclicos. Se han registrado eficiencias de degradación de petróleo por bacterias hasta del 95%. Algunos de los géneros de bacterias que se han documentado en la degradación de hidrocarburos son las *Marinobacter*, *Halomonas*, *Alcanivorax*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, entre otras. Cabe

◀ Hidrocarburos poliaromáticos

Compuestos orgánicos que contienen múltiples anillos aromáticos en su estructura molecular; se encuentran en diversos productos naturales y también se generan como productos de la combustión incompleta de materiales orgánicos, como el petróleo, el carbón, la madera y otros combustibles.

mencionar que esta área de investigación, conocida como “microbiología ambiental” o “microbiología aplicada al medio ambiente”, es muy activa pues con ella se pueden tener para remediar los graves daños ambientales que sufrimos actualmente.

Cepa bacteriana

Grupo de bacterias que pertenecen a la misma especie.

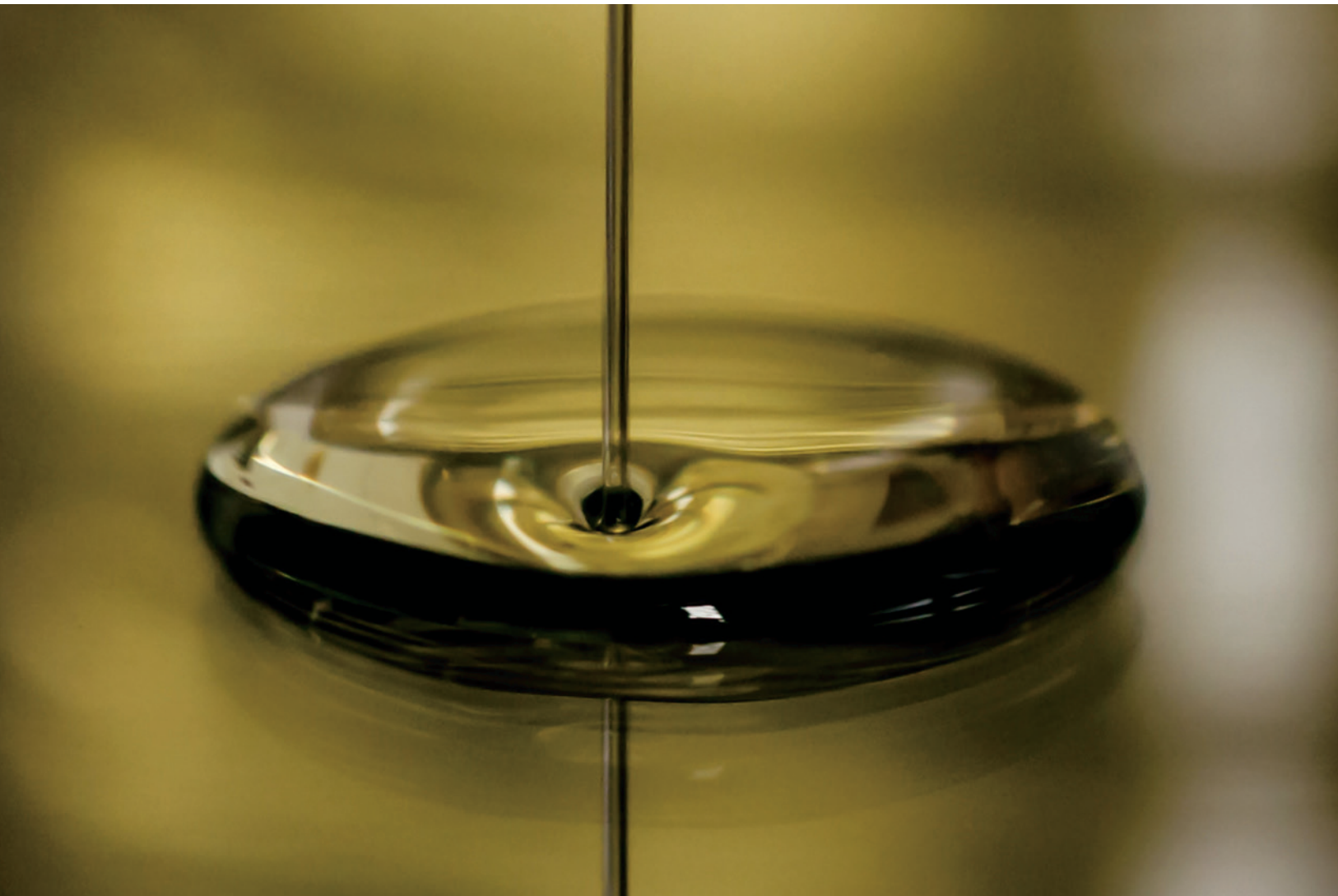
■ ■ ■ **Consortios bacterianos, ¿qué son?**

■ ¿Qué es un consorcio bacteriano y por qué se utiliza como una forma más eficaz para la biorremediación del petróleo en el agua? Como se mencionó antes, cierto grupo de bacterias prefieren determinados hidrocarburos, además las bacterias producen enzimas y biosurfactantes que ayudan en la degradación de los hidrocarburos; sin embargo, en ocasiones puede ser difícil que una sola especie de bacteria pueda degradar por sí sola estos compuestos. Por ello, se ha recurrido al uso de consorcios bacterianos.

Un consorcio bacteriano es una combinación de diferentes especies de bacterias. Se ha demostrado

que los consorcios bacterianos poseen conjuntos más amplios y poderosos de enzimas que una sola especie de bacteria. De igual forma, puede tener varias ventajas en cuanto a la producción de biosurfactantes; por ejemplo, las interacciones entre las diferentes **cepas bacterianas** pueden generar efectos sinérgicos que aumentan la producción de biosurfactantes, ya que algunas cepas pueden secretar sustancias que estimulan la producción de éstos en otras cepas, lo que lleva a una producción general más alta en comparación con una sola.

Cada especie bacteriana puede especializarse en la degradación de una fracción específica del petróleo, complementando las actividades de las demás. En otras palabras, las diferentes especies de bacterias pueden “hacer equipo” y trabajar en conjunto de modo que todas tienen un beneficio, dando como resultado una degradación más eficiente del hidrocarburo o petróleo gracias a que se generan compuestos intermediarios que pueden ser usados por otras



bacterias, y así sucesivamente, hasta completar la remoción de los compuestos tóxicos.

Conclusiones

Las bacterias, así como los microorganismos en general, juegan un papel muy importante en la degradación de petróleo en el ambiente, incluyendo el agua y el suelo. Los consorcios bacterianos pueden utilizarse como un método de biorremediación para llevar a cabo la degradación de contaminantes de manera más eficaz. Es importante conocer la forma en que trabajan las bacterias para generar estrategias de biorremediación que ayuden a recuperar y conservar los ecosistemas acuáticos y terrestres.

Odalys Julissa Ibarra Alejos

División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas.
alej.os.odalys@gmail.com

René Ventura-Houle

Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas. reneh66@gmail.com

Referencias específicas

- Dai, X. *et al.* (2021), "Heavy oil biodegradation by mixed bacterial consortium of biosurfactant-producing and heavy oil-degrading bacteria", *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(1):71-80.
- García-Cruz, N. U. y M. L. Aguirre-Macedo (2014), "Biodegradación de petróleo por bacterias: algunos casos de estudio en el Golfo de México", en A. V. Botello, J. Rendón, J. A. Benítez y G. Gold-Bouchot (eds.), *Golfo de México: contaminación e impacto ambiental, diagnóstico y tendencias*, México, Universidad Autónoma de Campeche, pp. 641-652.
- Narváez-Flórez, S., M. L. Gómez y M. M. Martínez (2008), "Selección de bacterias con capacidad degradadora de hidrocarburos aisladas a partir de sedimentos del Caribe colombiano", *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 37(1):63-77.
- Ozyurek, S. B. y I. S. Bilkay (2020), "Comparison of petroleum biodegradation efficiencies of three different bacterial consortia determined in petroleum-contaminated waste mud pit", *SN Applied Sciences*, 2(2):1-12.