



---

# Las bacterias marinas como fuente de aplicaciones biotecnológicas novedosas

---

Laura Patricia Flores Gaytán, Liliana Pardo López y Luis Felipe Muriel Millán

Seguramente alguna vez habrás observado la vastedad del océano, ya sea en unas vacaciones en la playa o a través de fotografías y videos. Y te has preguntado en más de una ocasión ¿qué es todo lo que este enorme ecosistema nos proporciona? Pues bien, los océanos cubren el 71% de la superficie terrestre, regulan el clima del planeta y alojan una extensa gama de recursos, de los cuales obtenemos comida, materiales, energía y transporte. Además de todo lo que nuestros ojos pueden apreciar, los océanos contienen un gran número de microorganismos, presentes tanto en las costas como en las zonas más profundas en mar abierto. Estos microorganismos tienen roles fundamentales en la productividad, funcionamiento del ecosistema oceánico y en los ciclos biogeoquímicos (globales) del oxígeno, carbono, nitrógeno, fósforo, hierro y azufre; circulando muchos compuestos con la atmósfera, el suelo marino y tierra firme (la litósfera). Diversas poblaciones de microorganismos como las bacterias y las arqueas —estas últimas, un grupo aparte, aunque comparte algunas características con las bacterias—, han sido identificadas y caracterizadas a través de estudios metagenómicos, donde se obtiene y analiza el ADN total extraído de un determinado ambiente, y que permite distinguir las identidades genómicas de varios subgrupos. Estos análisis han permitido tener

conocimiento de la gran variedad de bacterias presentes en el ecosistema marino; por ejemplo, en el proyecto *'Tara Oceans'* se identificaron cerca de 38 mil especies diferentes de bacterias y de arqueas, a partir de 139 muestras marinas provenientes de diferentes ubicaciones en el mundo [1]. La distribución y abundancia de esta riqueza bacteriana es influenciada por la gran variabilidad de las condiciones físicoquímicas en el ambiente marino, como disponibilidad de nutrientes, temperatura, pH, salinidad, presión hidrostática, precipitación, corrientes, etc., sin olvidar muchos otros factores biológicos. Desde la perspectiva evolutiva y ecológica parece razonable explicar que al ir extendiéndose y adaptándose —durante millones de años, con todo y deriva continental, impactos y extinciones— las bacterias marinas han desarrollado diversos mecanismos moleculares (producción de enzimas hidrolíticas, polímeros de reserva, surfactantes, antibióticos, etc.), que tienen un alto potencial de aplicación biotecnológica para soluciones en biorremediación, industrias alimenticia, farmacéutica y cosmética, y en la producción de plásticos biodegradables, entre otras [Figura 1]. En el presente artículo analizaremos algunas de las capacidades metabólicas e identidades de las bacterias marinas y las aplicaciones biotecnológicas potenciales para la solución de variados problemas actuales a nivel mundial.





**Figura 1.** Aplicaciones biotecnológicas de las bacterias marinas: biorremediación de ambientes contaminados con petróleo o con plásticos sintéticos; bacterias productoras de plásticos biodegradables, evaluación de nuevos fármacos y otros.

## Restauración biológica (biorremediación) de ambientes contaminados

Es sabido que derrames y fugas de petróleo afectan severamente al medio ambiente marino y costero debido a su alta toxicidad [Figura 2]. Es importante evitarlos, pero para mitigarlos existen estrategias físicas y químicas (barreras de contención, aspiradoras, agentes precipitantes, dispersantes, etc.). Sin embargo, para la restauración de los ambientes contaminados, es necesario recurrir a la degradación natural del petróleo por microorganismos, ya que sus capacidades han demostrado ser una alternativa más eficiente y coope-

**Figura 2.** Petróleo derramado en playa

rativa con la dinámica ambiental. En los ecosistemas marinos se hospedan diferentes poblaciones bacterianas que tienen rutas metabólicas para degradar algunos componentes del petróleo; por tanto, su identificación y caracterización es importante para el diseño de soluciones biotecnológicas que permitan responder de manera oportuna a los riesgos de la perforación y el transporte de crudos y derivados (ver "Bacterias del Golfo de México: su distribución y potencial aplicación biotecnológica" en *Biotecnología en Movimiento* No. 7). En nuestro grupo de investigación, hemos estudiado ampliamente la diversidad bacteriana en aguas y sedimentos del Golfo de México, donde hemos identificado especímenes de diferentes géneros bacterianos tales como *Pseudomonas*, *Alcanivorax*, *Cycloclasticus* y *Marinobacter*, entre otros; capaces de degradar hidrocarburos aromáticos (estructuras cíclicas) o alifáticos (estructuras abiertas, ya sea ramificadas o lineales). Normalmente, estas comunidades bacterianas se encuentran en una baja proporción, pero en presencia de altas concentraciones de petróleo (como sucede en los derrames), pueden

aumentar considerablemente y realizar la descomposición de los contaminantes [2]. Adicionalmente, hemos podido aislar y cultivar en el laboratorio, algunas de estas poblaciones bacterianas presentes en el Golfo de México, determinando con más detalle propiedades interesantes en cuanto a la degradación de hidrocarburos. Por ejemplo, disponemos de dos especies del género *Pseudomonas*: una de ellas capaz de consumir tres tipos de petróleo (ligero, mediano y pesado, dependiendo de su viscosidad), utilizándolo como su fuente de carbono y de energía, pudiendo degradar eficientemente hidrocarburos alifáticos de cadena larga (de 12 a 30 átomos de C) [3]. Del segundo aislado de *Pseudomonas stutzeri*, reconocimos la actividad de una enzima llamada catecol-di-oxigenasa [4], la cual actúa sobre un metabolito intermediario producido durante la degradación de compuestos aromáticos como el naftaleno y el fenol, que son altamente tóxicos. Esta actividad enzimática es alta y estable bajo diferentes condiciones físicoquímicas como son temperatura, pH y presencia de algunos inhibidores [4]. Otro grave problema actual que las bacterias



marinas pueden ayudar a resolver es el de la contaminación por plásticos derivados del petróleo, como el teraftalato de polietileno (PET), poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC), entre otros: en forma de botellas, bolsas, popotes, envolturas, etc. Se estima que cerca de 8 millones de toneladas de varios tipos de plásticos llegan cada año a los océanos [Figura 3]. Adicionalmente, los desechos plásticos se van descomponiendo en fragmentos más pequeños (microplásticos) los cuales pueden ser ingeridos por la fauna marina, introducirse y alterar la cadena trófica, e incluso estar presentes en los alimentos que consumimos (ver “Microplásticos en el ambiente marino” en *Bioteología en Movimiento*, No. 14). No obstante, diversos estudios han identificado que los desechos de plásticos son colonizados por diferentes grupos de bacterias marinas como *Bacillus*, *Alcanivorax* y *Pseudomonas*; algunas de ellas capaces de degradar tipos particulares de plásticos, aunque de manera parcial y muy lenta. A pesar de esto, se ha continuado buscando nuevas cepas bacterianas con mejores capacidades degradativas, y se ha avanzado en la caracterización



y optimización catalítica de las enzimas involucradas en la degradación de plástico. Esto haría posible explotar racionalmente la fisiología (y las enzimas) de estas bacterias para la biorremediación de ambientes contaminados con estos polímeros [5].

### Producción de bioplásticos a partir de bacterias marinas

Las bacterias marinas también son una fuente importante de una gran variedad de polímeros de interés

biotecnológico como poliésteres, biosurfactantes y pigmentos. Los Poli-hidroxi-alcanoatos (PHAs) son poliésteres empleados para la producción de plásticos biodegradables, debido a que exhiben características mecánicas similares a la de los plásticos convencionales, pero a diferencia de éstos, pueden ser degradados en menor tiempo por microorganismos presentes en el ambiente; además son biocompatibles y no tóxicos. Los PHAs son generalmente sintetizados por algunas bacterias, cuando se encuentran en presencia de una fuente de carbono en exceso, y se

**Figura 3.** Contaminación en mares por desechos plásticos.

**E**quidad de género  
Comisión de equidad de género IBT

El logro de la equidad de género requiere la participación de todos  
igualdaddegenero.unam.mx

CEG-IBT



Cubiertos y charola de bioplástico

acumulan dentro de las células en forma de gránulos como depósitos de energía [6]. Actualmente, el costo de producción de bioplásticos a partir de los PHAs, es mayor que el de los plásticos convencionales, lo

cual limita su amplio uso en nuestra vida cotidiana. Sin embargo, se han hecho escalamientos y evaluaciones de diferentes estrategias para disminuir el costo de producción de los bioplásticos, tales como aumentar la producción de PHAs en bacterias con modificaciones genéticas, la optimización de los medios de cultivo y el uso de diferentes fuentes de carbono que pueden utilizarse como materia prima para la producción de PHAs. De acuerdo con esto, el cultivo de algunas bacterias marinas productoras de PHAs como *Alcanivorax*, *Halomonas*, *Pseudomonas* y *Vibrio* han despertado in-

terés como estrategia para abaratar la producción de bioplásticos, considerando que algunas cepas producen grandes cantidades de PHAs; que pueden ser cultivadas en agua de mar, reduciendo el costo del medio de cultivo; que son competentes para el aprovechamiento de algunas fuentes de carbono económicas (por ejemplo residuos agroindustriales de soya y frutas, y del glicerol generado en la producción de biodiesel), y asimismo, la oportunidad de crecerlas en presencia de altas concentraciones de sal, lo cual inhibe la contaminación microbiana de los cultivos de producción de PHA [6].

### Bacterias marinas productoras de nuevos antibióticos

Actualmente, el uso indiscriminado de varios antibióticos ha promovido la selección de cepas de patógenos bacterianos multi-resistentes, que representan un problema grave de salud pública

INSCRÍBETE AL

## POSGRADO EN CIENCIAS BIOQUÍMICAS EN EL INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNAM

**OBJETIVO** Formar maestros y doctores en ciencias con una alta calidad académica, que sean capaces de desarrollar proyectos de investigación básica y/o aplicada, así como realizar labores de docencia y difusión de la ciencia.

Consulte en la página del posgrado en Ciencias Bioquímicas los detalles y requisitos en la convocatoria para ingreso a posgrados de la UNAM <http://www.mdc bq.posgrado.unam.mx/index.php>



Instituto de Biotecnología



UNAM



global, con una arsenal limitado o poco accesible de antibióticos efectivos, lo que a su vez se traduce en la prolongación de enfermedades, el incremento de los índices de mortalidad y de los costos de tratamiento y hospitalización. En consecuencia, se han implementado nuevas prácticas para el control del uso de los antibióticos, así como la exploración de nuevos compuestos que puedan ser efectivos contra las bacterias multirresistentes (ver números especiales 15 y 18 de *Biotechnología en Movimiento*). De manera general, los microorganismos del suelo han sido la principal fuente para la obtención de antibióticos; sin embargo, en los últimos 20 años, los ecosistemas marinos han llamado la atención para la búsqueda de nuevos antimicrobianos, dado que los microorganismos que los habitan han desarrollado alternativas metabólicas para la producción de moléculas con actividades diversas. Dentro de las bacterias marinas que se han estudiado, los grupos de firmicutes y de actinobacterias (básicamente de los géneros *Bacillus* y *Streptomyces*, respectivamente), son en quienes principalmente se han identificado nuevos compuestos que tienen actividad antimicrobiana sobre otras especies o cepas de bacterias causantes de enfermedades en humanos, plantas y peces. Algunos de estos compuestos han demostrado inclusive una buena actividad antibiótica sobre cepas

bacterianas multirresistentes y se encuentran en las primeras fases de evaluación en estudios preclínicos, en espera que gran parte de ellos puedan llegar a ser empleados como terapias anti-infecciosas en un futuro cercano [7].

## Conclusiones y perspectivas

La gran diversidad metabólica que han desarrollado las bacterias marinas para su adaptación al complejo ambiente en el que habitan, representa un gran potencial de aplicaciones biotecnológicas que pueden ayudar a solucionar problemas y retos alimentarios, sanitarios y ambientales a los que nos enfrentamos actualmente. Sin embargo, será necesario caracterizar con más detalle las capacidades metabólicas de estas bacterias para su optimización y aprovechamiento exitoso. De igual manera, es importante continuar la exploración de la diversidad bacteriana en diferentes hábitats del ecosistema marino, para identificar nuevas especies y biomoléculas con mejor desempeño, bajo un enfoque interdisciplinario que incluya la metagenómica, la bioinformática, la bioquímica y la biología molecular, así como la microbiología y la ingeniería bioquímica.

Contacto: [liliana@ibt.unam.mx](mailto:liliana@ibt.unam.mx)

Placa de cultivo con *Pseudomonas aeruginosa*

### Referencias [α - artículos publicados por integrantes del CIGoM]

1. Sunagawa S, Coelho LP, Chaffron S, et al. (2015). Structure and function of the global ocean microbiome. *Science* **348** (6237): 1261359. doi: 10.1126/science.1261359
2. α Godoy-Lozano EE, A Escobar-Zepeda, L. Raggi, E Merino, RM Gutierrez-Rios, K Juarez, L Segovia, AF Licea-Navarro, A Gracia, A Sanchez-Flores, L Pardo-Lopez (2018). Bacterial diversity and the geochemical landscape in the southwestern Gulf of Mexico. *Frontiers in Microbiology* **9**:1-15. doi: 10.3389/fmicb.2018.02528
3. α Muriel-Millán, L-F, JL Rodríguez-Mejía, EE Godoy-Lozano, N Rivera-Gómez, R-M Gutierrez-Rios, D Morales-Guzmán, MR Trejo-Hernández, A Estradas-Romero, L Pardo-López (2019). 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. *Frontiers in Marine Science*, **6**:1-15 doi: 10.3389/fmars.2019.00572
4. α Rodríguez-Salazar J, AG Almeida-Juarez, K Ornelas-Ocampo, S Millán-López, E Raga-Carbajal, JL Rodríguez-Mejía, LF Muriel-Millán, EE Godoy-Lozano, N Rivera-Gómez, E. Rudiño-Piñera, L Pardo-López (2020). Characterization of a novel functional trimeric catechol 1,2-dioxygenase from a *Pseudomonas stutzeri* isolated from the Gulf of Mexico. *Frontiers in Microbiology* **11**: 1-17. doi: 10.3389/fmicb.2020.01100
5. Roager L., & Sonnenschein EC. (2019). Bacterial candidates for colonization and degradation of marine plastic debris. *Environmental Science and Technology* **53**: 11636-11643.
6. Takahashi RYU, NA Santos Castilho, MA Castro da Silva, et al. (2017). Prospecting for marine Bacteria for polyhydroxyalkanoate production on low-cost substrates. *Bioengineering* **4** (3): 60. doi: 10.3390/bioengineering4030060.
7. Stincione P & Brandelli A, (2020). Marine bacteria as source of antimicrobial compounds, *Critical Reviews in Biotechnology*. **40**(3): 306-319. doi: 10.1080%2F07388551.2019.1710457

Laura Patricia Flores Gaytán es licenciada en Biotecnología Genómica de la Universidad Autónoma de Nuevo León y participó en el "XXX Verano de la Investigación Científica" de la Academia Mexicana de Ciencias 2020 en el IBT, bajo la supervisión del Dr. Luis Felipe Muriel Millán. La Dra. Liliana Pardo López es investigadora del Departamento de Microbiología Molecular del Instituto de Biotecnología UNAM (IBT) y Líder Institucional del Consorcio de Investigación del Golfo de México (CIGoM). El Dr. Luis Felipe Muriel Millán realizó una estancia posdoctoral en el CIGoM-IBT UNAM.