

La biorremediación: Una técnica que puede salvar al mundo de la contaminación.

Por Stefany Arocha

La contaminación ha ganado terreno en los últimos años debido a nuestro modelo de desarrollo basado en la [economía lineal](#) y al mal manejo de los residuos industriales, urbanos y agrícolas. Esto ha provocado el deterioro de los suelos, agua y aire con el consecuente desarrollo de enfermedades. La biotecnología conocida como biorremediación que aprovecha el potencial metabólico de los organismos vivos, puede jugar un papel importante para dejar a las futuras generaciones un planeta habitable en donde vivir.

Las actividades humanas y su impacto en el ambiente

Con el rápido incremento de la población mundial y el afán de suplir sus necesidades, la humanidad ha experimentado un gran cambio a nivel social, económico y cultural después de la llamada “revolución industrial” que surgió a partir del siglo XVIII. Sin embargo, el incremento de las actividades industriales, urbanas y agrícolas también ha impactado de manera negativa al ambiente durante los últimos años.

Según la [FAO](#) y el PNUMA (2021), las actividades industriales y mineras, los desechos urbanos e industriales, la extracción y el procesamiento de los combustibles fósiles (Figura 1), así como las prácticas agrícolas insostenibles y el transporte, son las principales fuentes de contaminación del suelo. Entre los principales contaminantes ambientales están los metales pesados, explosivos, plaguicidas, xenobióticos, elementos

radioactivos, petroquímicos, hidrocarburos, plásticos y surfactantes. La mayoría de estos [compuestos](#) son difíciles de remover debido a que no pueden ser degradados a través de los ciclos naturales. De esta forma, al no ser tratados de manera adecuada se acumulan en los suelos, son vertidos a los cuerpos de agua o terminan en el aire permaneciendo allí por muchos años. Estos desechos no solo deterioran los recursos naturales, también son una amenaza para la salud de los seres vivos provocando intoxicaciones y enfermedades, algunos inducen la generación de tumores o cáncer e incluso provocan la muerte.

¿Qué es la biorremediación?

En la actualidad, existen diferentes estrategias para la remediación de recursos naturales contaminados pero requieren de altos costos económicos ya que dependen de procesos químicos y físicos. Una alternativa a los métodos tradicionales de

remediación ambiental es el uso de los métodos biológicos. Pero ¿A qué nos referimos con métodos biológicos? En la naturaleza, algunos organismos nativos del medio contaminado tienen la capacidad de metabolizar estos compuestos para poder sobrevivir.

La [biorremediación](#) es la tecnología que aprovecha el potencial metabólico de organismos vivos como bacterias, algas, hongos y plantas y de sus enzimas para reducir, almacenar, volatilizar, degradar o transformar los compuestos contaminantes en inocuos para el ambiente. A través de esta tecnología estos organismos pueden ser utilizados para la remediación de suelos

o sedimentos, el tratamiento de aguas superficiales y subterráneas y de gases residuales de emisiones industriales.

Aplicaciones de la biorremediación

Las técnicas de biorremediación ambiental son empleadas desde hace varios años. Como ejemplo tenemos su aplicación en el área petrolera y petroquímica para la limpieza de derrames de petróleo en suelos y zonas costeras. Cuando los [hidrocarburos](#) llegan a las costas, algunas bacterias pertenecientes a las comunidades microbianas nativas logran sobrevivir al desarrollar la capacidad de degradar una parte de esta sustancia.



Figura 1. Derrame de petróleo desde la refinería El Palito del municipio Puerto Cabello en Carabobo, Venezuela ocurrido en el año 2020. Foto: Fundación Azul Ambientalista (Tomada de [Deutsche Welle](#)).

Pero cuando estos compuestos son abundantes en el medio, logran superar la capacidad de las bacterias para degradarlos y terminan dispersándose causando un desastre más grave. Cuando esto ocurre, se emplea la biorremediación aplicando dos métodos principales: **la bioaugmentación**, que consiste en insertar microorganismos capaces de degradar al contaminante y **la bioestimulación** al acelerar el crecimiento microbiano nativo con nutrientes añadidos al medio. Para lograrlo, se emplean

diferentes [técnicas de biorremediación](#).

Entre las más utilizadas están:

La biorremediación “in situ” de aguas subterráneas. Consiste en fomentar el crecimiento de los organismos nativos del subsuelo al incrementar la concentración de nutrientes para que degraden los contaminantes disueltos en el agua. **La biorremediación por Bioventing** y por **Air sparging** (Figura 2) fomentan la biodegradación aerobia del suelo al incrementar la concentración de oxígeno de este.

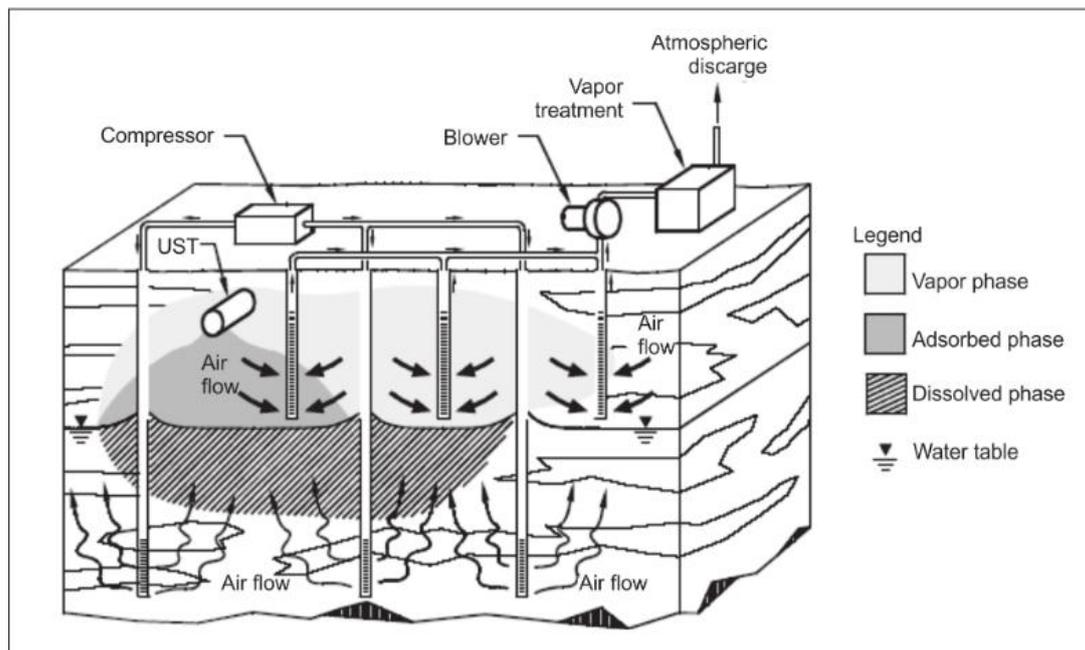


Figura 2. Sistema de Air sparging. Se inyecta aire a la zona contaminada para vaporizar las sustancias nocivas. Este vapor es extraído hasta las zonas no contaminadas para ser biodegradado y/o recuperado por extracción de vapores. Imagen tomada de E. [Gonzales, 2011](#).

La **biorremediación por Bioslurry** consiste en procesar el suelo en un biorreactor, el cual separa los componentes físicos del suelo y es mezclado con agua para controlar la presencia de nutrientes, microorganismos, oxígeno y pH.

En la **biorremediación por Landfarming y Biopilas**, el suelo es extendido en lechos sobre una solera impermeable para controlar la humedad, la temperatura, los nutrientes y el oxígeno y de esta manera se propicia la biodegradación. También se colocan sistemas de recolección de lixiviados para evitar la fuga de sustancias contaminantes.

Finalmente, en la **biorremediación por compostaje** el suelo es agrupado en pilas o hileras y a través de la biodegradación aerobia una parte de los contaminantes es degradada por los organismos del suelo, mientras que la otra es transformada en materia orgánica.

Organismos biorremediadores

La bacteria [*Pseudomonas aeruginosa*](#) es un organismo bien conocido por su alta patogenicidad en humanos, pero se ha reportado que varias cepas poseen la capacidad de degradar hidrocarburos en subproductos inocuos como el dióxido de carbono y agua. De esta forma, esta bacteria ha demostrado ser altamente eficiente para la limpieza de derrames de petróleo y sus derivados. En la contaminación por metales pesados, presenta una alta capacidad para remover cobre (Cu), arsénico (Ag), cadmio (Cd), Cesio (Cs) y una amplia variedad de iones (Hg^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Co^{2+} , Cd^{2+} , Fe^{2+} y Cr^{3+}) de las aguas residuales.

Además de *P. aeruginosa*, se han reportado más especies capaces de utilizar los hidrocarburos como fuente de carbono, entre los más conocidos [biodegradadores](#) se encuentran: *Achromobacter*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Rhodococcus*, *Vibrio*,

Alcaligenes y *Stenotrophomonas*. Otros géneros de bacterias son capaces de degradar [plaguicidas](#): *Ochrobactrum*, *Bacillus*, *Rhodopseudomonas*, *Pseudomonas*, *Rhodobacter*, *Hydrogenophaga*, *Azospirillum*, *Methylobacillus*, *Acinetobacter*.

Las bacterias no son los únicos organismos utilizados para la biorremediación de suelos y cuerpos de agua contaminados. Algunos [hongos](#) pueden sobrevivir y crecer en suelos contaminados con metales tóxicos y han mostrado un gran potencial para la biorremediación. En comparación con las bacterias, los hongos filamentosos tienen un micelio que se une al suelo lo que facilita el transporte o translocación de sustancias desde el sustrato y el transporte de

bacterias degradadoras de contaminantes a cierta distancia en el suelo. Algunas especies pertenecientes al género *Aspergillus* y *Penicillium* han sido investigadas para la degradación de hidrocarburos alifáticos, clorofenoles e hidrocarburos aromáticos policíclicos. También se han reportado especies de hongos con potencial para la degradación de [plaguicidas](#) como el DDT, acetocloro, glifosato, penoxsulam y tebuconazol. Entre estas especies podemos nombrar a *Fusarium sp.*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Fomitopsis pinicola* (Figura 3), *Tolyptocladium geodes*, *Cordyceps sp.*, entre otros.



Figura 3. *F. pinicola* creciendo en el tronco de un árbol caído. Foto: Jean-Pol Grandmont ([Wikicommons](#))

Las plantas y algas han demostrado una alta capacidad de remediación de suelos, aguas e incluso el aire contaminado. La biorremediación con algas, también llamada [ficorremediación](#), se utiliza para la remoción de nutrientes, metales, minerales, microorganismos patógenos y compuestos farmacéuticos de los ambientes marinos, aguas residuales y suelos. Las cianobacterias son las más utilizadas para el tratamiento de aguas residuales, como es el

caso de *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Ulothrix* y *Scenedesmus*.

De igual manera tenemos a la biorremediación con plantas, también llamada [fitorremediación](#) (Figura 4). Esta tecnología consiste en aprovechar la capacidad de las plantas de utilizar varios mecanismos para tratar los compuestos tóxicos del suelo, agua y aire. Así, es posible utilizar la fitoestabilización, rizodegradación, rizofiltración, fitodegradación, fitoextracción,

fitoacumulación y fitovolatilización. Algunas especies de [plantas](#), entre ellas el potto (*Epipremnum aureum*), anturio (*Anthurium andraeanum*), *Agave potatorum*, matapalo (*Ficus benjamina* y *Ficus elastica*), la hiedra común (*Hedera hélix*) y la lengua de suegra (*Sansevieria trifasciata*), pueden remover tolueno, benceno y formaldehído del aire. El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), *Typha aungustifoila* y la lenteja de agua (*Lemna*

minor) son capaces de absorber mercurio (Hg), cromo (Cr) y cobre (Cu) del agua. Mientras que las plantas de girasol (*Helianthus annuus*), maíz (*Zea mays*), alfalfa (*Medicago sativa*), lirio amarillo (*Iris pseudacorus*) y algunas especies de helechos, son capaces de remover metales pesados como el cobalto (Co), arsénico (As), cromo (Cr) y cierto tipo de plaguicidas del suelo.

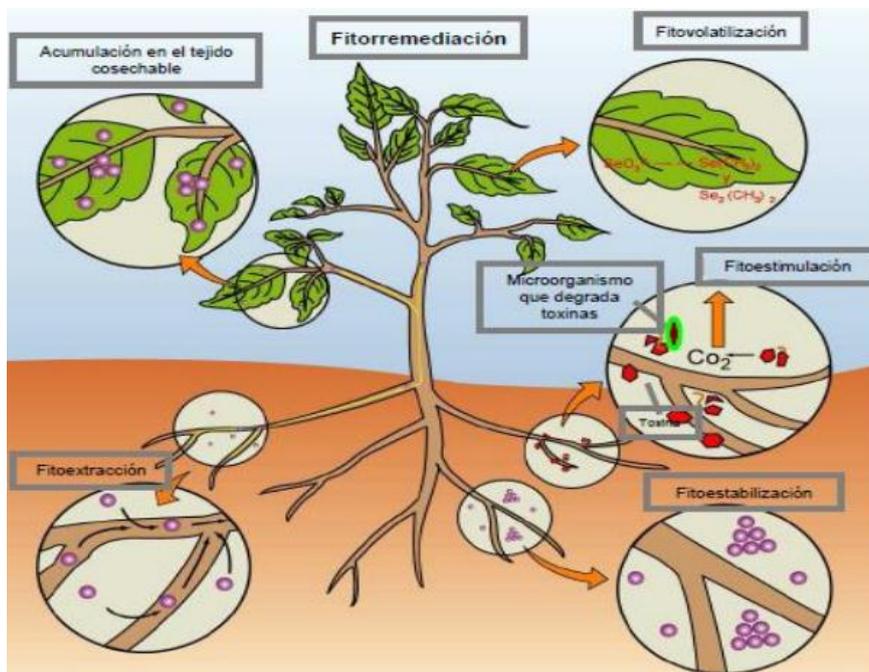


Figura 4. Tipos de fitoremediación. Imagen tomada de R. [Poveda, 2014](#).

Limitaciones de la biorremediación

Como todos los organismos vivos, los biorremediadores tienen [requerimientos](#) para su crecimiento y supervivencia en el medio y estos pueden depender de varios factores físicos, químicos y biológicos que afectan la eficiencia de la biorremediación. Estos factores incluyen la concentración del contaminante, pH, temperatura, nutrientes, presencia de oxígeno, el terreno y la toxicidad del contaminante.

Futuro de la biorremediación

La biorremediación es una biotecnología dinámica y adaptable, sostenible e innovadora ya que cada día se realizan nuevas investigaciones y se descubren más organismos capaces de degradar sustancias nocivas. También pueden ser optimizados a través de la ingeniería genética para ampliar el rango de compuestos metabolizados por ellos y son publicadas nuevas propuestas. Entre los mayores problemas que afectan a este campo de investigación están: la falta de apoyo económico, poca información sobre el mecanismo de acción de los

organismos y la falta de interés social, política e industrial en la gestión ambiental. Pero a medida que pasen los años, el problema con la contaminación en el ambiente se agravará y los actores

involucrados tendrán que buscar alternativas como la biorremediación para poder mitigar los efectos de nuestro modelo de desarrollo.

**Y tú ¿Crees que la biorremediación es una alternativa real para combatir la contaminación?
¡Te leemos!**



Stefany Arocha es estudiante del 7^{mo} semestre de la licenciatura en biología de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Divulga ciencia sobre el área de la biología a través de las redes sociales.