Recibido: 31/03/2025
Aprobado: 30/05/2025

El poder de la biorremediación en la lucha contra la contaminación[1]

The power of bioremediation in the fight against pollution

Palabras clave: biorremediación, ecosistemas, contaminante, microorganismos y solución.

Desde el inicio de la Revolución Industrial, el hombre comenzó la transformación de todos los procesos que realizaba de manera artesanal, desarrollándolos a través de máquinas que le permitieron llevarlos a cabo a gran escala. Cada siglo que transcurría significó para el ser humano un progreso que traspasaba las barreras de lo impensable. Esto, sin contemplar nunca el impacto negativo que tendría a largo plazo en el planeta Tierra. A raíz de los daños que la humanidad le ha causado a los distintos ecosistemas con su desarrollo, la implementación de técnicas de biorremediación representa una solución para enmendar muchos de los problemas de contaminación que existen en la actualidad.

En primer lugar, Cota, et al. (2019) manifiestan que la biorremediación surge como una alternativa prometedora frente a las técnicas de remediación tradicionales, que resultaban ser ineficaces, costosas y tardías en la recuperación de los ecosistemas. Así pues, esta biotecnología emplea sistemas biológicos como plantas, algas, bacterias y hongos para la descontaminación de ambientes producto de actividades industriales. Esto es posible gracias a su capacidad para degradar de forma natural dichos contaminantes y contrarrestar el efecto de gran parte de ellos, incluyendo los metales pesados, el petróleo y sus derivados, pesticidas y compuestos radiactivos.

Por otro lado, la remediación a través de sistemas biológicos tiene la capacidad de adaptarse no solo a los tipos de contaminantes presentes en la matriz afectada, sino también al entorno donde esta se encuentra, destacando como una solución biotecnológica capaz de degradar sustancias nocivas de manera flexible y versátil. ¿Significa esto que no existe un método específico para remediar cualquier contaminante presente en los ecosistemas? Concretamente, de acuerdo con Cota, et al. (2019), existen dos formas por medio de las cuales se puede llevar a cabo la biorremediación. *In situ*, si se realiza directamente en el sitio que se desea descontaminar con el uso de métodos como bioestimulación, bioaumentación y fitorremediación. O *ex situ*, si la matriz contaminada es transferida a otro lugar bajo condiciones controladas, para que sea tratada mediante técnicas como *landfarming*, biopilas, composteo y en biorreactores.

Dicho de otra forma, no existe una única fórmula que sea capaz de remediar los efectos nocivos de los contaminantes, ya que dependiendo de su naturaleza y del tipo de ecosistema en el que se encuentran, presentan características particulares que requieren un enfoque específico para su recuperación (Azubuike et al., 2016). De este modo, los investigadores han desarrollado una gran variedad de técnicas, como las mencionadas anteriormente, que hacen posible la restauración de los entornos de forma sostenible, ajustándose a criterios como la clase de contaminante, el entorno y el grado de contaminación, gracias a que los mecanismos biológicos tienen la capacidad de adaptarse a ellos para así acumular, atenuar o degradar la concentración de estos compuestos.

[1] Documento elaborado en el curso Competencias Idiomáticas Básicas a cargo de la Facultad de Filosofía y Ciencias Humanas de la Universidad de la Sabana, Chía-Cundinamarca, Colombia. Orientado por el Dr. Javier Herrera Cardozo. Chía, Cundinamarca, mayo 2025.

Teniendo en cuenta que las actividades industriales representan una fuente de contaminación para cualquier ecosistema, la biorremediación se presenta como una solución que aborda principalmente la restauración de fuentes hídricas y suelos degradados. Como muestra de este enfoque, es posible señalar los siguientes ejemplos: La degradación de hidrocarburos en ecosistemas contaminados, producto de las operaciones de extracción petrolera; la eliminación de metales pesados como plomo, cadmio y zinc, a través de la fitorremediación, utilizando plantas que incluyen *Thlaspi caerulescens*, *Zea mays* y *Gnaphalium chartaceum*; el uso de bacterias en la reducción de la toxicidad de los pesticidas organoclorados y en la desnitrificación de aguas residuales para evitar procesos de eutrofización (Caballero Cañón, 2022; Cota et al., 2019; Garzón et al., 2017).

Paralelamente, el aumento en la implementación de la biorremediación evidenció la dificultad que muchas bacterias tenían para descomponer químicos xenobióticos, dado su composición química inerte. Esto condujo al desarrollo de microorganismos genéticamente modificados que permitieran superar estas limitaciones, también conocidos como GEMs, por sus siglas en inglés. Los microorganismos, a través de la ingeniería genética, son alterados por técnicas in vitro que les otorgan un potencial superior de biorremediación al ser capaces de degradar una gran variedad de contaminantes, mayor eficacia y supervivencia, gracias a la mejora de sus capacidades inherentes. No obstante, según Rafeeq et al. (2023), se debe tener en cuenta que la creación sintética de una comunidad microbiana y su posterior introducción al ecosistema requiere el conocimiento de la ecología del entorno y de las comunidades microbianas que habitan allí.

Pese a que la biorremediación se presenta como una solución prometedora que permitirá restaurar los ambientes afectados y la posibilidad de legar un planeta preservado para las generaciones futuras, su éxito depende de condiciones fisicoquímicas específicas y estables, siendo estas difíciles de alcanzar en los entornos naturales, ya que suelen fluctuar constantemente en el entorno. Tal como enfatizan Azubuike, et al. (2016), su efectividad está sujeta a otros aspectos más allá de los criterios de selección de bacterias, entre los cuales se encuentran el pH, la temperatura, el oxígeno disponible, la presencia de sólidos, factores abióticos, entre otras variables que de no ser controladas afectan el rendimiento y eficacia de los microorganismos remediadores para la restauración de los ecosistemas contaminados.

En conclusión, la industrialización ha significado para el ser humano un progreso sin precedentes, aunque nunca se contemplaron los efectos que podía causarle al planeta y que hoy son evidentes a través de los problemas de carácter ambiental que se están presentando. La biorremediación surge como una alternativa prometedora para la descontaminación de muchos de estos ecosistemas al mostrar mayor eficacia y menores costos en comparación con los métodos tradicionales. Sin embargo, aún son numerosos los retos que esta biotecnología debe enfrentar, tales como la superación de las limitaciones relacionadas con las condiciones específicas requeridas para su funcionamiento y la reticencia de las industrias a implementarla. De este modo, nace la necesidad de continuar realizando investigaciones que permitan superar esos obstáculos, y así se convierta en un camino viable para abordar los daños ambientales.

Referencias

Azubuike, C. C., Chikere, C. B., & Okpokwasili, G. C. (2016). *Bioremediation techniques—Classification based on site of application: Principles, advantages, limitations and prospects.* World Journal of Microbiology and Biotechnology, *32*, 180. https://doi.org/10.1007/s11274-016-2137-x

Caballero Cañón, S. F. (2022). *Biorremediación: un proceso eficaz para la descontaminación de ecosistemas*. Revista Neuronum, 8(2), 47-50. https://eduneuro.com/revista/index.php/revistaneuronum/article/view/404/486

Cota Ruiz, K., Nuñez Gastelúm, J. A., Delgado Ríos, M., & Martinez Martinez, A. (2019). *Biorremediación: Actualidad de Conceptos y Aplicaciones.* Biotecnia, 21(1), 37-44. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=672971082005

Garzón, J. M., Rodríguez Miranda, J.P., Hernández Gómez, C. (2017). *Revisión del aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible.* Rev. Univ. Salud, 19(2), 309-318. http://dx.doi.org/10.22267/rus.171902.93

Rafeeq, H., Afsheen, N., Rafique, S., Arshad, A., Intisar, M., Hussain, A., Bilal, M., & Iqbal, H. M. N. (2023). *Genetically engineered microorganisms for environmental remediation.* Chemosphere, *310*, 136751. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136751

Autora

Karol Sofía Navarrete Cárdenas
Ingeniería Química
✉ karolnaca@unisabana.edu.co