

Capítulo 7

Conciencia ambiental a través de la biorremediación

*Arroyo-Morales Diana Karen¹
Galicia-De la O Angel de Jesús²
Reyes-Velázquez Christian³*

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26001791>



¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Rio. ORCID: 0009-0008-6760-7786.

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Rio. ORCID: 0009-0000-6908-9240.

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Rio. Email: christianreyes@bdelrio.tecnm.mx. ORCID: 0000-0001-8550-0167.

Resumen

Actualmente, la contaminación es uno de los problemas ambientales más relevantes a nivel mundial. La degradación de los recursos naturales representa un desafío crítico para la sostenibilidad del planeta. El objetivo es describir, ilustrar y enseñar cómo es que la biorremediación es una estrategia educativa que fomenta la conciencia ambiental y el pensamiento científico en los estudiantes de una manera práctica. Metodología: Se realizó una revisión de literatura científica sobre sustentabilidad, sostenibilidad, biorremediación y su aplicación como estrategia educativa. Resultados y discusión La biorremediación es una alternativa sostenible y efectiva; su aplicación educativa es prometedora para enfrentar desafíos ambientales y se requiere un enfoque transdisciplinario para integrar la biorremediación con la educación ambiental y lograr soluciones. Conclusiones: La biorremediación es una herramienta educativa clave, ya que proporciona un modelo práctico y sostenible para la enseñanza de las ciencias ambientales. Sirve para conectar la teoría con la práctica, mostrando a los estudiantes cómo los principios de biología, química y ecología resuelven problemas reales de contaminación. Así los conceptos abstractos se transforman en herramientas concretas para un impacto positivo en la comunidad.

Introducción

La crisis ambiental global es un problema complejo que afecta a todos los aspectos de la vida en la Tierra; si bien a menudo se discute en términos de cambio climático, contaminación del agua y del suelo, es un componente crítico y a menudo subestimado de esta crisis.

La relación del ser humano con el ambiente siempre ha sido contradictoria: por un lado, destruyendo para sobrevivir; por otro, reproduciendo o garantizando la reproducción de seres vivos (agricultura,

ganadería, etcétera). La conciencia sobre esa doble necesidad siempre ha estado presente; cualquier historia ambiental del mundo muestra que las sociedades menos desarrolladas tecnológicamente sufrieron de crisis ambientales, en la mayoría de los casos por depredar recursos naturales hasta su extinción (Tommasino et al., 2005).

En la actualidad, el cuidado ambiental ha ganado relevancia debido a los estragos provocados por la gestión deficiente de los recursos naturales; por ello, un campo que ha tomado notoriedad en las ingenierías ambientales es la disciplina de la biorremediación.

La biorremediación microbiana es la más conocida y utilizada, ya que emplea bacterias, hongos y algas para descontaminar ambientes afectados por sustancias nocivas. Además de esta, existen técnicas que aprovechan plantas o animales para lograr el mismo objetivo. No solo se consideran una medida de sustentabilidad, sino también de sostenibilidad, porque ofrece una alternativa ecológica, económica y menos invasiva que los métodos tradicionales de limpieza, como la incineración o el uso de productos químicos para transformar compuestos orgánicos tóxicos en productos metabólicos menos tóxicos o inocuos (Van Deuren et al., 1997).

La educación ambiental es crucial en la concientización del medio ambiente, por lo que debe precisarse el buen uso de conceptos como sostenible y sustentable.

Ambos conceptos se han usado indiscriminadamente, lo que ha provocado que hayan perdido su significado original. Hoy en día, casi cualquier producto o idea se vende como “sostenible” debido a su popularidad y a la percepción positiva que genera en la sociedad; esta saturación del término, impulsada por el marketing, ha debilitado su verdadero sentido, que es el de perdurar en el tiempo sin comprometer los recursos futuros (Ávila, 2018).

Por lo tanto, para fomentar prácticas sostenibles entre los estudiantes, es fundamental que las instituciones educativas promuevan una conciencia compartida sobre la relevancia de proteger el medio ambiente y adoptar hábitos responsables. Estas entidades tienen la responsabilidad de formar a jóvenes que puedan afrontar los retos ecológicos y sociales del mañana, preparándolos para convertirse en agentes de cambio y líderes comprometidos con la sostenibilidad en sus comunidades, profesiones y, en general, con el mundo (Gibson, 2021; Gössling, 2002).

Con base en estos planteamientos, se plantea la pregunta de investigación principal: ¿Puede la biorremediación servir como una estrategia educativa efectiva para promover la conciencia ambiental y el pensamiento científico de los estudiantes?

Por ello el objetivo es describir, ilustrar y enseñar como es que la biorremediación es una estrategia educativa que fomenta la conciencia ambiental y el pensamiento científico en los estudiantes de una manera práctica y relevante.

Al aprender sobre biorremediación, los estudiantes comprenden cómo la ciencia puede usarse para solucionar problemas reales como la contaminación. Esto los ayuda a entender el impacto antropogénico y las consecuencias de la contaminación en el ambiente, así como la necesidad de buscar soluciones a largo plazo sin afectar otros sectores y al mismo tiempo desarrollar un sentido de responsabilidad al volverse agentes de cambio y contribuir a un futuro más limpio.

1. Metodología

La estrategia de investigación fue una revisión de literatura científica especializada en los temas de sustentabilidad, sostenibilidad, biorremediación y su aplicación como una estrategia educativa. La búsqueda se realizó mediante el uso de metabuscadores especializados en la búsqueda de artículos científicos (Google académico). Como criterios de selección de los documentos analizados, se consideraron aquellos documentos con una antigüedad menor a diez años, a excepción de los considerados una autoridad literaria del tema analizado. Durante el proceso también se realizó una depuración de la literatura encontrada para seleccionar únicamente los artículos científicos.

A partir de lo anterior, se desarrollaron los temas de la síntesis de la información utilizando tablas y diagramas de la información conceptual.

2. Resultados y discusión

2.1 Sostenibilidad y desarrollo sustentable

En la actualidad, los conceptos sustentabilidad y sostenibilidad se usan como sinónimo de forma indiscriminada. Si bien están relacionados, no son lo mismo, citando a Monsalve y colaboradores 2022 en su artículo “Desde la sostenibilidad hasta el desarrollo sustentable: Una radiografía de la evolución del concepto”, los autores ofrecen una revisión histórica de ambos conceptos, desde el Informe Brundtland de 1987. Destacan que, aunque a menudo se usan indistintamente, el término sostenibilidad se enfoca en la capacidad de perdurar en el tiempo, buscando un equilibrio entre los tres pilares principales: económico, social y ambiental.

Por su parte, el concepto de desarrollo sustentable pone un mayor énfasis en el uso racional de los recursos naturales para proteger el medio ambiente, con un enfoque más directo en la acción. En esencia, la sostenibilidad es el objetivo (el estado ideal a alcanzar) y la sustentabilidad es el proceso o las acciones para lograrlo.

Es de crucial importancia la distinción de estos conceptos, ya que esto ayuda a los estudiantes a ser más críticos con la información que reciben. Pueden identificar si un proyecto que se autodenomina “sustentable” realmente cumple con los criterios más amplios de la “sostenibilidad” o si solo se enfoca en un aspecto, como la reducción de emisiones de gas, sin considerar el impacto en las comunidades locales o la equidad social.

2.2 Biorremediación en México

La biorremediación es una técnica de remediación ambiental que utiliza organismos vivos para degradar y eliminar contaminantes del suelo, el agua y el aire. Es una alternativa sostenible y respetuosa con el ambiente en comparación con los métodos convencionales de remediación, que a menudo son costosos y pueden tener impactos negativos adicionales. Esta ha demostrado ser efectiva en la eliminación de una amplia gama de contaminantes, como hidrocarburos, compuestos orgánicos persistentes y metales pesados (Morales et al., 2018).

El enfoque basado en el uso de microorganismos permite la degradación y transformación de contaminantes en formas menos tóxicas o incluso en productos inocuos. Además, la biorremediación puede ser aplicada in situ, evitando la necesidad de trasladar grandes cantidades de suelos o agua contaminados (Rodríguez et al., 2022).

En el sentido educativo, la biorremediación se presenta como una estrategia prometedora para poder abordar los desafíos de la contaminación ambiental.

2.3 Técnicas de biorremediación

La aplicación de la biorremediación puede ser de manera *ex situ* o *in situ*, basada en las características del contaminante, la ubicación y los requerimientos de los microorganismos. El éxito de estos métodos depende de los factores ambientales para los sistemas microbiológicos (luz, temperatura, oxígeno, pH, tipo de sustrato, suplementos, entre otros), ya que estos brindarán las condiciones adecuadas para su proliferación y ejecución de la actividad remediadora (Martínez, 2018).

Entre las metodologías más relevantes para la biorremediación se mencionan las más utilizadas en la actualidad: la biorremediación microbiana, fitorremediación, bioaumentación y bioestimulación.

En la Tabla 1 se muestran algunos ejemplos de los tipos de biorremediación anteriormente mencionados:

Tabla 1.
Conceptos de técnicas en biorremediación.

Técnica	Agente biológico principal	Mecanismo de acción básico	Condiciones óptimas	Aplicabilidad educativa
Fitorremediación	Plantas	Absorción, acumulación o transformación de contaminantes en raíces, tallos y hojas	Suelo contaminado, luz solar, humedad controlada	Cultivo escolar, monitoreo de crecimiento

Técnica	Agente biológico principal	Mecanismo de acción básico	Condiciones óptimas	Aplicabilidad educativa
Biorremediación microbiana	Bacterias y hongos	Degradación de compuestos tóxicos mediante metabolismo microbiano	pH neutro, temperatura moderada, nutrientes disponibles	Observación en laboratorio, cultivos en placas
Bioestimulación	Microorganismos nativos	Estimulación de actividad microbiana mediante adición de nutrientes o aireación	Presencia de contaminantes, buena oxigenación	Simulación de procesos en maquetas o acuarios
Bioaumentación	Microorganismos externos	Introducción de cepas específicas para acelerar la degradación	Compatibilidad con el entorno, control de competencia microbiana	Experimentos guiados con cepas seguras

Fuentes: (Vidali, 2001; Garzón et al., 2017; Guillén, 2021; Rubiano, 2022).

2.4 Desafíos y perspectivas futuras

La degradación ambiental, el cambio climático, así como la contaminación de suelos y cuerpos de agua, representan desafíos urgentes que precisan de soluciones sostenibles y una ciudadanía informada. La conciencia ambiental se torna esencial para que las nuevas generaciones comprendan el impacto de sus acciones y participen activamente en la restauración ecológica. En este contexto, la biorremediación se presenta como una alternativa viable, aunque esta se enfrenta a limitaciones técnicas y sociales que deben ser abordadas.

2.4.1 Educación en los estudiantes para un mejor mañana

Para enfrentar el desafío del cambio climático y promover la participación ciudadana en la protección del medio ambiente, es fundamental implementar una serie de acciones y estrategias educativas, por lo que se recomienda: establecer un sistema de tarifa de recolección de residuos,

fomentar la conservación de la naturaleza desde casa y en la escuela, realizar evaluaciones iniciales de los desechos generados, organizar actividades de educación y concientización, instalar dispositivos de ahorro de agua y captación de agua, y evaluar el uso de materiales que reduzcan el consumo de papel y otros recursos (Ochante et al., 2023).

A continuación, en la Tabla 2 se muestran dos casos destacados en los que se implementó la biorremediación en la educación ambiental.

Tabla 2.

Implementación de la biorremediación en la educación ambiental.

Autores	Estrategia educativa	Implicaciones
Calatrava et al., 2024	Revisión crítica sobre el uso de microalgas en tratamiento de aguas residuales.	Presenta especies utilizadas en distintos tipos de aguas (municipales, industriales, agrícolas). Discute la percepción pública, ingeniería genética y aplicaciones en bioeconomía circular.
Cárdenas y García, 2025	Enseñanza contextualizada a través de la resolución de problemas ambientales.	Extracción de celulosa de cáscaras de aguacate para remover amoxicilina del agua. Uso de residuos orgánicos. Reflexión crítica sobre la contaminación.
Jennings, 1997	Módulo didáctico basado en simulación computacional de procesos de biorremediación.	Uso del software BIO1D para modelar la degradación de fenol en aguas subterráneas. Promueve el aprendizaje activo en ingeniería ambiental mediante simulaciones visuales y análisis de parámetros.
Morales-Mancera et al., 2025	Análisis transdisciplinario sobre biorremediación en países megadiversos.	Sistematiza experiencias en Colombia, India, Brasil, etc. Destaca el uso de microalgas y consorcios en contextos vulnerables. Propone la biorremediación como estrategia educativa y de la conservación ambiental.

Autores	Estrategia educativa	Implicaciones
Ramírez et al., 2019	Aplicación práctica de biorremediación en laboratorios universitarios.	Uso de consorcios bacterianos y hongos inmovilizados para degradar residuos peligrosos como hipoclorito de sodio y colorantes. Evaluación experimental con ANOVA. Promueve conciencia sobre manejo de residuos en contextos académicos.
Rubiano, 2024	Diseño de material educativo para enseñar biorremediación con microalgas.	Encapsulación de microalgas en esferas de alginato. Aplicación en formación docente para integrar el tema en contextos escolares.
Soria y López, 2025	Divulgación científica con enfoque educativo sobre ficorremediación.	Explicación accesible de mecanismos como bioadsorción, biocaptación y biodegradación. Uso de microalgas para remover contaminantes emergentes. Potencial para reutilizar biomasa en biofertilizantes y bioplásticos.

2.4.2 Enfoques transdisciplinarios

La biorremediación no puede abordarse desde una sola disciplina. Su implementación efectiva requiere un enfoque transdisciplinario que integre conocimientos de biología, química ambiental, ingeniería, ecología, sociología y educación ambiental. Esta integración permite adaptar las soluciones a las características específicas de cada sitio contaminado, considerando tanto los aspectos técnicos como los sociales y culturales (Kota-Ruiz et al., 2018).

Teniendo como ejemplo las comunidades rurales afectadas por derrames de hidrocarburos, la participación de líderes locales y educadores ambientales ha sido clave para fomentar la aceptación de proyectos de biorremediación. La colaboración entre científicos y actores sociales permite diseñar estrategias que respeten el contexto geográfico y socio-

cultural, aumentando la eficacia y sostenibilidad de las intervenciones (Mamani, 2022).

La educación ambiental juega un papel fundamental en este proceso. Promover la conciencia ecológica desde edades tempranas y en espacios comunitarios fortalece el vínculo entre ciencia y sociedad. Según estudios recientes, integrar la educación ambiental en el currículo escolar contribuye a formar individuos comprometidos con la sostenibilidad y capaces de participar activamente en la transformación social (Mamani, 2022).

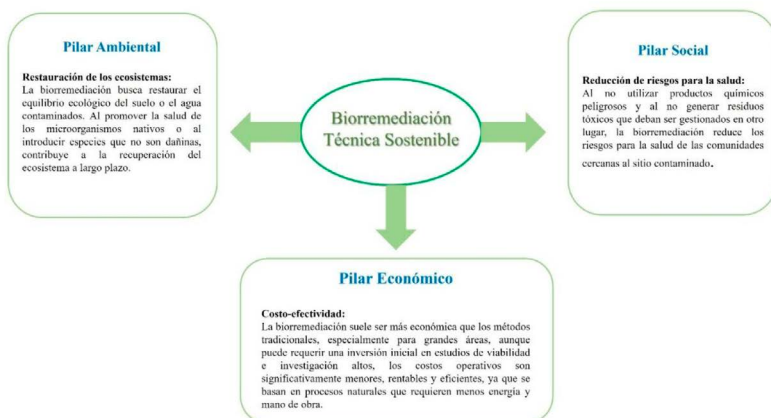
Además, el pensamiento complejo y la transdisciplinariedad permiten abordar los problemas ambientales desde múltiples perspectivas, superando las limitaciones de la especialización científica. Este enfoque favorece la creación de soluciones integrales que consideran la interdependencia entre el ser humano y su entorno (Cota-Ruiz et al., 2018).

3. Análisis de Resultados

La biorremediación para la educación de las nuevas generaciones es crucial, debido a que se puede considerar una técnica sustentable y también sostenible. Para entender el porqué, hay que analizarla desde la perspectiva de los tres pilares de la sostenibilidad (ambiental, social y económico) (Figura 1).

Figura 1.

Pilares que conformar la sostenibilidad en la biorremediación como una técnica sostenible.



4. Conclusiones

La biorremediación es una herramienta educativa fundamental, debido a que ofrece un modelo práctico sustentable y sostenible para la enseñanza de las ciencias ambientales y la promoción de un cambio de actitud hacia la protección del medio ambiente. Se subraya que este enfoque es replicable y adaptable para diferentes contextos educativos. De igual manera, si los vemos desde un enfoque industrializado, es más eficiente y constatable.

Sirve como ejemplo para conectar la teoría con la práctica, permite a los estudiantes ver cómo principios de la biología, la química y la ecología se aplican para resolver problemas tangibles y urgentes, como la contaminación del agua o el suelo. Enseñar sobre la biorremediación transforma conceptos abstractos (como el metabolismo microbiano, la descomposición de compuestos o la fotosíntesis) en herramientas prácticas que pueden tener un impacto positivo en sus propias comunidades.

5. Agradecimiento

A la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Boca del Río por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo.

Referencias

- Ávila, P. Z. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*, (28), 409–423.
- Calatrava, V., Gonzalez-Ballester, D., y Dubini, A. (2024). Microalgae for bioremediation: advances, challenges, and public perception on genetic engineering. *BMC Plant Biology*, 24. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05995-5>
- Cárdenas Moreno, K. J., y García Sierra, P. A. (2025). Biorremediación de aguas contaminadas con sustancias orgánicas emergentes: Un enfoque para integrar la educación ambiental [Trabajo de grado, Universidad Pedagógica Nacional]. Repositorio Institucional UPN. <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/21050>

- Cota-Ruiz, K., Nuñez-Gastelúm, J. A., Delgado-Ríos, M., y Martínez-Martínez, A. (2019). Biorremediación: Actualidad de conceptos y aplicaciones. *Biocencia*, 21(1), 37–44. <https://www.redalyc.org/pdf/6729/672971082005.pdf>
- Garzón, J. M., Rodríguez-Miranda, J. P., y Hernández-Gómez, C. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación. *Universidad y Salud*, 19(2), 309–320. <https://doi.org/10.22267/rus.171902.89>
- Gibson, C. (2021). Critical tourism studies: new directions for volatile times. *Tourism Geographies*, 23(4). <https://doi.org/10.1080/14616688.2019.1647453>
- Gössling, S. (2002). Human-environmental relations with tourism. *Annals of Tourism Research*, 29(2). [https://doi.org/10.1016/S0160-7383\(01\)00069-X](https://doi.org/10.1016/S0160-7383(01)00069-X)
- Guillén Luna, V. L. (2021). La biorremediación como técnica de desarrollo sustentable: Revisión sistemática. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <https://www.researchgate.net/publication/350709617>
- Jennings, A. A. (1997). A bioremediation teaching module based on BIO1D. *Environmental Modelling y Software*, 12(1), 1–18. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(96\)00009-3](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(96)00009-3)
- Mamani Mamani, R. (2022). Educación ambiental y políticas curriculares en Bolivia. *Arca*, 8(23), 576–592. <https://www.scielo.org.bo/pdf/arca/v8n23/a22-576-592.pdf>
- Martínez, L. M. (2018). Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Monsalve, D. B., Tibacuy, C. A. D., Cáceres, A. H., y Baquero, J. E. G. (2022). Desde la sostenibilidad hasta el desarrollo sustentable. *Latam*, 3(3), 101.
- Morales, S., y Hernandez, S. (2018). Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*.
- Morales-Mancera, L. T., Diaz Ortiz, L. L., Gutiérrez-Fonseca, J. E., y Vives, M. J. (2025). Restoring nature with microbes: bioremediation in the world's biodiversity hotspots. *Applied and Environmental Microbiology*. <https://doi.org/10.1128/aem.01442-25>

- Ochante-Ramos, R. H., Riveros-Davalos, M., y Mamani-Mercado, N. G. L. (2023). Prácticas sostenibles y conciencia ambiental. *Koinonía*, 8, 287–305.
- Ramírez, C., Ariza, J., Castellanos, J., y Camacho, J. (2019). Biorremediación de residuos peligrosos generados en laboratorios de docencia universitaria. *Conocimiento para el Desarrollo*, 10(1), 81–85. <https://doi.org/10.17268/CpD.2019.01.12>
- Rodríguez, y Zárata. (2022). Biodiversidad bacteriana en suelos contaminados. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56, 1.
- Rubiano Gil, L. F. (2022). Enseñanza de la biorremediación: diseño experimental con microalgas [Trabajo de grado, Universidad Pedagógica Nacional]. Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/17946>
- Soria Guerra, R. E., y López Torres, M. A. (2025). Biorremediación... ¿con microalgas?. *Universitarios Potosinos*, 281, 3–8. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Tommasino, H., Foladori, G., y Taks, J. (2005). La crisis ambiental contemporánea. ¿Sustentabilidad? *Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*, 9–26.
- Van Deuren, J., Wang, Z., y Ledbetter, J. (1997). Remediation technologies screening matrix and reference guide (3rd ed.). U.S. Environmental Protection Agency, Technology Innovation Office. <http://www.epa.gov/tio/remed.htm>
- Vidali, M. (2001). Bioremediation. An overview. *Pure and Applied Chemistry*, 73(7), 1163–1172. <https://doi.org/10.1351/pac200173071163>

