

## El potencial de la biotecnología para la atención de problemas ambientales: conceptos básicos

Ayala Camarena Daniela<sup>1</sup>, Ortega Méndez Norma<sup>2</sup>, Ramos Esquivel Fernanda Madai<sup>3</sup>, Vázquez-Núñez Edgar<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra, Calle Mutualismo S/N 38060, Celaya, Guanajuato, México

<sup>2</sup> División de Ingenierías, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato, Av. Juárez 77, C.P. 36000, Guanajuato, México.

<sup>3</sup> División de Ciencias e Ingenierías, Departamento de Ingenierías Química, Electrónica y Biomédica, Lomas de Bosque 103, 37150, León, Guanajuato, México

\* Correspondencia del autor: edgar.vazquez@ugto.mx

### Resumen

Dado el aumento de la contaminación ambiental en el suelo, agua y aire, así como la creciente demanda de bienes para satisfacer la demanda humana, se ha generado la necesidad de desarrollar estrategias sostenibles para resolverlos. El papel de la biotecnología ambiental juega un papel crucial como una estrategia viable para cumplir con tal fin; ésta alternativa resulta atractiva dada su versatilidad, mínima generación de residuos tóxicos y por ser amigable con el ambiente. La biotecnología ambiental puede ser utilizada además para reducir la generación de contaminantes, tratarlos y monitorear el proceso de remediación, por lo que puede emplearse en diferentes etapas y condiciones. En este documento se señalarán los contaminantes generados por actividades humanas así como los conceptos básicos relacionados con la biotecnología ambiental, enfatizando en los factores que dirigen los bioprocesos de remediación.

**Palabras clave:** biorremediación; biotecnología; contaminación ambiental; sustentabilidad

### Introducción

La biotecnología es definida como la integración de las ciencias naturales e ingeniería con el fin de obtener beneficio de organismos, células, componentes celulares o compuestos biológicos análogos y satisfacer demandas tecnológicas y servicios (Ratledge & Kristiansen, 2001); ésta disciplina ha crecido constantemente y de han diversificado las áreas de implementación i.e., medicina, alimentos y bebidas, agricultura, cosmética, remediación ambiental y restauración de ecosistemas (Verma & Mishra, 2022).

De manera particular, las contribuciones de la biotecnología han sido enormes, por ejemplo, la producción de sustancias activas empleadas en medicamentos novedosos para tratar afectaciones a la salud, la reducción de tiempos de producción de alimentos y bebidas debido a la incorporación de enzimas que aceleran la fermentación de bebidas o mejoran las propiedades organolépticas de alimentos, abriendo la posibilidad de generar nuevos productos con una reducción importante de costos, tiempo y contaminantes, contribuyendo de múltiples maneras a la sostenibilidad (Gavrilescu & Chisti, 2005); en éste sentido, la creciente preocupación sobre los problemas ambientales que impactan a los ecosistemas y matrices ambientales i.e., aire, agua y suelo, han dirigido hacia la aplicación de los principios de la biotecnología no solo para resolver problemas de contaminación sino en el desarrollo de estrategias para prevenir y minimizar la generación de residuos, así como con la participación en procesos ambientalmente amigables y durante el biomonitoreo en diversos procesos.

De la misma manera, la biotecnología ha sido de crucial importancia cuando se pretende alcanzar objetivos de desarrollo económico, social y ambiental, facilitando la transición hacia tecnologías y técnicas modernas que proveen síntesis químicas eficientes y de bajo grado de toxicidad, bioenergías renovables y aumento en la eficiencia de remoción de contaminantes. Como es sabido, el siglo 21 trae consigo un sinnúmero de retos que ponen a prueba el alcance de los conocimientos y aplicaciones tecnológicas para su resolución; por un lado la demanda de creciente de combustibles para mantener en movimiento el engranaje industrial y crecimiento económico y por otro, la preocupación sobre las alteraciones del equilibrio ecológico con impacto a nivel mundial, tales como el calentamiento global, la drástica disminución de la biodiversidad y la reducción

de la calidad de los suelos y recursos hídricos (Gu, 2021). De esta manera, la biotecnología ambiental, puede contribuir importantemente en la satisfacción de los requerimientos sociales, económicos y ambientales, siendo éstos los pilares fundamentales de la sustentabilidad (Hajian & Kashani, 2021), de los que se han enfatizado recurrentemente en agendas globales, tales como la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992, el Reporte de la Cumbre del Mundo sobre el Desarrollo Sustentable, llevada a cabo en Johannesburgo en 2002 y últimamente, durante la reunión de la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2015, donde se emiten los Objetivos para el Desarrollo Sustentable (ODS) en el marco de la Agenda 2030 (Tauringana & Moses, 2022). Específicamente, las subramas de la biotecnología que contribuyen con lo anteriormente mencionado consideramos a la a) biotecnología verde, enfocada en el manejo de plantas, su cultivo, manejo y manipulación para laumentar la productividad agrícola y reducir el uso de plaguicidas, fertilizantes y mejor respuesta a las condiciones de cambio climático, b) biotecnología roja, cuya área de interés se centra en la creación de compuestos químicos para la atención de problemas de salud y enfermedades emergentes, c) biotecnología blanca, en la que se manipula a microorganismos con el potencial para producir bioproductos de interes industrial y finalmente, d) biotecnología azul, que emple desarrollos tecnológicos para su uso en el sector acuícola (Barcelos et al., 2018). Aunado a estas subdisciplinas, es necesario mencionar que existen disciplinas complementarias que asisten al desarrollo biotecnológico, por ejemplo, la bioquímica, biología, química, ingeniería genética, ingeniería de proteínas, simulación molecular e ingeniería metabólica, entre otras.

Este documento provee información básica sobre cómo la biotecnología puede contribuir a la atención de problemas ambientales y explica los principios de los tramientos de suelo, aire y agua contaminados empleando bioprocesos, ofreciendo alternativas factibles y contruyendo con la sustentabilidad.

## Implicaciones de la biotecnología ambiental

El desarrollo de las actividades humanas y el aumento en el consumo de bienes y servicios han elevado la liberación de contaminantes específicos por sector i.e., contaminantes atmosféricos (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, Gases de Efecto Invernadero (GEI), y material particulado), descargas a cuerpos de agua (compuestos orgánicos, inorgánicos, biológicos y lixiviación provenientes del suelo, el cual puede verse afectado por mala disposición de residuos tóxicos, plaguicidas y metales pesados, entre otros (Arora et al., 2022). En la Fig. 1 se esquematizan los diferentes contaminantes liberados por las actividades antropogénicas.

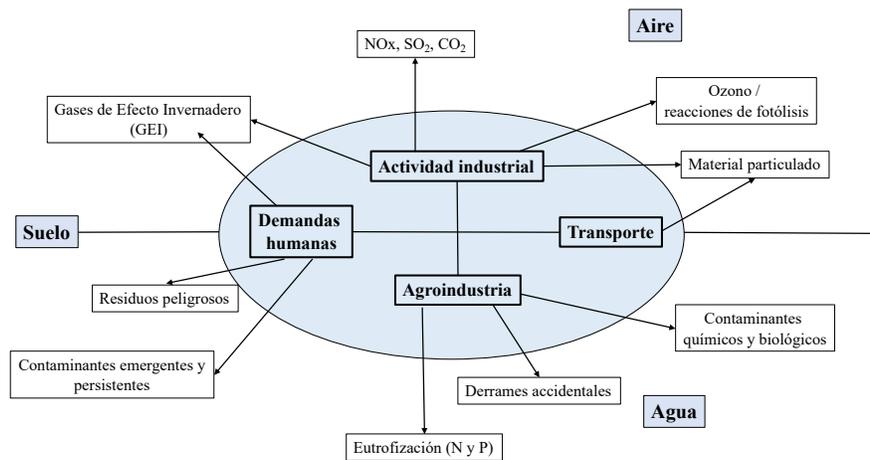


Fig. 1. Emisión de contaminantes al ambiente proveniente de actividades antropogénicas

Diversos estudios han demostrado que los tratamientos biotecnológicos para la eliminación de contaminantes presentes en el ambiente, observándose la remoción parcial o total de éstos. Las biotecnologías empleadas han recurrido a microorganismos, plantas o animales bajo condiciones ambientalmente amigables y en ausencia de agentes químicos agresivos coadyuvantes. Los bioprocesos que se encuentran disponibles con mayor frecuencia y éxito son la biorremediación que incluye bioaumentación, fitorremediación, bioestimulación, biocompostaje, entre otras; ingeniería genética para aplicaciones ambientales, bioenergías provenientes de biomasa, etc. (Nag et al., 2022). En particular, cuando se emplean las biotecnologías de remediación, se

observan los procesos de biotransformación que incluyen la mineralización, transformación e inmovilización de compuestos contaminantes; estos bioprocesos se ven afectados por factores bióticos y abióticos, los cuales pueden favorecerlos o inhibirlos (Haripriyan et al., 2022). En la Fig. 2 se resumen éstos factores.

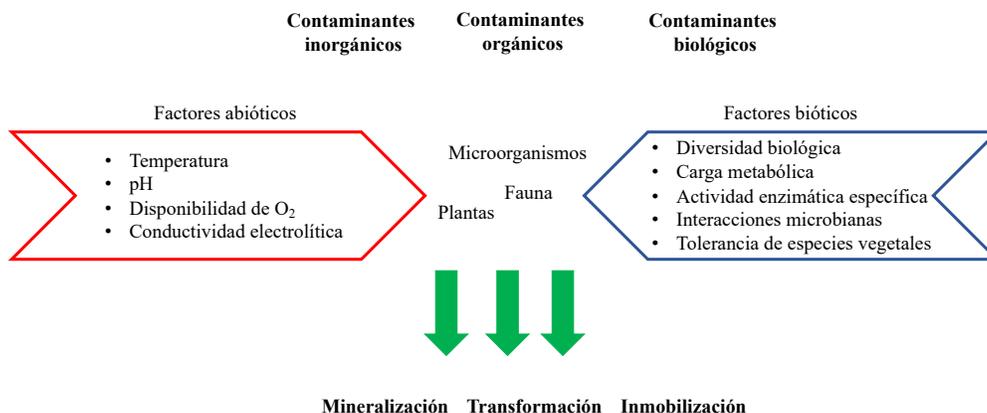


Figura 2. Componentes bióticos y abióticos condicionantes en procesos de biotecnológicos

Los bioprocesos involucrados en la remoción de contaminantes yacen sobre reacciones biológicas llevadas a cabo por microorganismos o plantas; estas reacciones son una respuesta de defensa ante la presencia de compuestos tóxicos. Es posible conseguir la biodegradación completa o incompleta de los contaminantes, para el primer caso la mineralización es el proceso de transformación hasta la obtención de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y sales inorgánicas inocuas; mientras que para el segundo caso los compuestos tóxicos son parcialmente descompuestos y pueden generar tanto moléculas inócuas como tóxicas, y en algunas ocasiones con mayor grado de toxicidad que el compuesto original. Para el caso de la biodegradación incompleta es importante considerar otras alternativas que permitan aumentar el éxito del proceso.

## Factores que inciden en la biorremediación ambiental

Es posible identificar dos grupos de factores que afectan el proceo de biorremediación ambiental, estos son los relacionados con las características ambientales de la matriz bajo tratamiento i.e., temperatura, pH, composición mineral, relación aire:suelo:agua, presencia de nutrientes, entre otros y aquellos asociados a la naturaleza del contaminante i.e., concentración, estado de agregación, estado físico (sólido, líquido, gaseoso), presencia de grupos funcionales, tipo de enlaces, etc (Jabbar et al., 2022). De la misma manera, la participación de los microorganismos y su carga metabólica, es fundamental para mediar los procesos de descontaminación y éstos presentan un rango de alcance de contaminantes muy amplio (Jujvarapu et al., 2022). Estos factores están representados en la siguiente figura (Fig. 3).

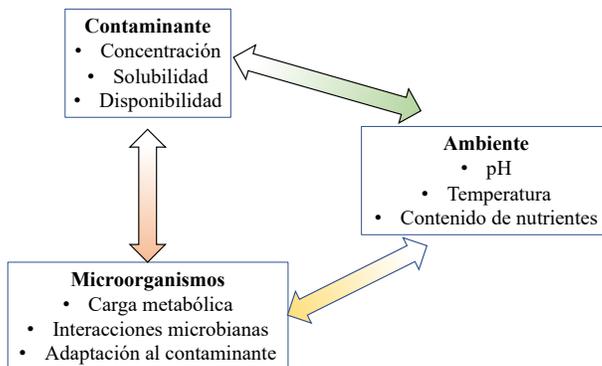


Figura 3. Interconexiones entre los factores presentes en biotecnologías de remediación

De manera particular, se ha identificado tanto para el agua como el suelo, se han observado óptimos resultados cuando el contenido de oxígeno es alto, es decir, condiciones aerobias y con un porcentaje de espacio de poro de 10%, cuenta con alta disponibilidad de C y N (fundamentales para la nutrición de microorganismos) y en particular para el suelo se desea un contenido de retención de agua (CRA) de 30% aproximadamente, pH de entre 5.5 a 8.8 y con bajo contenido de arcilla o limo. Respecto a los contaminantes, siempre es preferible que estos posean bajo grado de toxicidad y estructuralmente simples (Srvaya & Sangeetha, 2022).

Cuando hablamos del biotratamiento de aire contaminado, se centran los esfuerzos para eliminar olores y compuestos orgánicos volátiles (COVs) (Shareefdeen et al., 2005). Las emisiones de olores representa un problema serio para los residentes próximos a las plantas industriales; por otro lado, los compuestos volátiles son recurrentes no solo de procesos industriales, éstos se encuentran presentes en una amplia variedad de productos de uso diario p.e., productos cosméticos, farmacéuticos, limpieza, etc.

Para el tratamiento de corrientes gaseosas, los biofiltros son los principales sistemas empleados, los cuales operan bajo condiciones de temperatura y presión ambientales. Otras alternativas son los biolavadores, los cuales proveen un sistema eficiente de remoción el cual se fundamente principalmente en procesos de biodegradación microbiana, para lo cual, se procura tener condiciones de humedad, pH y temperatura adecuadas para los microorganismos.

Los bioprocesos muestran ventajas considerables respecto a otras alternativas convencionales, algunos criterios para la selección de éstos son: 1) que provengan de fuentes renovables, 2) que sean ambientalmente amigables, 3) generación de residuos mínima, 4) que los residuos puedan separarse mediante procesos simples, 5) que se desarrollen con el menor número de pasos y 6) que sean seguros (Gavrilescu, 2010).

## Bibliografía

- Arora, S., Kumar, A., Ogita, S., & Yau, Y.-Y. (2022). *Innovations in Environmental Biotechnology*.
- Barcelos, M. C., Lupki, F. B., Campolina, G. A., Nelson, D. L., & Molina, G. (2018). The colors of biotechnology: General overview and developments of white, green and blue areas. *FEMS microbiology letters*, 365(21), fny239.
- Gavrilescu, M. (2010). Environmental biotechnology: Achievements, opportunities and challenges. *Dynamic biochemistry, process biotechnology and molecular biology*, 4(1), 1-36.
- Gavrilescu, M., & Chisti, Y. (2005). Biotechnology—A sustainable alternative for chemical industry. *Biotechnology advances*, 23(7-8), 471-499.
- Gu, J.-D. (2021). On environmental biotechnology of bioremediation. *Applied Environmental Biotechnology*, 5(2), 28-33.
- Hajian, M., & Kashani, S. J. (2021). Evolution of the concept of sustainability. From Brundtland Report to sustainable development goals. En *Sustainable Resource Management* (pp. 1-24). Elsevier.
- Haripriyan, U., Gopinath, K., Arun, J., & Govarthan, M. (2022). Bioremediation of organic pollutants: A mini review on current and critical strategies for wastewater treatment. *Archives of Microbiology*, 204(5), 1-9.
- Jabbar, N. M., Alardhi, S. M., Mohammed, A. K., Salih, I. K., & Albayati, T. M. (2022). Challenges in the implementation of bioremediation processes in petroleum-contaminated soils: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 18, 100694.
- Jujavarapu, S. E., Nguyen, V., Nadda, A. K., & Vo, D. N. (2022). Microbial enzymes for green energy and clean environment. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 97(2), 325-326.
- Nag, M., Lahiri, D., Ghosh, S., Garai, S., Mukherjee, D., & Ray, R. R. (2022). Emerging Technologies in Environmental. *Innovations in Environmental Biotechnology*, 531-560.
- Ratledge, C., & Kristiansen, B. (2001). *Basic biotechnology*. Cambridge University Press.
- Shareefdeen, Z., Herner, B., & Singh, A. (2005). Biotechnology for air pollution control—An overview. *Biotechnology for odor and air pollution control*, 3-15.

- Sravya, K., & Sangeetha, S. (2022). Feasibility study on bioremediation techniques to contaminated soils. *Materials Today: Proceedings*, 51, 2556-2560.
- Tauringana, V., & Moses, O. (2022). *Environmental Sustainability and Agenda 2030: Efforts, Progress and Prospects*.
- Verma, T., & Mishra, A. (2022). Trends and Latest Developments in Industrial Biotechnology. *International Journal of Industrial Biotechnology and Biomaterials*, 8(1), 24-27.