

Recibido: 03.10.2022 • Aceptado: 04.02.2025

**Palabras clave:** Fitorremediación, microalgas, remoción, contaminantes emergentes.

# Biorremediación... ¿con microalgas?

RUTH ELENA SORIA GUERRA  
*ruth.soria@uaslp.mx*  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, UASLP  
MARÍA ANDREA LÓPEZ TORRES  
*a210200@alumnos.uaslp.mx*  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, UASLP

La presencia de nuevos contaminantes y la ineficiencia de los métodos actuales de tratamiento de aguas residuales hacen necesaria la búsqueda nuevas estrategias con un bajo impacto ambiental. En este trabajo se explica brevemente qué es la biorremediación y cómo el uso de microalgas puede contribuir con la remoción de los diferentes tipos de contaminantes presentes en el agua.

En la actualidad, la población mundial y su esperanza de vida continúan en aumento, lo que a su vez incrementa la demanda de recursos necesarios para satisfacer sus necesidades básicas. Lo que hoy en día se conoce como “modernidad” ha traído consigo una sensación de bienestar y desarrollo. No es extraño ver diariamente cientos de fotografías de personas compartiendo sus nuevas adquisiciones, viajes y eventos; sin embargo, es necesario ver la otra cara de la moneda y prestar atención a las consecuencias que nuestros logros como humanidad conllevan para el planeta, el medio ambiente y las especies que habitan la Tierra. Esto es especialmente relevante cuando fenómenos como el calentamiento global, las sequías, las inundaciones o la contaminación afectan recursos esenciales para la supervivencia humana, como el agua, el aire o los suelos de cultivo de donde obtenemos alimento.

En gran medida, el impacto ambiental de los residuos generados por nuevos productos rara vez se consideran a largo plazo, por lo que estos suelen clasificarse como contaminantes emergentes, es decir, contaminantes cuyo potencial aún es desconocido. Un ejemplo de ello es el blanqueamiento de corales y los efectos adversos en peces ocasionados por los bloqueadores solares que la población utiliza como parte de su rutina de cuidado personal o al realizar actividades acuáticas recreativas. La cantidad de residuos generada día con día repercute directamente en su método de disposición o tratamiento. Los basureros se encuentran excediendo su capacidad de acumulación y la industria genera cantidades de residuos cada vez más grandes. Esta sobreproducción genera una clasificación inadecuada de los residuos y la liberación de contaminantes en zonas donde no deberían encontrarse, como los cuerpos de agua naturales.

Desde la educación básica hemos escuchado que el agua es un recurso no renovable que, en algún momento, podría agotarse. Hoy en día, comenzamos a sentir los efectos de su escasez, ya que es cada vez más frecuente ver noticias sobre sequías en periódicos y redes sociales o escuchar anécdotas sobre la falta de agua y su impacto directo en la sociedad y la industria.

Aunque en la actualidad existen métodos para el tratamiento de aguas y la remediación de cuerpos de aguas naturales, aún hay mucho trabajo por hacer, ya que, en muchas ocasiones, dichos tratamientos no son suficientemente efectivos, resultan costosos, difíciles de implementar o generan consigo problemas mayores, como la generación de residuos incluso más tóxicos. Surge entonces la pregunta: ¿existe algún método accesible que pueda sustituir o complementar los métodos actuales de tratamiento de aguas? La respuesta es sí, y se llama biorremediación.

### **¿Qué es la biorremediación?**

La biorremediación es todo aquel proceso que requiere la acción de organismos biológicos (microalgas, plantas, bacterias, hongos, etcétera) para la remoción, degradación o transformación de contaminantes en el agua y el suelo. Este sistema de descontaminación puede llevarse a cabo *in situ*, es decir, en el mismo lugar donde se encuentra el contaminante, o *ex situ*, retirando el medio contaminado y empleando herramientas como biopilas o biorreactores.

A su vez, la biorremediación puede clasificarse en dos tipos: la bioestimulación, que consiste en el aprovechamiento de las especies presentes en el medio mediante la adición de nutrientes y oxígeno, con la finalidad de otorgarles las condiciones necesarias para la descontaminación del sistema;

# Biorremediación... ¿con algas?



La presencia de nuevos contaminantes y la ineficiencia de los métodos actuales de tratamiento de aguas residuales hacen necesaria la búsqueda de nuevas estrategias con un bajo impacto ambiental. En este trabajo se explica brevemente qué es la biorremediación y cómo el uso de microalgas puede contribuir con la remoción de los diferentes tipos de contaminantes presentes en el agua.



La biorremediación es todo aquel proceso que requiere la acción de organismos biológicos (microalgas, plantas, bacterias, hongos, etcétera) para la remoción, degradación o transformación de contaminantes en el agua y el suelo. Este sistema de descontaminación puede llevarse a cabo *in situ*, es decir, en el mismo lugar donde se encuentra el contaminante, o *ex situ*, retirando el medio contaminado y empleando herramientas como biopilas o biorreactores.



El uso de microalgas en biorremediación presenta la ventaja de que, dependiendo del contaminante tratado, la biomasa generada puede reutilizarse en productos de alto y bajo valor agregado, como biofertilizantes, bioplásticos y biofibras, o incluso como alimento para ganado rico en proteínas. Entre sus beneficios destacan los bajos costos, mayor eficiencia y la capacidad de remover contaminantes en concentraciones difíciles de tratar con los métodos tradicionales



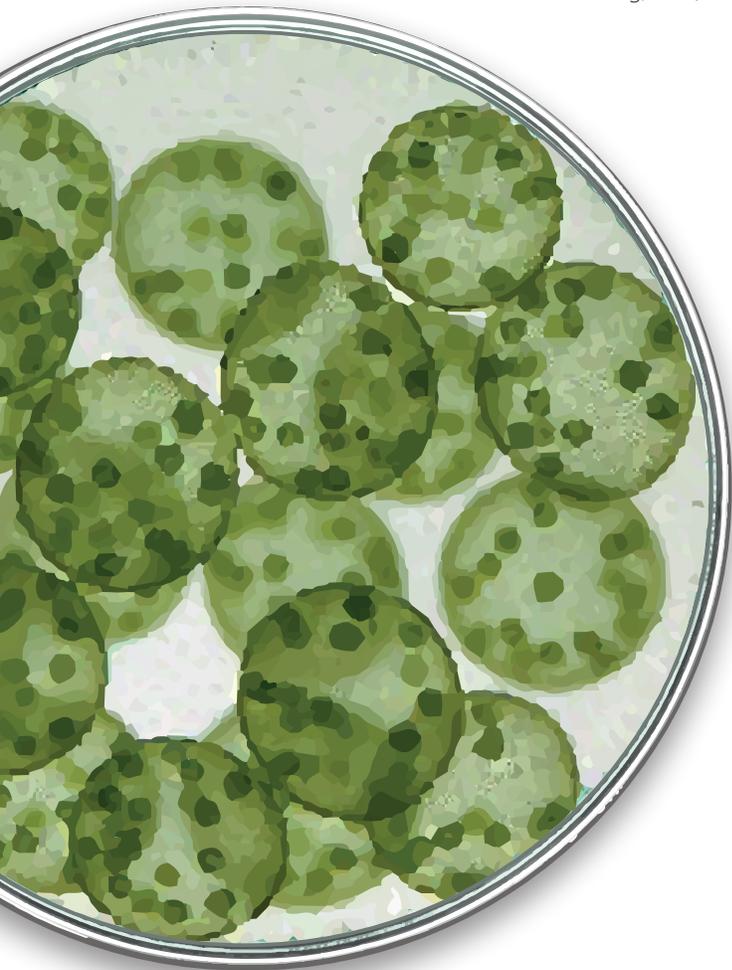
Soria y López (2025), *Universitarios Potosinos*. 281, pp. 3-8

y la bioaumentación, que se refiere a la incorporación de organismo o microorganismo específicos en el medio donde se encuentra presente el contaminante (Adams, Fufeyin, Okoro, & Ehinomen, 2015).

### **Microalgas en biorremediación**

Las microalgas pueden definirse como plantas de tamaño microscópico responsables del 32% de la fotosíntesis global, formando parte de los sistemas de aguas naturales (tanto de agua salada como dulce) y constituyendo la principal fuente de alimento de las especies acuáticas (Priyadarshani, Sahu, & Rath, 2011).

Estos microorganismos son capaces de desarrollarse bajo condiciones adversas, por ejemplo, en condiciones de estrés por escasez de nutrientes y en presencia de altas concentraciones de sales y contaminantes; así como con variaciones de temperatura. Estas características, además de su alta eficiencia fotosintética, propician el crecimiento de las microalgas en aguas residuales y las convierten en una excelente opción para ser utilizadas en procesos de biorremediación (Leong & Chang, 2020).



El uso de microalgas en biorremediación presenta la ventaja de que, dependiendo del contaminante tratado, la biomasa generada puede reutilizarse en productos de alto y bajo valor agregado, como biofertilizantes, bioplásticos y biofibras, o incluso como alimento para ganado rico en proteínas. Entre sus beneficios destacan los bajos costos, mayor eficiencia y la capacidad de remover contaminantes en concentraciones difíciles de tratar con los métodos tradicionales (Sutherland & Ralph, 2019). Esta última característica es de especial relevancia, ya que, en muchas ocasiones, las plantas de tratamiento de aguas residuales liberan contaminantes en concentraciones demasiado altas para el medio ambiente, pero muy bajas para ser tratadas; no obstante, las microalgas son capaces de removerlos con mayor facilidad.

### **Métodos de biorremediación con microalgas:**

**Bioadsorción:** La bioadsorción es un proceso independiente del metabolismo de las microalgas que ocurre mediante la interacción del contaminante con los diferentes grupos funcionales presentes en los componentes de la pared celular y en otras sustancias producidas por estos microorganismos, como los polisacáridos extracelulares.

La cantidad de contaminante adsorbido dependerá de su naturaleza (siendo más eficiente para compuestos hidrofóbicos que para los hidrofílicos), así como del área superficial y la naturaleza de los componentes disponibles en la pared celular de la microalga. Estos componentes presentan mayor afinidad y especificidad por ciertos compuestos según las interacciones químicas involucradas, además de las propiedades fisicoquímicas del medio en el que se encuentren, como el pH, la temperatura y las condiciones de óxido-reducción (Sutherland & Ralph, 2019).

Al no ser un proceso metabólico, la bioadsorción puede llevarse a cabo tanto con células vivas como muertas, lo que representa una gran ventaja, ya que al no tener que controlar de forma tan estricta parámetros como temperatura, pH, iluminación o cantidad de nutrientes disponibles, esto permite reducir el costo de su implementación. **Biocaptación:** A diferencia de la bioadsorción, en la biocaptación los contaminantes son incorporados o asimilados al interior de la microalga mediante proteínas intracelulares y otros compuestos. Las tres principales formas de biocaptación son: a) difusión pasiva, b) difusión facilitada y, c) absorción activa dependiente de energía.

La difusión pasiva no requiere energía ya que se realiza mediante gradiente de concentración, es decir, parte de una concentración alta del contaminante al exterior hacia una concentración baja al interior de la célula. Este mecanismo permite el transporte de moléculas no polares, liposolubles y de bajo peso molecular. Por su parte la difusión facilitada requiere de la acción de proteínas transportadoras que facilitan el ingreso del contaminante al interior de la célula. Finalmente, el transporte activo implica el uso de energía por parte de la célula.

En general, el éxito de la biocaptación depende en gran medida de los factores externos del medio ambiente, así como de la capacidad del microorganismo para captar el contaminante sin que este resulte tóxico (Sutherland & Ralph, 2019).

Biodegradación: La biodegradación o biotransformación consiste en el uso de las microalgas para convertir o transformar contaminantes de moléculas complejas

en moléculas más simples, por lo que es considerada la tecnología de biorremediación más prometedora. Puede llevarse a cabo mediante dos vías: *a)* degradación metabólica, donde el contaminante puede fungir como como aceptor-donador de protones y como fuente de carbono, contribuyendo al crecimiento de la biomasa; o *b)* mediante co-metabolismo, en el cual el contaminante es degradado por enzimas para la generación de nutrientes. La biotransformación puede ocurrir en el exterior de la célula mediante una degradación inicial realizada por enzimas, para luego degradar las moléculas simplificadas en el interior mediante biocaptación (Sutherland & Ralph, 2019).

Existen reportes que demuestran el uso de microalgas para la eliminación de distintos tipos de contaminantes, tales como:

*a)* Metales pesados: Constituyen la principal fuente de contaminación de las aguas residuales y naturales. Proviene de los desechos industriales y de la actividad minera. Son tóxicos y tienden a acumularse en la flora

Contaminante	Especie	Porcentaje de remoción (%)	Método de biorremediación
Tramadol	<i>Scenedesmus obliquus</i>	0.9	Bioadsorción
Ácido 7-aminocefalosporánico	<i>Chlorella sp., Chlamydomonas sp.</i>	100	Bioadsorción
Carbamazepina	<i>Chlorella sp., Consorcios de microalgas</i>	>70	Bioadsorción y Biodegradación
Tramadol			
Fluconazol			
Bisfenol A	<i>Chlamydomonas mexicana, Chlorella vulgaris</i>	0.24	Biocaptación
Cafeína	<i>Consorcio de microalgas</i>	0.99	Biodegradación
Ciprofloxacina	<i>Chlamydomonas mexicana</i>	0.56	Biodegradación
Ibuprofeno	<i>Chlorella sp., Consorcios de microalgas</i>	98-100	Biodegradación y Biocaptación
Arsenico	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	38.6	Bioadsorción
	<i>Chlorella vulgaris</i>	32.4	Bioadsorción
	<i>Scenedesmus almeriensis</i>	41.7	Bioadsorción
Cadmio	<i>Chlorella sp.</i>	92.5	Bioadsorción
	<i>Scenedesmus sp.</i>	60.5	Bioadsorción
Cromo	<i>Senedesmus quadricauda</i>	100	Bioadsorción
	<i>Chlorella minutissima</i>	99.7	Bioadsorción
Plomo	<i>Chlorella sp.</i>	78	Bioadsorción
Mercurio	<i>Chlorella vulgaris</i>	72.9	Bioadsorción
	<i>Spyrogira sp.</i>	76	Bioadsorción

Tabla 1.

Se muestra el método y porcentaje de remoción de algunos de los principales contaminantes utilizando microalgas.



## RUTH ELENA SORIA GUERRA

Egresada de la Licenciatura en Químico Farmacobiólogo por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) y doctora en Ciencias en Biología Molecular por el Instituto Potosino de Ciencia y Tecnología (IPICYT). En la actualidad se desempeña como coordinadora general de posgrados de la Facultad de Ciencias Químicas de la UASLP, trabajando además en proyectos tales como la remoción de contaminantes emergentes con microalgas, así como estrategias bioquímicas y moleculares para incrementar la cantidad de metabolitos de interés en microalgas.

y fauna en contacto con ellos, aumentando el riesgo ser transferidos al ser humano mediante los alimentos y agua (Priyadarshani, Sahu, & Rath, 2011).

b) Hidrocarburos: Compuestos como la gasolina, diésel y petróleo representan el 48 % de la contaminación de los océanos, mientras que el petróleo crudo un 29 %. Estos llegan al agua por derrames de las refinerías, fugas de aceite y combustible en barcos o descargas continuas de provenientes de la industria (Priyadarshani, Sahu, & Rath, 2011).

c) Pesticidas: Llegan al medio ambiente por medio de las aguas residuales, vertidos de desechos industriales, filtración de plaguicidas o el uso de tierras destinadas para la agricultura. Se ha demostrado que las microalgas no sólo son capaces de bioacumular estos contaminantes, sino también de biotransformarlos (Priyadarshani, Sahu, & Rath, 2011).

d) Fármacos: Generan daños en especies acuáticas, que incluyen cambios morfológicos, hormonales y de comportamiento. También contribuyen a la adquisición de resistencia a antibióticos, la que puede transferirse al ser humano y dificultar el tratamiento de enfermedades (Sandoval, Morales, & Rubio, 2020).

e) Contaminantes emergentes: Son compuestos químicos no regulados cuyo impacto aún se desconoce. Por ejemplo, productos de cuidado personal (como filtros solares y cosméticos), retardantes de flama, hormonas, drogas ilícitas y compuestos perfluorados, los cuales llegan al medio acuático a través de aguas residuales cuyo tratamiento por parte de las plantas tratadoras resulta insuficiente debido a la falta de regulación y desconocimiento de sus efectos. Al igual que los fármacos, han demostrado provocar alteraciones hormonales, cambios de comportamiento y aumento de la mortalidad en las especies expuestas.

Dentro del género de las microalgas, se ha comprobado la capacidad de biorremediación en especies como *Chlorella* sp., *Scenedesmus*, y *Chlamydomonas* sp., entre otras, como se muestra en la Tabla 1 (Sandoval, Morales, & Rubio, 2020).

## Conclusión

El tratamiento de aguas residuales mediante biorremediación con microalgas, a través de una eficiente remoción basada en los diferentes mecanismos propios de estos microorganismos, representa una alternativa a los procesos actuales, que suelen ser ineficientes ante ciertas concentraciones y tipos de contaminantes. Un ejemplo de los esfuerzos que realiza la Universidad Autónoma de San Luis Potosí para optimizar este proceso son los ensayos llevados a cabo en el Laboratorio de Biotecnología Molecular de la Facultad de Ciencias Químicas, donde se emplean las microalgas *Scenedesmus acutus* y *Chlorella vulgaris* para la remoción de oxibenzona y homosalato, dos filtros que son comunes en los bloqueadores solares. **UP**

## Referencias bibliográficas:

- Adams, G., Fufeyin, P., Okoro, S., & Ehinomen, I. (2015). Bioremediation, biostimulation and bioaugmentation: A review. *Science and Education Publishing*, 3(1), 28-39. doi:10.12691/ijebb-3-1-5
- Leong, Y., & Chang, J.-S. (2020). Bioremediation of heavy metals using microalgae: Recent advances and mechanisms. *Bioresource Technology*, 1-11. doi:10.1016/j.biortech.2020.122886. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32046940/>
- Priyadarshani, I., Sahu, D., & Rath, B. (2011). Microalgal bioremediation: Current practices and perspectives. *Journal of Biochemical Technologies*, 3(3), 299-304. <http://www.jbiochemtech.com/.../JBT3326>
- Sandoval, J., Morales, M., & Rubio, D. (2020). Breve revisión del uso de microalgas para la remoción de contaminantes emergentes en aguas residuales. *Gestión y ambiente*, 23(1), 127-137. doi: 10.15446/ga.v23n1.84034. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/84034>
- Sutherland, D., & Ralph, P. (2019). Microalgal bioremediation of emerging contaminants - Opportunities and challenges. *Water Research*, 164(1), 2-13. doi: 016/j.watres.2019.114921. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31382151/>