



Concientificas

# Materiales al rescate: Ciencia para combatir la contaminación del agua

## Materials to the rescue: Science to combat water pollution

### Resumen

El agua es esencial para la vida en nuestro planeta. Sin embargo, la actividad humana ha provocado que grandes cantidades de contaminantes lleguen a los cuerpos de agua dulce en todo el mundo, afectando tanto a las personas como a los ecosistemas. Para enfrentar este problema, los científicos están desarrollando nuevos materiales y tecnologías, como bacterias modificadas para biorremediación, zeolitas para adsorción, y fotocatalizadores como óxidos de hierro para descomponer contaminantes bajo la luz solar. Estos avances buscan mejorar la calidad del agua y hacer los procesos de limpieza más rápidos, eficientes y accesibles para su uso en diversas regiones.

**Palabras clave:** Contaminación del agua, ciencia de materiales, sostenibilidad ambiental.

### Summary

Water is essential for life on our planet. However, human activity has caused large amounts of pollutants to reach freshwater bodies around the world, affecting both people and ecosystems. To combat this problem, scientists are developing new materials and technologies, such as modified bacteria for bioremediation, zeolites for adsorption, and photocatalysts like iron oxides to break down pollutants under sunlight. These advances seek to improve water quality and make cleaning processes faster, more efficient, and accessible for use in various regions.

**Keywords:** Water contamination, materials science, environmental sustainability.

María Fernanda Ramírez Ayala<sup>1\*</sup>  
Brayan Javier Lorenzano Hernández<sup>2</sup>  
Azdrubal Lobo Guerrero Serrano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,  
Hidalgo, México.

<sup>2</sup>Departamento de Nanociencias y Nanotecnología,  
CINVESTAV, CDMX, México.

\*Autor para la correspondencia:  
mariafernandara@outlook.es

### Introducción

Imagínate un mundo sin agua limpia. Aunque parezca una película de ciencia ficción, esta es la realidad para millones de personas que viven hoy sin agua. Según datos de la Organización Mundial de la Salud, en 2022, al menos de 1,700 millones de personas consumían agua de fuentes contaminadas con heces. En México, el acceso al agua potable sigue siendo un reto importante; de acuerdo con datos de la ONU y UNICEF (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia), solo el 43% de los hogares tienen un suministro de agua gestionado de forma segura, mientras que el 57% no cuenta con un sistema de saneamiento adecuado [1].

La contaminación de ríos, lagos y océanos se ha convertido en una crisis urgente, amenazando no solo nuestra salud, sino también el equilibrio de los ecosistemas que sostienen la vida en el planeta. Un contaminante es cualquier sustancia que altera el equilibrio natural del medio ambiente. Los contaminantes más comunes en el agua incluyen productos químicos, residuos industriales y metales pesados. En muchos lugares, la escasez de agua limpia

ha provocado protestas masivas en demanda de acceso a este recurso básico.

¡Pero no todo está perdido! Los científicos están trabajando para encontrar soluciones ante esta problemática. En laboratorios de ingeniería y tecnología de distintas universidades, estudiantes e investigadores están creando materiales capaces de reducir la cantidad de contaminantes del agua o incluso eliminarlos por completo. Estos materiales están diseñados para ofrecer soluciones innovadoras que permitan limpiar incluso el agua residual, con el objetivo de reutilizarla en distintos sectores, desde la agricultura hasta la industria.

En este artículo exploraremos algunos de los métodos que utilizan nuevos materiales para combatir la contaminación del agua. ¡Prepárate para descubrir como la ciencia de materiales está ayudando a proteger uno de nuestros recursos más valiosos!

### **El desafío que no podemos ignorar**

Nuestras fuentes de agua —ríos, lagos, arroyos y océanos— están enfermando, suena exagerado, ¿verdad? Pero para muchas personas, esta es su realidad diaria. ¿El culpable? La contaminación.

Pero no nos engañemos, todos tenemos algo de responsabilidad en esto. Desde el jabón que usamos para lavar la ropa hasta los productos químicos que utilizan las industrias, todo lo que va por el desagüe tiene que llegar a alguna parte. Y esa “parte” son nuestras fuentes de agua (Figura 1).

Ahora bien, ¿qué

ocurre con el agua después de ser utilizada en nuestros hogares y en las grandes fábricas? Esa agua no desaparece; se convierte en agua residual y necesita ser tratada. Aquí es donde entran en juego las estaciones de depuración ubicadas en muchas de nuestras comunidades. Imagina estas estaciones como grandes fábricas que transforman el agua sucia en un recurso valioso. Estas estaciones aplican procesos físicos, químicos y microbiológicos para eliminar contaminantes. Por ejemplo, el agua sucia se deja reposar para que la tierra y los sólidos se asienten y puedan removerse; luego se agregan químicos como el cloro para eliminar gérmenes y otros contaminantes; después, se usan microorganismos que “comen” los restos de suciedad, y al final, la luz ultravioleta mata cualquier microbio que pueda causar enfermedades [2]. Una vez limpia, esta agua puede ser reutilizada en actividades como la agricultura (ej. riego), procesos industriales (ej. enfriamiento de maquinaria), usos recreativos (ej. fuentes de parques) y en estaciones de bomberos (ej. lucha contra incendios).

Si bien existen tecnologías convenciona-

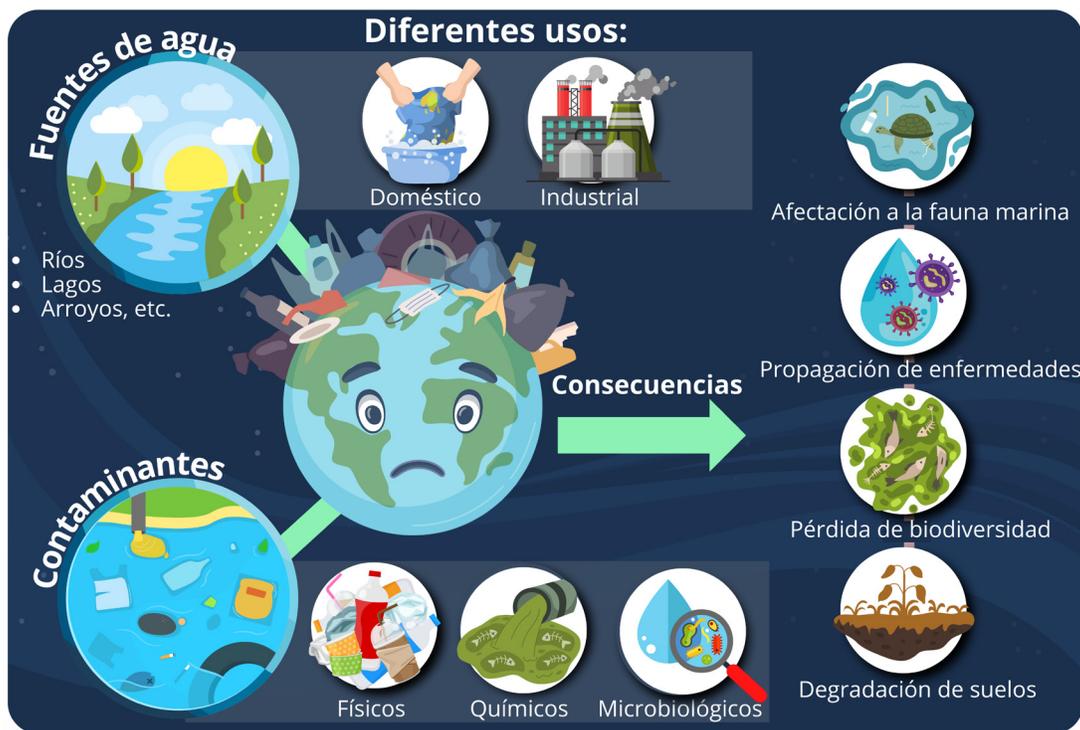


Figura 1. Usos, fuentes y consecuencias de la contaminación del agua [Elaboración propia].

les como la filtración para eliminar los principales contaminantes de tipo físico (ej. bolsas de plástico), también existen procesos químicos como la cloración para desinfectar o eliminar microorganismos perjudiciales (ej. bacterias) y microbiológicos como los biorreactores que ayudan a degradar contaminantes orgánicos (ej. aceites). Estos métodos presentan limitaciones en cuanto a su eficiencia, costo y capacidad para eliminar completamente todos los contaminantes (Figura 2) [3].

sustancias inofensivas.

Estas innovaciones incluyen métodos como la biorremediación, electrocoagulación, adsorción, fotocátalisis, electrocátalisis y nanotecnología, que emplean materiales avanzados con propiedades químicas y biológicas específicas. Diseñados para actuar selectivamente, estos métodos ofrecen soluciones innovadoras y efectivas en el tratamiento de aguas residuales.

### 1. Biorremediación: Microhéroes de la limpieza

¿Alguna vez has pensado que la solución a la contaminación del agua podría estar en seres tan pequeños que ni siquiera podemos verlos? ¡Pues así es! Imagina tener un ejército de pequeños microorganismos, tan diminutos que solo miden entre 0.2 a 10 micrómetros, trabajando en conjunto para limpiar el agua.

Gracias al estudio en ciencia de materiales, se han desarrollado sistemas biológicos a partir de materiales funcionales

como nanopartículas de óxido de hierro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) u óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ), que optimizan el uso de microorganismos específicos, como bacterias (ej. *Pseudomona aeruginosa*), microalgas verdes (ej. *Chlorella vulgaris*), hongos (ej. *Trametes versicolor*) y microorganismos modificados (ej. *Escherichia coli*), los cuales pueden “comer” los contaminantes presentes en el agua. Estos microorganismos transforman sustancias nocivas en inofensivas, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) [5]. Un ejemplo de aplicación ha sido el uso *Bacillus subtilis* para eliminar metales pesados como plomo, cobre y cadmio en



Figura 2. Diferentes tipos de contaminantes en el agua [Elaboración propia].

Y entonces, ¿qué se está haciendo al respecto? Aquí es donde la ciencia de materiales entra en acción: científicos han desarrollado materiales avanzados capaces de eliminar una amplia variedad de contaminantes, desde tintes textiles hasta pesticidas y productos farmacéuticos en el agua [4]. Estos materiales cuentan con propiedades especiales que les permiten “atrapar” o descomponer los contaminantes mediante diversos métodos de tratamiento. Imagina pequeños imanes que retienen sustancias dañinas o materiales que, al contacto con la luz solar, descomponen contaminantes en



Figura 3. Bacterias, hongos y microalgas que son utilizados en el proceso de biorremediación [Elaboración propia].

muestras de agua de origen industrial [6].

Este proceso es particularmente útil para eliminar compuestos farmacéuticos, metales pesados, colorantes textiles, residuos domésticos y derivados del petróleo (Figura 3). Gracias a estos “materiales biológicos”, la biorremediación se está convirtiendo en una solución prometedora para el tratamiento de aguas contaminadas [7].

## 2. Electrocoagulación: La magia eléctrica que limpia el agua

¿Te has fijado cómo un imán atrae pedacitos de metal? En este método ocurre algo similar, pero en lugar de imanes, se usa electricidad para agrupar los contaminantes y facilitar su eliminación. Se colocan unas varillas en el fondo del agua

(electrodos) hechas de materiales como carbón activado recubiertos con partículas metálicas, materiales cerámicos y polímeros conductores, los cuales hacen pasar electricidad a través de ellos, cuando esto sucede los contaminantes se juntan tanto que forman algo parecido a bolitas de suciedad, lo que se conoce como “flóculos”.

Estos flóculos pueden flotar hacia la superficie o hundirse en el fondo, dependiendo de su densidad, donde pueden ser retirados fácilmente. Este método es útil para

eliminar aceites, grasas, metales pesados y otras partículas como coloides y moléculas orgánicas (Figura 4) [8]. La ciencia de materiales ha optimizado el diseño de estos electrodos, haciendo que la formación de flóculos sea más

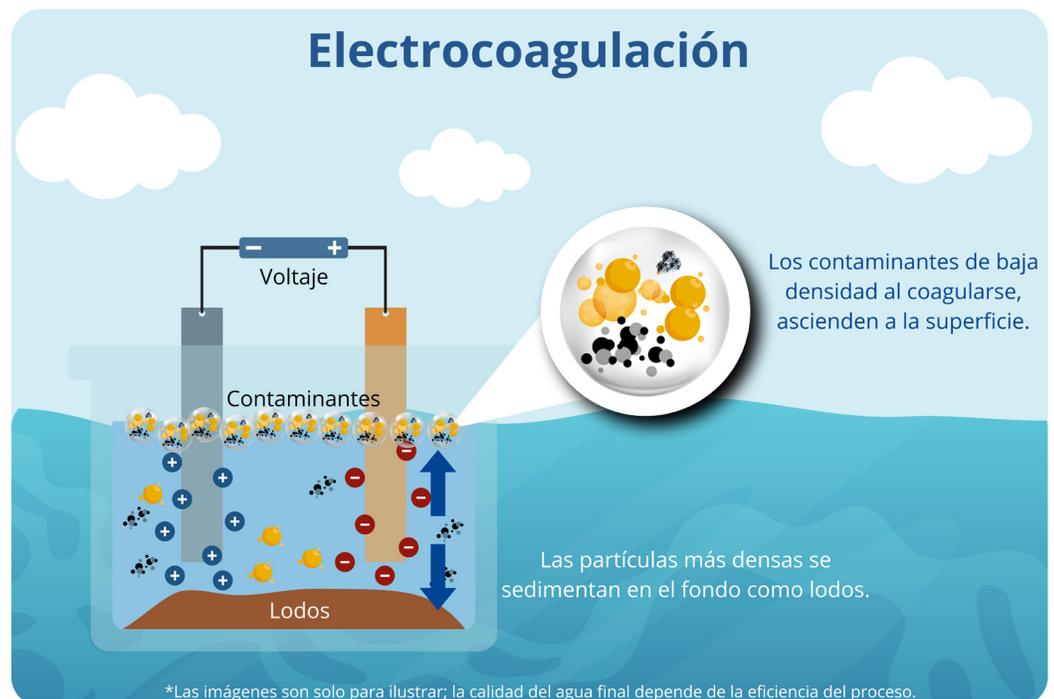


Figura 4. Principio de funcionamiento de la electrocoagulación [Elaboración propia].

rápida y eficiente, mejorando el tratamiento del agua. Por ejemplo, se han empleado electrodos de hierro y aluminio para limpiar agua residual industrial resultante de la producción de café instantáneo, la cual contiene una mezcla de sustancias complejas como polisacáridos, proteínas, melanoidinas, cafeína y ácidos clorogénicos [9].

### 3. Adsorción: Una alternativa prometedora

Imagina materiales que funcionan como esponjas, capaces de “atrapar” contaminantes en su superficie. Este proceso, conocido como adsorción, se basa en el uso de materiales altamente porosos (ej. carbón activado, zeolitas, redes poliméricas y nanopartículas) que capturan contaminantes mediante fuerzas electrostáticas. La ciencia de materiales ha permitido el desarrollo de estos materiales adsorbentes, mejorando su capacidad para retener contaminantes.

Cuando los materiales atrapan toda la suciedad, se retiran del agua, se limpian y pueden usarse otra vez. Este proceso es muy útil para

limpiar el agua de contaminantes como los colorantes que se usan en las fábricas para teñir la ropa que usamos (Figura 5) [10].

### 4. Procesos de Oxidación Avanzada (POA): La fuerza del oxígeno

Los POA son métodos que ayudan a descomponer los contaminantes presentes en el agua en sustancias más simples o menos dañinas, mediante especies químicas oxidantes que “desintegran” los contaminantes ¿Cómo lo hacen? Hay dos formas principales:

- **Fotocatálisis:** Este proceso utiliza materiales llamados “fotocatalizadores”, como dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ), óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), titanato de bario ( $\text{BaTiO}_3$ ) y titanato de estroncio ( $\text{SrTiO}_3$ ), que al captar luz ultravioleta (UV) o visible (Vis), activan una serie de reacciones químicas que descomponen contaminantes, incluyendo colorantes industriales como azul de metileno, rojo Congo o rodamina B; metales pesados como arsénico, cromo, cadmio o plomo; y microorganismos dañinos, como bacterias (Figura 6) [11].

- **Electrocatalisis:** Similar a la fotocatalisis, pero en lugar de luz, se utilizan corrientes eléctricas que pasan a través de varillas (electrodos) recubiertas con un material catalizador (ej. óxidos metálicos o metales nobles), sumergidos en el agua contaminada. Estos materiales provocan reacciones electroquímicas rápidas que convierten los contaminantes en sustancias menos dañinas, siendo útiles para tratar agua contaminada de origen industrial



Figura 5. Adsorción de contaminantes en la superficie de materiales altamente porosos [Elaboración propia].

## Fotocatálisis

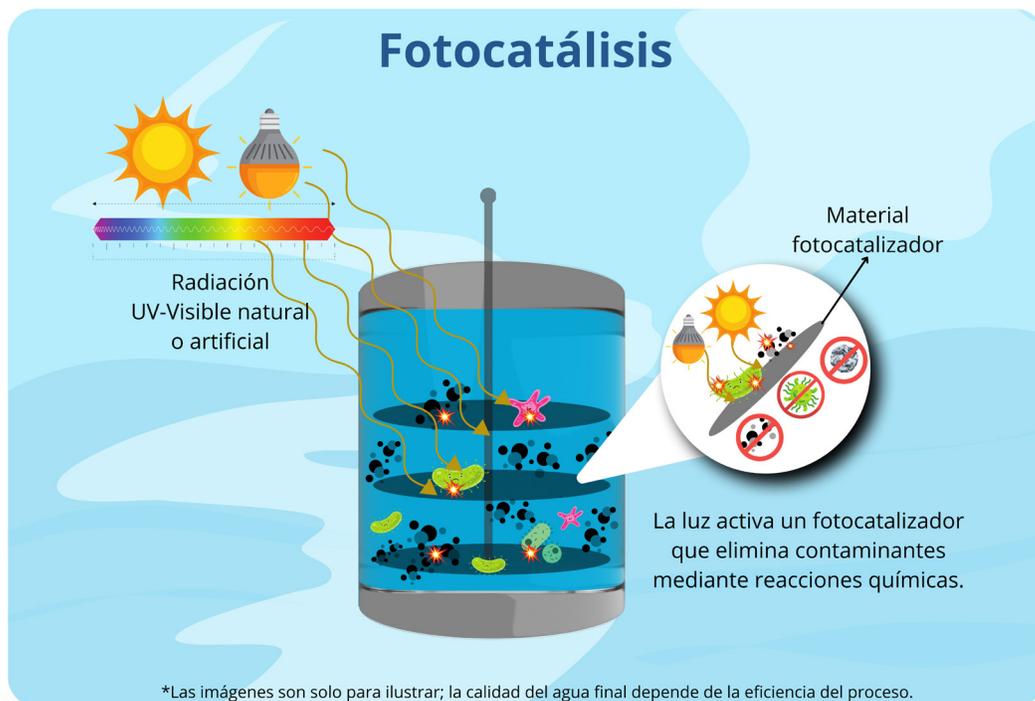


Figura 6. Fotocatálisis como alternativa para la descontaminación de agua residual [Elaboración propia].

y agrícola. Un ejemplo es la eliminación de sulfonamida, un antibiótico utilizado contra infecciones bacterianas (Figura 7) [12].

### 5. ¿Y la nanotecnología? ¿Nano qué?

La nanotecnología permite el uso de materiales increíblemente pequeños, llamados nanomateriales, que tienen propiedades extraordinarias gracias a su diminuto tamaño. Estos nanomateriales pueden ser aplicados en diversos procesos de tratamiento de agua, mejorando significativamente la eliminación de contaminantes. Gracias a esta tecnología, se han desarrollado nanofiltros, nanomembranas y otras soluciones que permiten eliminar los contaminantes más pequeños del agua, mejorando la eficiencia del proceso de

tratamiento [13].

### Conclusión

La ciencia de materiales nos ha proporcionado herramientas poderosas para combatir la contaminación del agua. Ahora es nuestro deber como sociedad aprovechar al máximo estas innovaciones. Debemos fomentar la investigación, invertir en tecnologías de tratamiento de agua y promover políticas que incentiven el uso responsable de este recurso.

Cada uno de nosotros puede contribuir a este esfuerzo, desde reducir nuestro

consumo de agua potable en actividades diarias hasta apoyar iniciativas que promuevan la conservación y la reutilización en sectores clave, como la agricultura, industria y el uso doméstico. **iBIO**

## Electrocatalisis

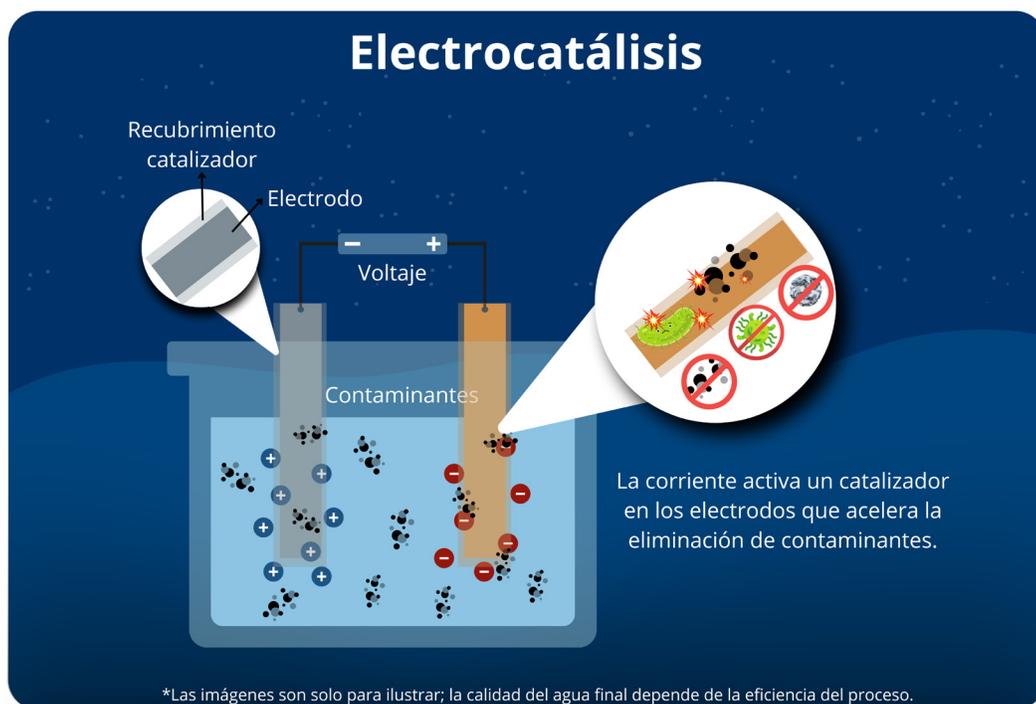


Figura 7. Electrocatalisis, una alternativa novedosa para descontaminar agua residual [Elaboración propia].

## Referencias

- [1] WHO (2023). *Agua para consumo humano*. Disponible desde: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>. Consultado: 3 de noviembre, 2024.
- [2] Tarpani, R. R. Z., & Azapagic, A. (2023). Life cycle sustainability Assessment of advanced treatment techniques for urban wastewater reuse and sewage sludge resource recovery. *Science of The Total Environment*, 869(1), 161771. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161771>
- [3] Ahmed, S. F., Mofijur, M., Nuzhat, S., Chowdhury, A. T., Rafa, N., Uddin, M. A., Inayat, A., Mahlia, T. M. I., Ong, H. C., Chia, W. Y., & Show, P. L. (2021). Recent developments in physical, biological, chemical and hybrid treatment techniques for removing emerging contaminants from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 416(1), 125912. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125912>
- [4] Ajith, M. P., Rajamani P. (2021). Nanotechnology for water purification – current trends and challenges. *Journal of Nanotechnology and Nanomaterials*, 2(2), 88-91. <https://doi.org/10.33696/nanotechnol.2.025>
- [5] Zhang, Y., Hong, Y., & Wang, X. (2023). Recent Advances on Using Functional Materials to Increase the Pollutant Removal Capabilities of Microalgae and Bacteria: Especially for Their Symbiotic Systems. *Current Pollution Reports*, 9(2), 272-291. <https://doi.org/10.1007/s40726-023-00259-6>
- [6] Rocco, D. H. E., Freire, B. M., Oliveira, T. J., Alves, P. L. M., de Oliveira Júnior, J. M., Batista, B. L., Grotto, D., & Jozala, A. F. (2024). *Bacillus subtilis* as an effective tool for bioremediation of lead, copper and cadmium in water. *Discover Applied Sciences*, 6(8), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06101-y>
- [7] Yaashikaa, P. R., Palanivelu, J., & Hemavathy, R. V. (2024). Sustainable approaches for removing toxic heavy metal from contaminated water: A comprehensive review of bioremediation and biosorption techniques. *Chemosphere*, 357(1), 141933. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141933>
- [8] Graça, N. S., Ribeiro, A. M., & Rodrigues, A. E. (2019). Modeling the electrocoagulation process for the treatment of contaminated water. *Chemical Engineering Science*, 197(1), 379-385. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2018.12.038>
- [9] Dobrosz-Gómez, I., Ibarra-Taquez, H. N., & Gómez-García, M. Á. (2024). Evaluation of the environmental and economic scope of an electrocoagulation process for the treatment of wastewater from the instant coffee industry. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 1(1), 1-23. <https://doi.org/10.1007/s10008-024-05940-4>
- [10] Zhang, P., He, M., Teng, W., Li, F., Guo, X., Li, K., & Wang, H. (2023). Ordered mesoporous materials for water pollution treatment: adsorption and catalysis. *Green Energy & Environment*, 9(8), 1239-1256. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2023.11.001>
- [11] Mishra, S., & Sundaram, B. (2023). A review of the photocatalysis process used for wastewater treatment. *Materials Today: Proceedings*, 1(1), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.147>
- [12] Masaud, Z., Liu, G., Roseng, L. E., & Wang, K. (2023). Progress on pulsed electrocatalysis for sustainable energy and environmental applications. *Chemical Engineering Journal*, 475 (1), 145882. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.145882>
- [13] Xie, Y., Hu, J., Esmaili, H., Wang, D., & Zhou, Y. (2022). A Review Study on Wastewater Decontamination using Nanotechnology: Performance, mechanism and Environmental Impacts. *Powder Technology*, 412(1), 118023. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.118023>