

La electricidad al servicio de la remediación ambiental

García Bassoco David¹, Macías Ruvalcaba Norma A.² Universidad Nacional Autónoma de México³

DOI: <https://doi.org/10.64121/rece.2026V5.b38>

Fechas de recepción: 15-3-2026

Fechas de aceptación: 14-4-2026

Química/Epistemología social

Los efluentes generados por industrias como la alimentaria, textil, petroquímica y farmacéutica representan un desafío ambiental complejo debido a su alto contenido de contaminantes. Además de materia orgánica y microorganismos patógenos, estos residuos contienen compuestos recalcitrantes como antibióticos, pesticidas, hidrocarburos aromáticos, colorantes, entre otros. Dichas sustancias presentan una elevada resistencia a la biodegradación.

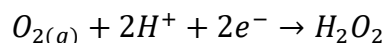
La persistencia de estos contaminantes en los cuerpos de agua es motivo de creciente preocupación debido a su toxicidad para los ecosistemas y la salud humana (Shetty et al., 2023). Debido a la dificultad de eliminarlos por métodos biológicos tradicionales, ha sido imperativo explorar nuevas formas de removerlos; para este objetivo, la química ha jugado un papel muy importante desde hace más de un siglo.

En 1876, el químico inglés Henry John Horstman Fenton (1854–1929) realizó lo que se conoció posteriormente como “*el inicio de toda la química Fenton*”, al realizar la conversión de ácido tartárico (molécula presente durante la elaboración del vino) y hacerlo reaccionar con peróxido de hidrógeno H₂O₂ (conocido también como agua

oxigenada) y sales de hierro que actúan como catalizador.

Las reacciones que se llevan a cabo son rápidas, pero el costo de los reactivos necesarios hace que no sea viable económicamente para su aplicación a gran escala, en específico la cantidad y costo del peróxido de hidrógeno necesario a nivel industrial.

El costo económico siempre es una limitante para aplicar nuevos métodos a nivel industrial; por ello, se comenzó a desarrollar la forma de generar el peróxido de hidrógeno *in situ* (en el mismo sitio de reacción) para ahorrar costos. Como parte de esta investigación, se implementó el uso de la electricidad para generar peróxido de hidrógeno a partir de moléculas de oxígeno disuelto en el agua mediante la reacción:



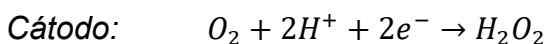
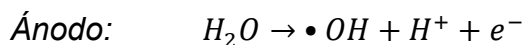
Esta reacción se lleva a cabo mediante un intercambio de electrones (sí, con energía eléctrica) a través de dos dispositivos llamados electrodos; un cátodo y un ánodo.

¿Qué es un electrodo?

Los electrodos son materiales que pueden conducir la electricidad. Su función principal es permitir el flujo de corriente eléctrica para facilitar las

reacciones de oxidación y reducción en el medio, como en el método Electro-Fenton, que es una técnica avanzada para limpiar agua muy contaminada utilizando el poder de la electricidad para generar "superlimpiadores" químicos *in-situ*.

En el ánodo (cargado positivamente) se lleva a cabo la oxidación del agua, y en el cátodo (cargado negativamente), la reducción de O_2 para producir radicales hidroxilo y peróxido de hidrógeno, respectivamente.



Al agregar sales de hierro (Fe^{2+}), reaccionan con las especies generadas (peróxido de hidrógeno,) y se producen más radicales hidroxilo (), el "superlimpiador" que reacciona con los contaminantes (Sirés & Brillas, 2018). El tipo de dispositivo que se usa para este proceso se presenta en la Figura 1.

Degradación de contaminantes

El desarrollo de este método para degradar moléculas se implementó con mucho interés en la remediación ambiental a inicios de los años 2000 (Brillas et al., 2009) en muestras de agua con múltiples contaminantes. Lo magnífico de este método es que el contaminante orgánico se transforma por completo en moléculas mucho más simples, como CO_2 y H_2O , en un proceso conocido como "mineralización", a través de la siguiente reacción:



Podría parecer que la formación de dióxido de carbono es dañina, pero, en muchas plantas de tratamiento, se aprovecha su producción para usarlo como precursor de otras moléculas. La degradación o destrucción de los contaminantes a partir de la electricidad o procesos electro-Fenton ha tomado mucha relevancia en las últimas dos décadas.

Dentro de los contaminantes que se han degradado se encuentran colorantes, edulcorantes, fármacos, pesticidas, productos cosméticos (los productos que usamos en el día a día son un contaminante latente), residuos de vertedero (líquido tóxico que se genera en rellenos sanitarios o basureros), entre otros.

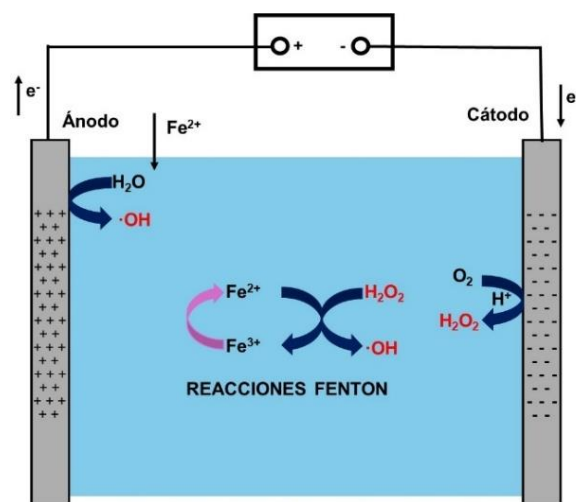


Figura 1. Celda para proceso electro-Fenton

Son contaminantes de interés por su daño al medio ambiente, su aporte a la resistencia bacteriana y su riesgo a la salud pública.

Perspectivas del método Fenton

El proceso Electro-Fenton puede integrarse con otras tecnologías. Su acoplamiento con procesos biológicos potencia la eficiencia de degradación mediante una acción sinérgica (Ziembowicz & Kida, 2022). Puede también acoplarse con luz solar/UV (Foto-Fenton) u ondas ultrasónicas (Sono-electro-Fenton) para acelerar la rapidez de la degradación. En investigaciones recientes, se ha explorado el uso de nuevos tipos de arreglos para aumentar la eficiencia y reducir los costos de los procesos electro-Fenton. Dentro de estos nuevos arreglos se encuentran los llamados “electrodos 3-D”, que se busca usar para que la producción de radicales hidroxilo sea más alta y, en algunos casos, no necesitar de sales de hierro. La innovación de esta clase de electrodos abre paso a procesos de remediación ambiental más limpios y todavía más amigables medioambientalmente hablando.

Palabras clave: remediación ambiental, electricidad, contaminantes

Autores:

¹David García-Bassoco: Maestro en Ciencias Químicas por el Instituto de Química en la UNAM, candidato a doctor en ciencias enfocado en la investigación de remoción de contaminantes emergentes de agua. **(Autor correspondiente).**

Contacto. bassoco_garcia@comunidad.unam.mx

ORCID. 0000-0002-5257-8635

²Norma A. Macías Ruvalcaba: Doctora en Ciencias Químicas por la Facultad de Química en la UNAM, enfocada en áreas de electroquímica ambiental y mecanismos de reacción de compuestos orgánicos mediante técnicas electroanalíticas y espectro-electroquímicas.

Contacto. nmaciasr@quimica.unam.mx

ORCID. 0000-0002-9502-7577

³Departamento de Fisicoquímica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México, CDMX, 04510, México

Referencias

- Brillas, E., Sirés, I., & Oturan, M. A. (2009). Electro-Fenton Process and Related Electrochemical Technologies Based on Fenton's Reaction Chemistry. *Chemical Reviews*, 109(12), 6570–6631. <https://doi.org/10.1021/cr900136g>
- Shetty, S. S., D. D., S. H., Sonkusare, S., Naik, P. B., Kumari N, S., & Madhyastha, H. (2023). Environmental pollutants and their effects on human health. *Heliyon*, 9(9), e19496. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19496>
- Sirés, I., & Brillas, E. (2018). Electro-Fenton Process: Fundamentals and Reactivity. En M. Zhou, M. A. Oturan, & I. Sirés (Eds.), *Electro-Fenton Process: New Trends and Scale-Up* (pp. 1–28). Springer. https://doi.org/10.1007/698_2017_40
- Ziembowicz, S., & Kida, M. (2022). Limitations and future directions of application of the Fenton-like process in micropollutants degradation in water and wastewater treatment: A critical review. *Chemosphere*, 296, 134041. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134041>