

## Materiales ferromagnéticos para producir un combustible limpio

Deyanira Angeles-Beltrán <sup>1,\*</sup>, Ricardo López-Medina <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Síntesis y Caracterización de Materiales, Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

<sup>2</sup> Laboratorio de Procesos de la Industria Química, Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

\* Autor de correspondencia: [dab@azc.uam.mx](mailto:dab@azc.uam.mx); Tel.: +(52) 55 53 18 90 00 Ext. 2055

### Artículo de divulgación científica

Recibido: 28 de octubre de 2024

Aceptado: 5 de diciembre de 2024

Publicado: 16 de diciembre de 2024

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v3i1.314>

**Resumen:** Una de las grandes preocupaciones de la humanidad en la actualidad es el deterioro del planeta y el cada vez más preocupante calentamiento global. Dentro de los principales causantes del cambio climático está el dióxido de carbono producido por el consumo de los combustibles fósiles, actividad que nos permite la movilidad y el transporte de insumos alimenticios, médicos, tecnológicos y de casi toda actividad de nuestra vida cotidiana. En este sentido y en la búsqueda de combustibles limpios que puedan sustituir en un futuro no muy lejano a los combustibles fósiles, se han encontrado materiales como óxidos mixtos de hierro llamados ferritas que han demostrado mediante experimentación sustentada, que son útiles para la obtención de hidrógeno como combustible limpio. En el presente trabajo se describen detalles de esta investigación y sus perspectivas actuales.

**Palabras clave:** Ferritas; Hidrógeno; Combustible; Fotocatálisis

### Introducción

Desde que entró en vigor el acuerdo de París sobre el cambio climático el 4 de noviembre de 2016, muchos países del mundo se han dado a la tarea de realizar propuestas y cambios en sus políticas con el objetivo de reducir el calentamiento mundial en 1.5°, principalmente mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Recientemente, con la norma ISO 14001/2015 y su actualización, se insta a que las organizaciones deben evaluar de manera proactiva las implicaciones del cambio climático en sus operaciones, garantizando que sus sistemas de gestión sean adaptables y resistentes a los desafíos ambientales.

Dentro de los GEI causantes del calentamiento global el dióxido de carbono que proviene de la extracción y quema de combustibles fósiles (como carbón, petróleo y gas natural), de incendios forestales y de procesos naturales como erupciones volcánicas. El dióxido de carbono, es una sustancia que atrapa el calor razón por la cual se le cataloga como un gas de efecto invernadero que en México representa el 63.9% de las emisiones que se producen, por lo anterior, el desarrollo de tecnologías que impliquen el uso de combustibles que no generen CO<sub>2</sub> es una motivación de muchos grupos de investigación tanto en nuestro país como alrededor del mundo.

Uno de los combustibles amigables con el ambiente es el hidrógeno, su producción y almacenamiento siguen siendo un desafío pues no se encuentra en estado natural, sino que debe producirse a partir de otras sustancias. En el presente trabajo, se presenta la forma de obtenerlo a partir de óxidos de hierro (combinados con otros elementos) como una alternativa para generar dicho combustible.

### Desarrollo

El cambio climático y sus efectos en nuestra vida, son temas que pasaron de ser tratados en centros de investigación a ser del dominio público, de lo que se habla a diario y en distintos medios de comunicación, la razón es simple, estamos viviendo las consecuencias todos los días con el aumento de heladas, las prolongadas sequías (Lara & Li, 2024), las recientes inundaciones y los ciclones o tornados tan destructivos e incluso sorprendidos. Es sabido por todos, pero no dimensionado, que el cambio en el clima es producto del efecto invernadero que se genera cuando ciertos gases o compuestos químicos llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI) se concentran en la atmósfera y producen que se caliente como cuando se coloca un techo transparente en un invernadero. En nuestro país, como en todo el mundo, los efectos del calentamiento global son motivo de preocupación de tal manera que, al ser parte de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) México, tiene la obligación de reportar la cantidad de

GEI que produce, y también debe generar propuestas para mitigar todos los efectos de estos. Es evidente que nuestra vida diaria requiere de energía para llevarse a cabo, a diario vestimos ropa limpia, nos aseptamos, nos alimentamos, transportamos, realizamos nuestro trabajo o profesión y todo esto, consumiendo energía, volvemos a casa, cocinamos, vemos televisión o consumimos diversión en la internet y todo ello genera dióxido de carbono que es el principal GEI. En el siglo XXI y para generar energía, se han utilizado distintas fuentes, unas más accesibles y conocidas que otras, pero sin duda, todas ellas como propuesta para satisfacer nuestras necesidades cotidianas, pero, con la característica de que su eficiencia, facilidad de generación y riesgos son únicos y diferentes entre ellas. En la Figura 1a se ilustran las distintas fuentes para la generación de energía (Mohammed *et al.*, 2024).

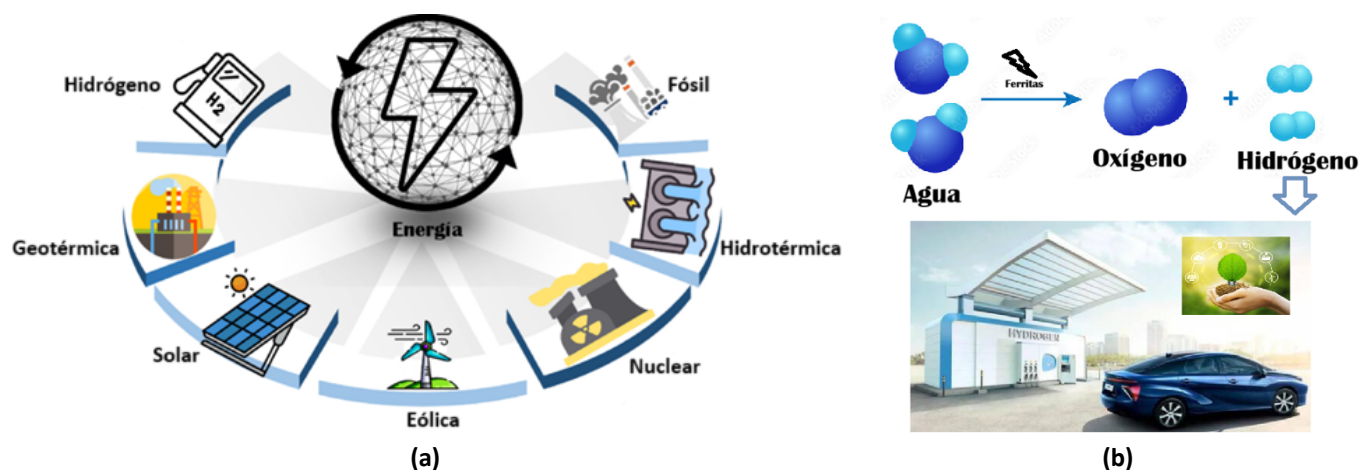


Figura 1. (a) Fuentes actuales de energía y (b) proceso de “Splitting de agua” para producir combustible limpio.

El hidrógeno es uno de los elementos químicos más abundantes en el universo es incoloro e inodoro, se encuentra en la naturaleza combinado con otros elementos tales como el oxígeno, carbono, nitrógeno, entre otros, formando compuestos que son parte de todo nuestro entorno. Dos átomos de hidrógeno forman el hidrógeno molecular o gas hidrógeno, que es una sustancia versátil, económica y eficaz con el potencial para utilizarse como un combustible limpio, potente y respetuoso con el medio ambiente pues se considera el mejor portador de energía, con un mayor contenido energético por unidad de masa entre 120 y 142 MJ/kg (Bhandari & Adhikari, 2024), que otros combustibles comunes (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de contenido energético de combustibles comunes.

Tipo de Combustible	Contenido energético (MJ/kg)	Usos comunes
Madera	16	Calefacción, Cocina
Carbón	24	Centrales eléctricas, Generación de electricidad
Petróleo crudo	44	Refinería y productos de petróleo
Diesel, gasolina	45-46	Transporte de personas, alimentos, productos en general
Gas natural	55	Uso doméstico

El combustible de hidrógeno se puede producir mediante numerosos procesos, sin embargo, uno de los procesos más estudiados es el “splitting de agua” o descomposición del agua en sus dos elementos hidrógeno y oxígeno (Figura 1b). Dicho proceso requiere de energía luminosa, térmica o eléctrica además de la presencia de un material con características específicas que actúa como catalizador en la ruptura del enlace entre los átomos que forman el agua (Li *et al.*, 2024).

Se han estudiado y utilizado, diversos materiales que funcionan como catalizadores para la generación de hidrógeno a partir de la molécula de agua, y en la actualidad son más de treinta y un mil las publicaciones generadas al respecto,

de las cuales menos de quinientas son las que se refieren al empleo de ferritas como materiales catalíticos que facilitan el proceso de descomposición del agua (Walake *et al.*, 2023). Las ferritas son, en una clase de materiales de óxido ferromagnético compuestos de  $\text{Fe}^{3+}$  combinado con algunos otros cationes metálicos (como Mg, Mn, Co, Ni, Cu, Fe, Zn, etc.), que por su arreglo atómico presentan distintas formas cristalinas como la espinela, ortoferritas y hexaferritas. Las ferritas espinela (Figura 2a) son compuestos con una fórmula química general  $\text{MFe}_2\text{O}_4$ , donde M es un catión metálico divalente que puede ser bario (Ba) (Janasi *et al.*, 2002), cobre (Cu) (Frolova *et al.*, 2024), manganeso (Mn) (Bharathi & Babu, 2024), zinc (Zn) (Alshammari *et al.*, 2024), níquel (Ni) (Arumugham *et al.*, 2022), y cobalto (Co) (Jasrotia *et al.*, 2025), que cristalizan en una estructura similar a la de la espinela natural  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ . Son materiales duros, de color negro a marrón, que se encuentran abundantemente en la naturaleza en rocas ígneas, metamórficas y graníticas.

Las ferritas pueden sintetizarse por varios métodos como, partiendo de distintos precursores o materias primas, variando formas de agitación, tiempos, temperaturas, medios de reacción, equipos y sustancias auxiliares (Khan *et al.*, 2024). Las características de las ferritas que son principalmente polvos, son muy interesantes, poseen estabilidades química y térmica, propiedades ferromagnéticas (que responden a un campo magnético aplicado) y aislantes, una superficie y tamaño de partículas que se pueden controlar desde su síntesis. Tienen aplicaciones en electrónica (circuitos y actuadores), catalizadores (en reacciones orgánicas) (Maji & Dosanjh, 2023), purificación de agua y como se mencionó antes en la obtención de hidrógeno gaseoso (Manuel *et al.*, 2022). El precio de las ferritas en el mercado es variable ya que va desde los dos mil pesos los 5 gramos hasta los casi siete mil con muy buena pureza, y pese a que se estudian mucho en la actualidad y desde diez años atrás, en México no se ha realizado la suficiente investigación en el tema comparado con China, USA o Japón. (Figura 2b)

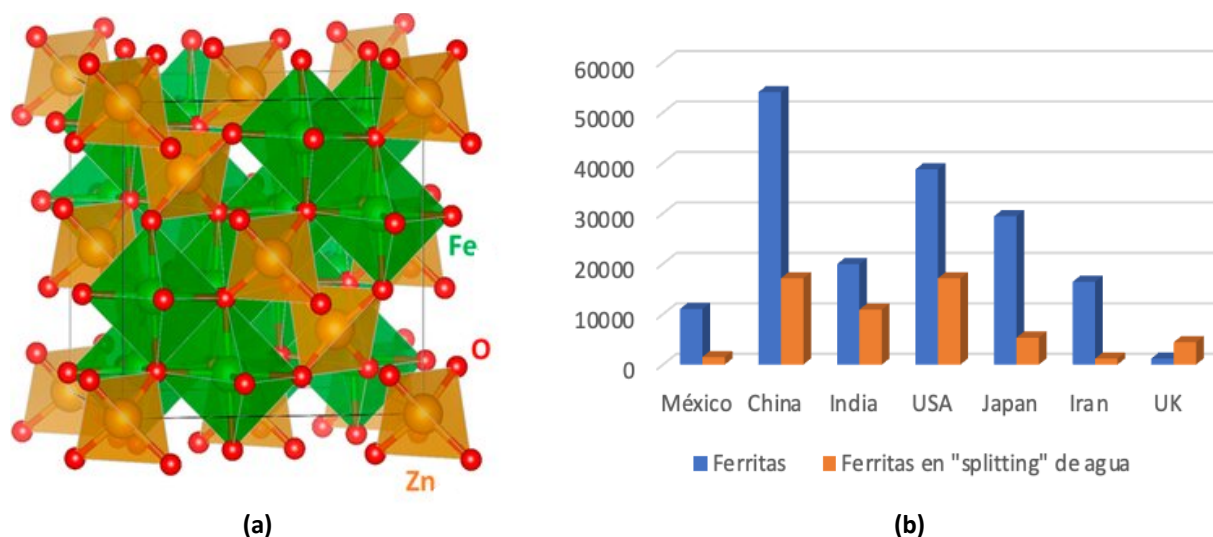


Figura 2. (a) Ejemplo de la estructura de una ferrita espinela y (b) artículos publicados sobre el tema (Fuente: Research Gate).

Para satisfacer las necesidades de movilidad y transporte, en la actualidad se está aplicando la tecnología de la ruptura o "splitting de agua" para producir autos a hidrógeno que permitan cristalizar la idea de una forma de combustible ambientalmente responsable y sostenible. Los vehículos de hidrógeno son coches con motor eléctrico que generan esa energía a partir de oxígeno e hidrógeno renovable y se recargan en estaciones de servicio que disponen de surtidores de este combustible. En la actualidad, no ha entrado al mercado global la aplicación de esta tecnología en los automóviles modernos y sigue siendo un desafío para la comunidad científica toda la ciencia y tecnología en torno a esta forma de energía ambientalmente sostenible.

## Conclusiones

El desarrollar nuevas tecnologías para la síntesis de ferritas, en su aplicación en la obtención de hidrógeno y la implementación de esta tecnología en nuestra vida cotidiana seguirán siendo un tema de interés mundial. Queda mucho por hacer en cuestión de obtener ferritas con las características aptas para catalizar la reacción de ruptura de

agua, con el mejor desempeño y sobre todo mediante metodologías que también sean ambientalmente respetuosas. Es importante resaltar que materiales como las ferritas tienen cualidades en dos ámbitos diferentes que son, la catálisis con una fuente de luz (fotocatálisis) y con aplicaciones magnéticas, lo cual es un ejemplo de material que cumpla con dos propósitos al menos y que tenga un fin también acorde con las necesidades de disminuir el calentamiento global a favor de perpetuar la vida de la humanidad en nuestro planeta.

## Bibliografía

- Alshammari, A. H., Alshammari, K., Alshammari, M., & Taha, T. A. M. (2024). Synthesis and characterization of magnesium zinc ferrite nanoparticles for catalytic hydrogen evolution. *International Journal of Hydrogen Energy*, 50(PB), 734–742. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.11.158>.
- Arumugham, N., Mariappan, A., Eswaran, J., Daniel, S., Kanthapazham, R., & Kathirvel, P. (2022). Nickel ferrite-based composites and its photocatalytic application – A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 8(July), 100156. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100156>.
- Bhandari, R., & Adhikari, N. (2024). A comprehensive review on the role of hydrogen in renewable energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 82(August), 923–951. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.08.004>.
- Bharathi, S. D., & Babu, D. R. (2024). Synthesis, characterization and antimicrobial activity of Manganese ferrite nanoparticles. *Materials Science and Engineering: B*, 300(December 2023), 117051. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2023.117051>.
- Frolova, L. A., Baskevich, A. S., & Butyrina, T. E. (2024). Influence of plasma synthesis parameters on the magnetic, structural and photocatalytic properties of copper ferrite. *Ceramics International*, 50(21PA), 41461–41471. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.07.462>.
- Janasi, S. R., Emura, M., Landgraf, F. J. G., & Rodrigues, D. (2002). The effects of synthesis variables on the magnetic properties of coprecipitated barium ferrite powders. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 238(2–3), 168–172. [https://doi.org/10.1016/S0304-8853\(01\)00857-5](https://doi.org/10.1016/S0304-8853(01)00857-5).
- Jasrotia, R., Prakash, J., Saddeek, Y. B., Alluhayb, A. H., Younis, A. M., Lakshmaiy, N., Prakash, C., Aly, K. A., Sillanpää, M., Ismail, Y. A. M., Kandwal, A., & Sharma, P. (2025). Cobalt ferrites: Structural insights with potential applications in magnetics, dielectrics, and Catalysis. *Coordination Chemistry Reviews*, 522(September 2024). <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2024.216198>.
- Khan, A., Valicsek, Z., Horváth, O., Khan, M. M., & Wafi, A. (2024). Ferrite-based photocatalysts: Synthesis, modifications, and key parameters in photocatalytic-related applications. *Materials Today Communications*, 40(June). <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.109556>.
- Lara, M., & Li, J. (2024). México | Emisiones y fuentes de los Gases de Efecto Invernadero. 1–18. <https://www.bbva-research.com/wp-content/uploads/2024/01/2024-Emisiones-y-fuentes-GEI-Mexico.pdf>.
- Li, F., Liu, D., Sun, K., Yang, S., Peng, F., Zhang, K., Guo, G., & Si, Y. (2024). Towards a Future Hydrogen Supply Chain: A Review of Technologies and Challenges. *Sustainability (Switzerland)*, 16(5). <https://doi.org/10.3390/su16051890>.
- Maji, N., & Dosanjh, H. S. (2023). Ferrite Nanoparticles as Catalysts in Organic Reactions: A Mini Review. *Magnetochemistry*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/magnetochemistry9060156>.
- Manuel, M. M., Deyanira, A. B., Virginia, C. M., & Jorge A, G. M. (2022). Synthesis, characterization and photocatalytic evaluation of nanocrystalline ferrites of alkaline earth metals: MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (M: Mg, Ca, Ba) synthesized by the malate-nitrate method. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.jpap.2021.100091>.
- Mohammed, Y., Hafeez, H. Y., Mohammed, J., Suleiman, A. B., Ndikilar, C. E., & Idris, M. G. (2024). Hydrogen production via photocatalytic water splitting using spinel ferrite-based photocatalysts: Recent and future perspectives. *Next Energy*, 4(April), 100145. <https://doi.org/10.1016/j.nxener.2024.100145>.
- Walake, S., Jadhav, Y., & Kulkarni, A. (2023). Novel Spinel Nanomaterials for Photocatalytic Hydrogen Evolution Reactions: An Overview. *Energies*, 16(12). <https://doi.org/10.3390/en16124707>.