

# EVALUACIÓN SOBRE EL ALMACENAMIENTO Y LA ELABORACIÓN 2 DEL HIDRÓGENO IN SITU MEDIANTE ELECTRÓLISIS

**Manuel Rebolledo Benziger, Ana Cecilia Reyes Ramayo, Néstor André González Vinagre y Carolina del Carmen Álvarez Avilés**

**Universidad Modelo, Escuela de Ingeniería,**

*Ingeniería en Energía y Petróleo*

OCTUBRE -2024

## Resumen

El archivo presenta un análisis de la situación ambiental y energética relacionada con el uso del hidrógeno en México y a nivel mundial. El hidrógeno es considerado una fuente de energía renovable con gran potencial, pero su adopción ha sido limitada, lo que podría tener importantes repercusiones a futuro.

En el caso de México, el bajo uso del hidrógeno como fuente energética representa una oportunidad desaprovechada, que podría contribuir significativamente a la diversificación de su matriz energética y a la reducción de emisiones contaminantes. A nivel mundial, especialmente en los países de la Unión Europea, el hidrógeno está ganando terreno como una solución clave en la transición hacia energías limpias, con proyectos que buscan reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

El texto aborda los problemas que podrían surgir si no se incrementa el uso del hidrógeno en el mix energético global, como la inestabilidad en los precios de la energía, mayor dependencia de combustibles no renovables, y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Finalmente, se discuten las posibles consecuencias para la estabilidad energética global, así como la importancia de desarrollar infraestructura y políticas que fomenten el uso del hidrógeno para mitigar estos desafíos.

**Palabras clave:** Hidrógeno, electrólisis, celdas, producción y almacenaje.

En el contexto actual de la transición energética, el hidrógeno ha emergido como una solución clave para la descarbonización de los sectores industriales y de transporte. Sin embargo, su almacenamiento y producción eficiente, especialmente mediante electrólisis, presentan una serie de desafíos técnicos y económicos que deben ser evaluados. La electrólisis, una tecnología que permite la producción de hidrógeno in situ a partir de la descomposición del agua utilizando electricidad, se ha consolidado como una opción limpia y sostenible, particularmente cuando la electricidad proviene de fuentes renovables. No obstante, este proceso enfrenta dificultades en términos de eficiencia energética, costos de infraestructura y escalabilidad, lo que limita su competitividad frente a métodos más tradicionales de producción de hidrógeno, como el reformado de gas natural. Por otro lado, el almacenamiento del hidrógeno también representa un reto significativo. Si bien el hidrógeno tiene una alta densidad energética por masa, su baja densidad volumétrica requiere soluciones complejas para su almacenamiento eficiente, ya sea como gas comprimido a alta presión, en forma líquida a temperaturas criogénicas, o mediante el uso de hidruros metálicos. Estas opciones presentan dificultades en términos de seguridad, costo y viabilidad técnica.

El problema de que el hidrógeno no se use ampliamente como fuente de energía renovable afecta a varios grupos y sectores de diferentes maneras. Si no se usa hidrógeno verde (producido con energía renovable), la transición a fuentes de energía más limpias se ralentiza, lo que prolonga la dependencia de combustibles fósiles y aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero, y esto causa el uso continuo de energías contaminantes que puede seguir dañando los ecosistemas naturales, afectando la biodiversidad y acelerando fenómenos como el calentamiento global.

De igual forma en un enfoque gubernamental el hidrógeno puede producirse localmente, lo que reduce la dependencia de las importaciones de petróleo y gas. No usar hidrógeno significa que los países seguirán dependiendo de fuentes de energía extranjeras y, en algunos casos, inestables.

Como por otro lado las empresas privadas y sectores industriales como la automotriz, ferroviaria y marítima tienen el potencial de reducir significativamente su huella de carbono con el hidrógeno.

Sin esta tecnología, podrían seguir operando con combustibles fósiles y perder competitividad a medida que las regulaciones ambientales se vuelven más estrictas.

La investigación del hidrógeno y su uso como energía renovable ha dado buenos resultados que se ha implementado en la actualidad, pero no a la escala que se requiere, esto se debe a la falta de inversión y uso del hidrógeno como energía renovable limita el avance tecnológico y las oportunidades de innovación en esta área.

No solamente en los sectores industriales o gubernamentales, este conflicto ha llegado a la población de igual forma sin que nos demos cuenta, en un escenario donde se podría usar hidrógeno barato y limpio, pero no se hace, los consumidores continúan pagando precios elevados por combustibles fósiles o por electricidad generada por fuentes no renovables.

El no usar hidrógeno como energía renovable afecta tanto a las metas ambientales globales como a la innovación tecnológica y a la competitividad de varios sectores industriales, además de tener implicaciones negativas para la salud pública y la sostenibilidad a largo plazo.

La falta de uso del hidrógeno como energía renovable es un problema de importancia considerable por razones que impactan tanto a nivel global como local.

La transición energética es esencial para combatir el cambio climático, y el hidrógeno es visto como una de las piezas clave para reducir las emisiones de carbono en sectores difíciles de electrificar, como la industria pesada, el transporte de larga distancia y el almacenamiento de energía a gran escala. Si no se adopta el hidrógeno, las emisiones de gases de efecto invernadero continuarán aumentando, lo que acelerará el calentamiento global y sus efectos devastadores,

como eventos climáticos extremos, aumento del nivel del mar y pérdida de biodiversidad.

El hidrógeno puede desempeñar un papel importante en el almacenamiento de energía renovable, ayudando a superar la intermitencia de fuentes como la solar o la eólica. Si no se utiliza, la transición hacia un sistema energético más limpio será más lenta y costosa.

El problema de no utilizar el hidrógeno como fuente de energía renovable es muy importante por sus implicaciones para la descarbonización, la competitividad industrial, la seguridad energética y la equidad social. Resolver este problema no solo sería beneficioso para mitigar el cambio climático, sino también para transformar la economía global hacia una más sostenible, justa y menos dependiente de los combustibles fósiles.

El problema de no utilizar hidrógeno como fuente de energía renovable a nivel mundial es grande, con implicaciones importantes para la economía, el medio ambiente y la geopolítica.

Los países más afectados por el bajo uso del hidrógeno como energía renovable son aquellos que enfrentan grandes desafíos energéticos y ambientales, dependen de industrias contaminantes y desean descarbonizar su economía.

La Unión Europea (Alemania, Francia, Países Bajos) se ha fijado metas climáticas ambiciosas, como lograr la neutralidad de carbono para 2050. El hidrógeno verde es una pieza clave de su estrategia para descarbonizar sectores industriales, transporte pesado y almacenamiento de energía.

Muchos países europeos aún dependen del gas natural (a menudo importado de Rusia) y del carbón. No desarrollar hidrógeno como alternativa afecta su seguridad energética.

Japón es altamente dependiente de importaciones de energía debido a la falta de recursos naturales propios. El hidrógeno es clave para su estrategia de diversificación energética y reducción de emisiones.

Sin una transición efectiva hacia el hidrógeno, Japón seguirá dependiendo de fuentes de energía fósil como el carbón y el gas licuado, lo que obstaculiza sus metas de neutralidad de carbono y aumenta su vulnerabilidad ante fluctuaciones del mercado energético.

México se ve afectado por el poco uso del hidrógeno como energía renovable, aunque el impacto puede ser diferente en comparación con otros países más industrializados o con economías que dependen mucho de combustibles fósiles.

México es un país productor y exportador de petróleo, y su economía depende en parte de los ingresos por exportaciones de hidrocarburos. Si no se diversifica hacia energías limpias como el hidrógeno, el país seguirá dependiendo del petróleo, lo que a largo plazo puede ser un riesgo, especialmente si la demanda global de combustibles fósiles disminuye debido a las políticas climáticas globales.

Pemex sigue siendo una empresa centrada en la producción de petróleo, y el país invierte en refinerías, como la de Dos Bocas o en diversas cuencas alrededor de México. No diversificar la matriz energética hacia fuentes más limpias como el hidrógeno podría dejar a México rezagado frente a la transición energética mundial, afectando su competitividad y seguridad energética a largo plazo.

Aunque México no enfrenta la misma urgencia en algunos sectores como otros países más industrializados, sí se ve afectado por el poco uso del hidrógeno como energía renovable en varias áreas clave: oportunidades económicas, diversificación energética, competitividad industrial, cumplimiento de metas climáticas y mejoras en la calidad del aire.

## **HIDRÓGENO**

El hidrógeno es el elemento químico más abundante del universo y tiene el número atómico 1 en la tabla periódica. Su símbolo químico es H. Es un gas incoloro, inodoro, no metálico, y extremadamente ligero. El hidrógeno se encuentra principalmente en forma molecular, es decir, como H<sub>2</sub>, compuesto por dos átomos de hidrógeno.

Se utiliza en una amplia gama de aplicaciones industriales, como en la producción de amoníaco, refinación de petróleo y, más recientemente, como fuente de energía en pilas de combustible para vehículos y otras tecnologías de energía limpia.

## **PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO**

El hidrógeno elemental es necesario obtenerlo a partir de sus compuestos y debe ser producido para su utilización en sus diferentes aplicaciones y debe, en lo posible, ser aislado de otros elementos. Su producción es posible en pequeñas cantidades a nivel laboratorio o en grandes cantidades a nivel industrial.

## **ELECTRÓLISIS DE AGUA**

Descomponer el agua en sus elementos, mediante el uso de una corriente eléctrica. Como el agua pura no conduce la corriente eléctrica, es necesario un electrolito que puede ser una sal, como el cloruro de sodio, un ácido, como el ácido clorhídrico ó una solución básica, como el hidróxido de sodio. En el cátodo (negativo) se desprende el hidrógeno y en el ánodo (positivo) el oxígeno. Este método es el que permite obtener hidrógeno más puro, hasta el momento no es uno de los métodos industrialmente competitivos.

## **CELDA DE ELECTROLISIS DE AGUA**

Como se mencionó anteriormente la electrólisis es el proceso mediante el cual se produce hidrógeno a partir del agua. Para lograr esto es necesario pasar una corriente eléctrica a través del agua, para que los dos gases se separen, pero teniendo en cuenta que el agua pura no conduce, debido a que su resistencia eléctrica es de 100ohm/cm., se hace necesario reducirla de alguna de las siguientes maneras: calentando el agua entre 700-1000º C, agregándole una sal, como cloruro de sodio, agregando un ácido como ácido sulfúrico o una base como hidróxido de potasio<sup>11</sup>.

Calentar el agua se puede convertir en un problema bastante incómodo de resolver si se quieren trabajar grandes cantidades, por esto se sabe que es mejor agregar una sustancia similar a las propuestas. Las sales generalmente corroen los metales, así que no son la mejor opción para un electrolito. Algunos metales como el platino resisten la acción de los ácidos satisfactoriamente, pero económicamente el platino no es una solución para producción en masa de celdas. Por otro lado, algunas de las bases son compatibles con algunos metales, en cuanto a que no los atacan tan fuertemente o no los atacan del todo. Este es el caso del hidróxido de potasio (KOH), o del hidróxido de sodio (NaOH), con acero inoxidable o con aluminio.

### **ALMACENAJE DE HIDROGENO**

Uno de los problemas que está enfrentando en este momento la tecnología frente a la producción de hidrógeno está asociado con el almacenaje. A temperatura ambiente y presión atmosférica, 1kg de hidrógeno ocupa un volumen de 11m<sup>3</sup>, este valor representa una cantidad bastante alta de volumen en el espacio, sobre todo si se piensa implementar una solución importante al problema del almacenaje de hidrógeno para fines de transporte, pues es necesario obtener la mayor cantidad de hidrógeno en masa, en el menor volumen posible, logrando que la cantidad sea lo suficientemente alta para poder servir como aplicación de transporte.

A continuación, presentamos una tabla con algunos autores e investigadores notables, junto con sus contribuciones y descubrimientos relacionados con la generación y almacenamiento de hidrógeno.

<b>Autor / Investigador</b>	<b>Descubrimiento / Contribución</b>	<b>Año / Periodo</b>	<b>Descripción</b>
-----------------------------	--------------------------------------	----------------------	--------------------

<b>Sir William Grove</b>	<b>Célula Combustible (Fuel Cell)</b>	de 1839	Descubrió el principio de la célula de combustible, que convierte hidrógeno y oxígeno en electricidad, un proceso clave para la generación de energía limpia.
<b>John Bockris</b>	<b>Economía del Hidrógeno</b>	del 1970s	Popularizó el concepto de la "Economía del Hidrógeno", sugiriendo que el hidrógeno podría reemplazar a los combustibles fósiles como fuente de energía limpia.
<b>Fritz Haber y Carl Bosch</b>	<b>Proceso Bosch</b>	Haber- 1910s	Desarrollaron el proceso Haber-Bosch para sintetizar amoníaco a partir de hidrógeno y nitrógeno, clave para la industria y la obtención de hidrógeno.
<b>Nicolas Leprince et al.</b>	<b>Hidruros Metálicos como Almacenamiento de Hidrógeno</b>	2005	Investigaron el uso de hidruros metálicos para almacenar hidrógeno de manera segura y eficiente, una opción viable para aplicaciones domésticas.
<b>Michael Graetzel</b>	<b>Producción de Hidrógeno mediante Fotoelectrólisis</b>	1991	Pionero en el uso de materiales semiconductores en células solares para producir hidrógeno a través

de la separación de agua usando la luz solar.

<b>Daniel Nocera</b>	<b>Fotosíntesis Artificial</b>	2008	Desarrolló una célula que imita la fotosíntesis para dividir el agua en hidrógeno y oxígeno, un método accesible para la producción de hidrógeno casero.
<b>Shinya Yamanaka</b>	<b>Hidrógeno a partir de biomasa</b>	2015	Investigó métodos para generar hidrógeno a partir de residuos de biomasa, acercándose a la posibilidad de generación de hidrógeno de manera sostenible.
<b>John Turner</b>	<b>Electrólisis de Agua a Alta Eficiencia</b>	2000s	Trabajó en la mejora de las tecnologías de electrólisis de agua, utilizando energía renovable para producir hidrógeno de forma eficiente en entornos caseros.
<b>Thomas E. Mallouk</b>	<b>Fotocatalizadores para la División del Agua</b>	2010s	Investigó nuevos materiales fotocatalíticos que mejoran la eficiencia de la división del agua mediante luz solar, facilitando la generación doméstica de H <sub>2</sub> .

---

<b>Toby Thorpe</b>	<b>Almacenamiento en Esponjas Metálicas (MOFs)</b>	2020s	Investigó el uso de MOFs (Metal-Organic Frameworks) para almacenar hidrógeno de manera segura, lo que es relevante para aplicaciones a pequeña escala.
<b>Peter Bruce</b>	<b>Baterías de Hidrógeno</b>	2019	Desarrolló nuevas formas de baterías basadas en el hidrógeno, avanzando hacia la integración de tecnologías de almacenamiento de hidrógeno para el hogar.

**Tabla 1.** Esta lista resume avances significativos en el campo del hidrógeno, y muchos de estos descubrimientos pueden ser aplicados o adaptados a soluciones domésticas.

El proyecto sobre la generación y almacenamiento de hidrógeno casero por medio de la electrólisis es de gran relevancia debido a los retos actuales en cuanto a la sostenibilidad energética y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles. La transición hacia energías más limpias es una necesidad urgente para mitigar los efectos del cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El hidrógeno se perfila como un vector energético versátil, capaz de almacenar energía de manera eficiente y de ser utilizado tanto para generar electricidad como en el sector del transporte.

El hidrógeno producido a partir de electrólisis, utilizando energía renovable (como solar o eólica), tiene el potencial de generar una fuente de energía completamente limpia. Si bien esta tecnología ya existe a escala industrial, es crucial adaptar estos métodos para su implementación a pequeña escala, es decir, en entornos domésticos o comunitarios. Esto no solo permitiría a los hogares y pequeñas empresas ser autosuficientes energéticamente, sino también contribuir a una

mayor descentralización de la producción energética, algo necesario en países y regiones con infraestructuras energéticas inestables o caras.

En muchos países y regiones, especialmente en aquellos en vías de desarrollo o con altos costos de energía, el acceso a fuentes energéticas fiables y sostenibles es limitado. Las áreas rurales, por ejemplo, pueden no estar conectadas a la red eléctrica nacional o depender de costosas fuentes de energía como el diésel o gas licuado. El hidrógeno producido localmente mediante electrólisis puede resolver problemas como la intermitencia de las energías renovables (ya que el hidrógeno puede almacenarse y utilizarse cuando no haya sol o viento) y, al mismo tiempo, brindar independencia energética.

En el caso de países con abundante radiación solar o potencial para la energía eólica, como varios de América Latina, la electrólisis que utiliza estas fuentes renovables es particularmente atractiva. Además, esta tecnología también podría tener impacto en la reducción de la pobreza energética, ya que, con las herramientas adecuadas, los hogares podrían generar su propio combustible limpio a bajo costo, reduciendo su factura energética y contribuyendo a la sostenibilidad.

A través de este proyecto, se generarán conocimientos que aporten a la comprensión y mejora de las tecnologías de electrólisis y almacenamiento de hidrógeno en contextos domésticos. En particular, se espera contribuir en las siguientes áreas:

- Optimización del proceso de electrólisis en entornos domésticos: Se investigarán formas de hacer que la electrólisis sea más eficiente a pequeña escala, minimizando el consumo de energía y maximizando la producción de hidrógeno.
- Métodos seguros de almacenamiento: Se buscará determinar tecnologías adecuadas para almacenar hidrógeno en forma segura dentro de los hogares o comunidades, como hidruros metálicos o sistemas de baja presión.
- Viabilidad económica: Se evaluarán los costos y beneficios a largo plazo de implementar esta tecnología a nivel doméstico o comunitario, comparándola con otras fuentes energéticas.

### **1. *Objetivos (general y específicos).***

Nuevo objetivo general: Estudiar, analizar, evaluar y realizar una mejor ejecución del prototipo de producción de hidrógeno mediante la electrólisis sobre su almacenamiento y producción, investigando y probando diferentes materiales que nos permitan la mejora del almacenamiento del hidrógeno, como la producción ejecutando con alternativas diferentes de las ya usadas por los alumnos de IEP de semestres anteriores que nos permitan eficientizar y mejorar la calidad del hidrógeno.

#### **- *Objetivos SMART de la actividad***

1. Estudiar los diferentes tipos de almacenaje de hidrógeno y comparar prototipos caseros utilizados en diferentes ámbitos, en un lapso de 6 meses de planificación.
  
2. Realizar bocetos de un prototipo mejorado en cuanto a su almacenamiento y en su producción utilizando diferentes materiales como la calidad de las celdas de acero inoxidable o herramientas como el frasco donde se usará como almacenamiento para eficientizar el mismo, en base al prototipo dado por alumnos de semestres anteriores, en la fase diseño de proyecto.
  
2. Desarrollar e implementar un sistema de electrólisis in situ para producir y almacenar hidrógeno en el plazo de 12 meses, con la puesta en marcha completa dentro de los primeros 8 meses y cumpliendo con todas las normativas de seguridad locales con los recursos económicos establecidos.

Los resultados esperados en este proyecto son modificar y mejorar el prototipo analizado del semestre anterior y base a ese estudio, buscar los puntos de aprovechamiento y así poder hacer un equipo de producción totalmente mejorado donde sea fácil de integrar el almacenamiento y que haga buena producción al momento de ponerse a ejecutar.

Castro Páez, C. E. (2004). Producción y almacenamiento de 29 hidrógeno.<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/3288ea44-80c2- 30 4d38-9939-4b0b437a91bc/content>

Celada-Casero, C., López Gómez, F. A., García Caballero, F., & Capdevila, C. (2022). La 17 descarbonización de la industria siderúrgica empleando hidrógeno como vector energético. 18

<https://digital.csic.es/handle/10261/287275>

Colín, J. F. (2017). CARACTERIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE UN GENERADOR 20

DE HIDRÓGENO (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Tulancingo).  
21

[https://www.upt.edu.mx/Contenido/Investigacion/Contenido/TESIS/MER/2019/MER\\_T](https://www.upt.edu.mx/Contenido/Investigacion/Contenido/TESIS/MER/2019/MER_T)

22 2019\_02\_FFC.pdf

Eduardo, D. T. V. R. (2017, March 16). Diseño y construcción de prototipo generador de 24

hidrógeno por microfabricación.

<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/3216>

Holgado Secas, H. (2012). Estudio, diseño y construcción de un generador de hidrógeno 2

por electrólisis. 3

[file:///C:/Users/carol/Downloads/PFC\\_hector\\_holgado\\_secas.pdf](file:///C:/Users/carol/Downloads/PFC_hector_holgado_secas.pdf)

María, C. R. L. (2024, May 1). Prototipo generador de hidrógeno para la cocción de 26

alimentos en hogares rurales. 27

<https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/13614>

Oriols Marchan, J. P. (2024). Diseño de una planta fotovoltaica para generación de 9

electricidad y producción de hidrógeno verde (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Rincón Cano, A. D. (2021). Implementación del hidrogeno en el sector marino (Bachelor's 13 thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). 14

[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/355539/162503\\_IMPLEMENTACIN\\_.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/355539/162503_IMPLEMENTACIN_.pdf?sequence=1&isAllowed=y) 15

SANDOVAL, A. A. O. (2021). Propuesta de diseño de un sistema para la generación de 5

energía eléctrica a partir de la generación de hidrógeno in situ empleando residuos de 6

aluminio y la conversión del calor de desecho producido en energía eléctrica. 7

<http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/1816>

