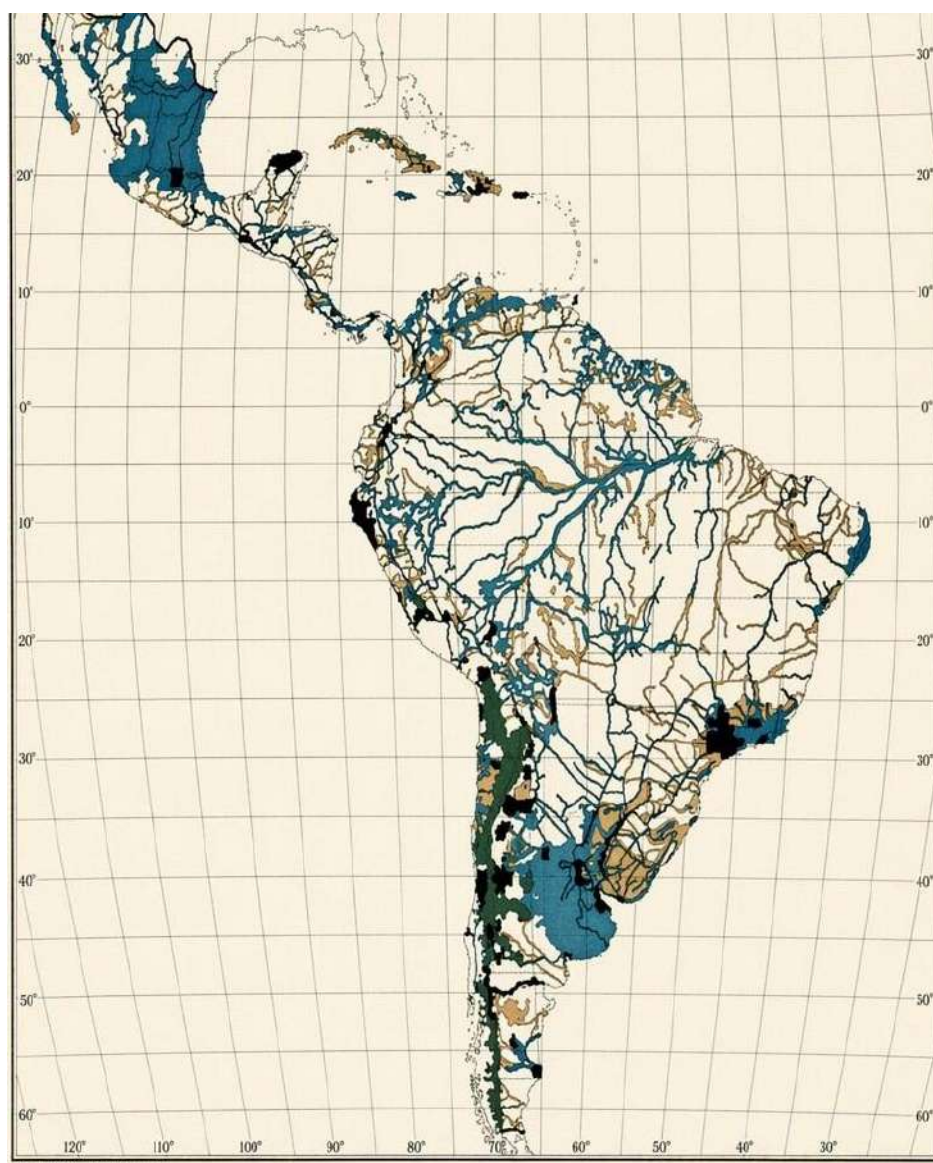


Revista Latinoamericana de Difusión Científica



Volumen 8 - Número 15
Julio – Diciembre 2026
Maracaibo – Venezuela

Hidrógeno verde como fuente alternativa de energía en Bolivia

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21523608>

Pamela Zulema Chambi Ramos*

RESUMEN

Actualmente en Bolivia los hidrocarburos son la principal fuente de energía, de forma directa como en los automóviles mediante la gasolina y diésel; así como la generación eléctrica mediante las termoeléctricas que se alimentan de gas natural; esta dependencia energética es nociva para el país debido a que al tratarse de una energía no renovable encarece los precios al ser más difícil su obtención. Asimismo, el sector de hidrocarburos es uno de los sectores que más contribuyen en la economía, en cuanto a las exportaciones, inversiones y sobre todo en las recaudaciones. Es por ello que las nuevas políticas en energía se están enfocando al uso de energías renovables para amortiguar el impacto de los precios del petróleo y gas natural, así como el incremento en la demanda de energía por el crecimiento de la población. Una solución es el uso del Hidrógeno que es considerado como un combustible limpio, ya que en la combustión sólo se genera agua; por lo tanto, puede ser utilizado en diversas aplicaciones: como combustible no contaminante en los vehículos, o combustible doméstico; siendo una opción de energía sustentable una de las principales problemáticas.

PALABRAS CLAVE: Energía, Hidrógeno, Hidrólisis, Combustible.

*Investigadora. Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3612-1991>. E-mail: andrea.solangel18@gmail.com

Green Hydrogen as an Alternative Energy Source in Bolivia

ABSTRACT

Currently in Bolivia, hydrocarbons are the main source of energy, both directly, as in automobiles through gasoline and diesel, and for electricity generation through thermoelectric plants fueled by natural gas. This energy dependence is detrimental to the country because, as a non-renewable energy source, it drives up prices due to the difficulty of obtaining it. Furthermore, the hydrocarbon sector is one of the largest contributors to the economy in terms of exports, investments, and especially tax revenue. Therefore, new energy policies are focusing on the use of renewable energies to mitigate the impact of oil and natural gas prices, as well as the increased energy demand due to population growth. One solution is the use of hydrogen, which is considered a clean fuel since its combustion only produces water. Therefore, it can be used in various applications: as a non-polluting fuel in vehicles or as domestic fuel. Its availability as a sustainable energy option addresses one of the main challenges.

KEYWORDS: Energy, Hydrogen, Hydrolysis, Fuel.

Introducción

Dado el estado actual de la sociedad, donde la demanda energética se hace cada vez mayor, y la creciente población sujeta a un estilo de vida poco sustentable acrecienta a pasos agigantados el cambio climático y sus consecuencias, arrasando los recursos naturales y contaminando la atmósfera, se hace evidente la necesidad de desarrollar procesos sustentables y limpios. Bajo esta mirada distópica surge la investigación y aplicación de nuevas fuentes de energía, tomando en las últimas décadas un rol central el desarrollo de las denominadas energías renovables no convencionales, o ERNC, en las cuales Bolivia se posiciona como un actor importante dado su geografía y clima.

En este marco se hace clave la investigación acerca del hidrógeno, el cual no solo se proyecta como una tecnología asociada a la generación de electricidad donde puede cumplir diversos roles desde almacenamiento de energía hasta seguridad del sistema mediante prestación de servicios complementarios, sino que también se vislumbra como un combustible limpio y eficiente para alimentar vehículos y procesos industriales, siendo aún más importante en industrias altamente dependiente de combustibles, permitiendo

aumentar su rentabilidad y competitividad mediante mejoras en la eficiencia de los procesos y beneficios medioambientales. Además de ser un elemento clave para que Bolivia logre independencia energética al no depender de precios internacionales de combustibles.

Por otra parte, indicar que Bolivia está involucrado en el Acuerdo de París que exige a todas las partes que hagan todo lo que esté a su alcance por medio de “contribuciones determinadas a nivel nacional” (NDC por sus siglas en inglés) y que redoblen sus esfuerzos en los próximos años. Esto incluye la obligación de que todas las partes informen periódicamente sobre sus emisiones y sobre sus esfuerzos de aplicación.

Los compromisos de mitigación fueron los siguientes:

- Incrementar las energías renovables al 79% para el 2030.
- Incrementar la superficie de áreas (re)forestadas a 4.5 millones de hectáreas para el 2030.
- Fortalecer la captura y almacenamiento de carbono, materia orgánica y fertilidad del suelo, conservación de la biodiversidad así tanto como la disponibilidad del agua.

En ese sentido, la industria energética boliviana puede contribuir en los esfuerzos globales de descarbonizar la economía en general y el sector energético en particular. En el presente artículo se analiza el papel que el hidrógeno verde podría jugar en tal cometido. Más aún se propone que el país debiera plantear una “Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde”, tal como otros países de la región y del mundo lo vienen haciendo o ya lo han hecho.

1. Hidrogeno Verde

La energía renovable está experimentando un crecimiento notable en muchas regiones del mundo, sin embargo, aún no hemos alcanzado el nivel necesario para encaminarnos hacia la meta de emisiones netas cero para la mitad del siglo”, afirmó Keisuke Sadamori, encargado de Mercados de energía y seguridad en la IEA. “A medida que las economías se recuperan, hemos notado un aumento en la producción de electricidad utilizando combustibles fósiles. Para adoptar un rumbo sostenible, necesitamos aumentar considerablemente la inversión en tecnologías de energía limpia, con un enfoque particular en las energías renovables y la eficiencia energética”. (Larrea et al., 2021)

El Hidrógeno Verde (H2V) emerge como una solución factible en sectores difíciles de descarbonizar, como el transporte y la industria. Además, puede utilizarse directamente en la generación de energía y en los sectores domiciliarios y comerciales, e incluso transformarse en combustibles sintéticos como el e-metanol y amoníaco, presentándose como una opción viable para la reducción de emisiones y la subvención de combustibles líquidos (Ministerio de Hidrocarburos y Energías, 2024).

Lo más preocupante es que las iniciativas con energías alternativas tienen mucha propaganda y poca inversión real, ni en infraestructura ni en formación de capacidades humanas para afrontar el reto monumental de una transición a energías con menores impactos ambientales y menor dependencia de combustibles fósiles”. (Mondaca, 2024).



Fuente: Hoja de Ruta para la Producción y Uso de Hidrógeno Verde en Bolivia.

De acuerdo a las experiencias de otros países, utilizar hidrogeno para generar electricidad es poco eficiente ya que para producir el mismo también se requiere electricidad, que venga de fuentes renovables. Sin embargo, considerando que la matriz eléctrica de Bolivia depende en gran medida del gas natural, que es un recurso no renovable, es necesario buscar fuentes renovables.

Otro punto importante, ir incluyendo energías renovables como el hidrogeno no sólo ayuda a diversificar la matriz energética para reducir la dependencia en combustibles fósiles, sino también en la ayuda en la reducción de emisiones de dióxido de carbono.

Bolivia estima que para el 2030 se podrían reducir en 43.000 toneladas de CO₂ para 2030 y hasta 10,2 millones de toneladas para el 2050. (Ministerio de Hidrocarburos y Energías, 2024).

En ese sentido, el hidrogeno verde se puede establecer como una alternativa para la generación de energía en Bolivia. El hidrógeno verde se produce a través de un proceso de electrólisis del agua, utiliza dando electricidad generada a partir de fuentes renovables, como la energía solar o eólica. Este proceso divide las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno, con la ventaja de que no se emiten gases de efecto invernadero en el proceso. Como resultado, se obtiene un recurso energético limpio y versátil que puede utilizarse en una amplia variedad de aplicaciones, desde la movilidad sostenible hasta la alimentación de plantas industriales.

En su estudio seminal sobre la generación de hidrógeno verde, (Turner, 2004) señaló la importancia de comprender las ventajas ambientales del hidrógeno verde en comparación con otros métodos de producción de hidrógeno, como la reforma de gas natural. La electrólisis del agua, utilizada en la producción de hidrógeno verde, ofrece un camino hacia una mayor sostenibilidad al evitar la emisión de CO₂ durante la producción, lo que la hace fundamental para abordar los desafíos del cambio climático.

2. Electrolisis del agua

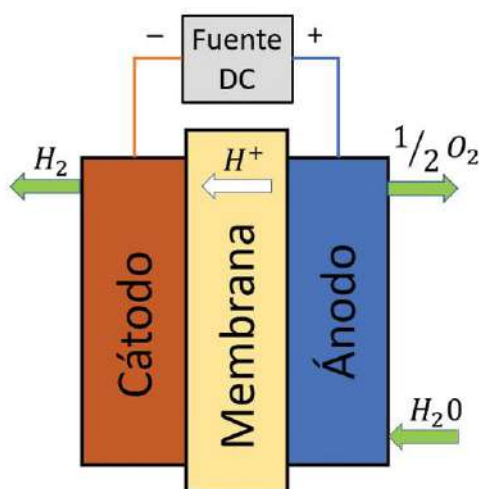
Una de las tecnologías más comunes para la producción de hidrógeno verde es la electrólisis del agua. Este proceso divide las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno utilizando electricidad. Entre los métodos de electrólisis más utilizados se encuentra la electrólisis de membrana de intercambio de protones (PEM) (Turner, 2004). En este proceso, una membrana conductora de protones permite la separación de los gases mientras transporta los protones necesarios para la reacción. La electrólisis PEM es conocida por su alta eficiencia y capacidad de respuesta, lo que la hace adecuada para aplicaciones móviles y estacionarias.

El agua que se utiliza como fuente de hidrógeno, se obtiene de vertientes naturales, aguas subterráneas o aguas fluviales donde se ubique la planta de producción. Teóricamente, se necesitan aproximadamente entre 1,5 y 2 litros de agua para producir 1

[Nm³] de hidrógeno, aunque la cantidad específica dependerá del modelo de electrolizador que se utilice.

Un electrolizador de Membrana de Intercambio Protónico (PEM, por sus siglas en inglés) es un dispositivo electroquímico para producir y almacenar energía renovable. Esto se logra ya que este tipo de electrolizador cuenta con una entrada de agua y una membrana tipo PEM, esta membrana propicia la separación del hidrógeno y el oxígeno del agua (electrólisis).

En la Figura se puede observar un diagrama de este proceso: la entrada de agua, la fuente de energía, el ánodo, el cátodo y la membrana tipo PEM.



Fuente: Suplemento Fuentes Milenio

Para el cálculo de energía eléctrica, se hará el uso del factor de planta de cada una de las centrales de generación y las horas de trabajo durante todo el año de las centrales,

$$E_{hidro} = P_{hidro} h F_p$$

Donde,

E_{hidro} , energía generada con el potencial hidroeléctrico aprovechable (MWh);

h , horas de trabajo de todo el año (h);

F_p , factor de planta de cada central hidroeléctrica (%).

Considerando un potencial acumulado de las represas en La Paz, el cual ascienden a 3.896 [MW], determinando la cantidad de energía eléctrica, tomando en cuenta un de

planta teórico tiene un valor de 76.37% y las horas de funcionamiento anuales, es decir, 8760 h. En ese sentido, se calcula una energía generada con el potencial hidroeléctrico aprovechable de 26 064 [GWh].

Para determinar la cantidad de hidrogeno a producir durante un año calendario es importante conocer la potencia requerida por el electrolizador para producir un kg de hidrógeno; el factor de conversión del sistema del electrolizador, el cual depende del modelo a utilizar y de su tecnología (PEM), pudiendo encontrar rangos de entre 74% a 94% en electrolizadores comerciales y finalmente el factor de disponibilidad de la planta generadora, teniendo como dato previsto para centrales hidroeléctricas de pasada una disponibilidad del 90% y para centrales con embalse del 92%.

$$M_{H2} = \frac{E_{hidro} F_c F_d}{E_{electrolizador}}$$

Donde,

M_{H2} , es la cantidad de hidrógeno potencial producido (H2);

F_c , es el factor de conversión del sistema electrolizador (%);

F_d , es el factor de disponibilidad de la central hidroeléctrica (%);

$E_{electrolizador}$, es la potencia requerida por el electrolizador para producir un kg de hidrógeno (kWh/kg).

Por lo que, se calcula la cantidad de hidrógeno potencial producido de 532 945 [tn/año].

Un aspecto importante, es considerar que la producción de hidrógeno verde a través de electrólisis del agua requiere grandes cantidades de agua. En un país como Bolivia, donde la disponibilidad de agua ya es un tema crítico, el uso intensivo de este recurso podría generar tensiones adicionales. Es esencial implementar medidas de gestión del agua para mitigar posibles impactos negativos en los ecosistemas acuáticos y en el acceso al agua para las comunidades locales. En el caso de que se presentan una cantidad considerable de cuerpos de agua dinámicos, es importante presentar estudios específicos de su uso, impacto y reciclaje. Como se ha detallado, el volumen requerido de agua para la producción de hidrogeno no es considerable como la de otros países, se espera que en el tiempo esta

industria crezca, y eventualmente este valor también aumente; por lo tanto, podría significar un impacto ambiental significativo.

En cuanto a manejo de residuos, la experiencia presentada en otros países, como ser Chile, México, entre otros, ha despertado alertas entre los diferentes investigadores del tema, respecto al manejo ecológico de los desechos y productos químicos involucrados en la generación de hidrógeno. La operación de plantas de hidrógeno verde puede generar residuos y subproductos químicos que necesitan una gestión adecuada. El manejo responsable de estos desechos es crucial para prevenir la contaminación del suelo y el agua, así como para proteger la salud de las comunidades locales.

Si bien en la actualidad no se cuenta con una infraestructura real en Bolivia para la generación de hidrógeno verde, se espera que, en los próximos años, eventualmente presente una expansión en diferentes locaciones del país. La expansión de la infraestructura necesaria para la producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno verde puede tener impactos directos en los ecosistemas locales. Es crucial realizar evaluaciones de impacto ambiental antes de la construcción de instalaciones para minimizar la alteración del entorno natural y garantizar la conservación de la biodiversidad.

Conclusiones

La generación de hidrógeno verde se lo puede realizar a partir de fuentes renovables primarias.

La electrólisis de membrana de intercambio de protones PEM, puede ser considerado como una de las tecnologías más prometedoras. La PEM ofrece alta eficiencia y capacidad de respuesta, lo que la hace adecuada para aplicaciones móviles y estacionarias.

El hidrógeno proveniente del proceso de electrólisis del agua tiene como subproducto oxígeno y no hay gases de efecto invernadero. Si la electricidad utilizada es de fuente renovable el hidrógeno es conocido como hidrógeno verde que es justamente el que nos ocupa como potencial combustible para descarbonizar en etapas el sector eléctrico boliviano y el que eventualmente podría generar excedentes importantes para la economía nacional. Considerando la importancia del uso de energías renovables en Bolivia, es recomendable iniciar con el diseño y la implementación de una planta piloto.

Referencias

Larrea, S., Echeverría, E., and Ernest, W. (2021). "Hidrógeno Verde: Oportunidad para liderar la descarbonización de Costa Rica - Energía para el Futuro," BID, Mar 15, 2021. <https://blogs.iadb.org/energia/es/hidrogeno-verde-oportunidad-paraliderar-la-descarbonizacion-de-costa-rica/> (accessed May 09, 2022).

Ministerio de Hidrocarburos y Energía (2022). Marco Regulatorio de las energías renovables del Estado Plurinacional de Bolivia. 1, 1–3.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD). (2013). Hoja de Ruta del Hidrógeno. Una apuesta por el hidrógeno renovable. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

Mondaca, G. (2024). "Los tiempos del litio no son tiempos de política", Centro de Documentación e Información Bolivia (Cedib), Feb 05, 2024. <https://www.cedib.org/biblioteca/los-tiempos-del-litio-no-son-los-tiempos-de-la-politica/>

Turner, J.A. (2024). "Producción sostenible de hidrogeno", Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia, Ago 13, 2024. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=iWwXf1gAAAAJ&citation_for_view=iWwXf1gAAAAJ:u-x6o8ySG0sC

Conflicto de interés

El autor de este manuscrito declara no tener ningún conflicto de interés.

Declaración ética

El autor declara que el proceso de investigación que dio lugar al presente manuscrito se desarrolló siguiendo criterios éticos, por lo que fueron empleadas en forma racional y profesional las herramientas tecnológicas asociadas a la generación del conocimiento.

Copyright

La **Revista Latinoamericana de Difusión Científica** declara que reconoce los derechos de los autores de los trabajos originales que en ella se publican; dichos trabajos son propiedad intelectual de sus autores. Los autores preservan sus derechos de autoría y comparten sin propósitos comerciales, según la licencia adoptada por la revista.

Licencia CreativeCommons

Esta obra está bajo una Licencia CreativeCommons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

