

# Perspectiva sobre la producción de hidrógeno mediante energía solar térmica – una revisión

## Perspective on hydrogen production by solar thermal energy – a review

Jessica P. Carreño Vesga<sup>1</sup>, Sergio A. Peña Perea<sup>2</sup> y José M. Vargas<sup>3</sup>

Universidad de Santander, UDES  
Maestría en Recursos Energéticos  
Bucaramanga, Colombia

Fundación Universitaria de San Gil - Unisangil  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Programa Ingeniería Ambiental  
San Gil, Colombia

jpcarenovesga@gmail.com  
spena@unisangil.edu.co  
jmvargash2005@misena.edu.co

Fecha de recepción: 08 de marzo de 2022  
Fecha de aceptación: 06 abril de 2022

**Resumen** — El hidrógeno es un elemento del cual se habla actualmente como recurso energético renovable. Este elemento es el más abundante en la naturaleza, sin embargo, por sus características, es un elemento que requiere procesos complejos para su producción, almacenamiento y uso. En el presente documento, se realiza una revisión documental sobre el hidrógeno, y también acerca de los procesos y tecnologías de producción del mismo mediante energía solar térmica, haciendo un análisis de las ventajas y desventajas de los diferentes procesos de producción. Finalmente, se discute acerca de cuál método es más eficiente y podría ser utilizado a gran escala. Como método de análisis de información, se utiliza la revisión bibliográfica descriptiva. Una de las principales conclusiones sobre lo tratado en la revisión, es que la energía solar térmica puede ser utilizada para generar hidrógeno mediante procesos como la electrólisis a alta temperatura, la termólisis directa y los ciclos termo-químicos.

**Palabras clave** — Hidrógeno verde, hidrólisis, energía limpia

**Abstract** — Hydrogen is an element that is currently spoken of as a renewable energy resource. This element is the most abundant in nature, however, due to its characteristics, it is an element that requires complex processes for its production, storage and use. In this document, a documentary review is carried out on hydrogen, and also on the processes and technologies of hydrogen production through solar thermal energy, making an analysis of the advantages and disadvantages of the different production processes. Finally, it is discussed which method is more efficient and could be used on a large scale. As a method of information analysis, the descriptive bibliographic review is used. One of the main conclusions about what is discussed in the review is that solar thermal energy can be used to generate hydrogen through processes such as high temperature electrolysis, direct thermolysis and thermo-chemical cycles.

**Keywords** — Green hydrogen, hydrolysis, clean energy.

<sup>1</sup> Ingeniera Industrial, MSc Recursos Energéticos UDES

<sup>2</sup> Ingeniero Sanitario y Ambiental, MSc en C. Recursos Energéticos. Docente investigador Grupo de Estudios Ambientales para la Sostenibilidad, la Innovación y el Desarrollo, Geasid, Unisangil.

<sup>3</sup> Ingeniero Mecánico. Instructor SENA. MSc en C Recursos Energéticos UDES.

## I. INTRODUCCIÓN

El hidrógeno cada vez se perfila como uno de los principales vectores energéticos a nivel mundial. La disminución en las reservas de combustibles fósiles y la utilización de energía limpia y generación de electricidad mediante fuentes renovables ha desplazado poco a poco a los combustibles que están y se relacionan con la contaminación del aire y el calentamiento global.

En la actualidad el 86% del hidrógeno producido procede del reformado de hidrocarburos, sin embargo, esta ruta no ofrece una solución a la problemática derivada de la dependencia a los combustibles fósiles, así como a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por ello, para construir una economía de hidrógeno verdaderamente sostenible es necesario que este sea producido a partir de fuentes y elementos renovables [1].

El sol es la principal fuente de energía para la tierra, muchos ciclos naturales ocurren gracias a la energía que provee el astro luminoso. La radiación solar actual se estima en aproximadamente  $1.74 \times 10^{14}$  kW/año [2].

La energía calórica generada por la radiación solar puede ser aprovechable para la generación de hidrógeno. Varios son los métodos propuestos para la producción de hidrógeno de origen renovable, como el producido a partir de la electrólisis de agua (siempre que la energía eléctrica tenga un carácter renovable como el hidroeléctrico) o mediante gasificación de biomasa (con vapor de agua) [3].

Actualmente, se utiliza la energía calórica mediante procesos de concentración, o con el uso de un elemento o dispositivo colector. En esencia consiste en un dispositivo donde inciden las radiaciones reflejadas por los concentradores dispuestos en el campo. De este modo, se consiguen flujos de radiación capaces de elevar la temperatura de la cámara bien por encima de los 2000 °K. [3].

El uso de concentradores solares para la producción de hidrógeno es un tema de estudio actual y merece un análisis a profundidad, pues si bien la tecnología es emergente, a futuro puede resultar un importante aporte a la economía del hidrógeno.

## II. MARCO DE REFERENCIA

### A. Energía solar térmica

También conocida como energía solar termoelectrica o termo-solar, su objetivo principal es aprovechar la radiación directa, concentrando los rayos del sol mediante espejos que permitan conseguir temperaturas suficientemente altas, con las cuales se pueda evaporar un fluido y mediante procesos

de conversión, logre producir energía eléctrica. Este proceso de concentración solar, trabaja con sistemas de tipo linear, como los colectores cilindro parabólicos, sistemas Fresnel, sistemas de receptor central a torre y los discos parabólicos con turbina o discos Stirling [4].

En relación con el aprovechamiento de la energía solar como fuente para la producción de hidrógeno, se conocen tres procesos principales, que son los procesos fotoquímicos, electroquímicos y termoquímicos, de los cuales, los que han tenido un mayor desarrollo técnico-económico, son los electroquímicos que consiste en llevar a cabo electrólisis a alta temperatura y los termoquímicos, los cuales usan la radiación solar concentrada como fuente calorífica de alta temperatura para llevar a cabo reacciones endotérmicas [4].

### B. Electrólisis de alta temperatura

El proceso de electrólisis a alta temperatura del vapor de agua, requiere temperaturas que oscilan entre 600 °C y 1000 °C, y las mayores eficiencias de conversión ocurren por encima de los 800 °C [5]. Estos procesos suministran el calor y la electricidad a partir de colectores cilíndrico-parabólicos, discos parabólicos e instalaciones de torre central, requiere además de energía eléctrica, energía térmica para separar la molécula del agua llevándola hasta vapor sobrecalentado, lo que permite una mejora en su eficiencia, dado que la demanda de energía eléctrica, disminuye conforme aumenta la temperatura. Por ello, la electrólisis con vapor produce hidrógeno con una potencia eléctrica menor que la que se requiere para el caso del agua a temperaturas inferiores [6].

### C. Termólisis directa

Es un método basado en la reacción de disociación en un único paso de la molécula de agua utilizando energía solar. Sin embargo, este proceso presenta dos graves inconvenientes que dificultan su desarrollo, el primero es que requiere temperaturas mayores a 2500 °C, lo que da lugar a tener problemas de materiales y a un aumento de las pérdidas por re-radiación, lo que disminuye la eficiencia de absorción; por otro lado, debe contar con una técnica efectiva de separación de hidrógeno y el oxígeno para evitar su mezcla explosiva [4, 6]. Estos problemas se han solucionado realizando la disociación en pasos consecutivos llamados ciclos termoquímicos, llevando cada uno de ellos a temperaturas asequibles y sin concentraciones de mezcla explosiva [7].

### D. Ciclos termoquímicos

Consisten en la descomposición del agua utilizando la radiación solar concentrada como fuente calorífica de alta temperatura para obtener hidrógeno mediante una serie de reacciones químicas endotérmicas y exotérmicas, la ventaja de este método es que no requiere altas temperaturas para su

operación, sin embargo, en su proceso existen varias etapas, lo que reduce el rendimiento total del proceso debido a la irreversibilidad asociada a cada una [4].

*Ciclo azufre (S) - yodo (I)*: Este ciclo puede ser impulsado por el calor a alta temperatura producido por la tecnología de concentración térmica solar, esta aplicación permite producir hidrógeno sostenible, ya que depende de una energía solar limpia, segura y fácilmente disponible [8].

Se propuso un diseño de sistema para la producción de hidrógeno continua y libre de emisiones, utilizando el ciclo termoquímico S-I, el diseño consiste en generar el calor necesario para la descomposición, utilizando una combinación de sistemas cilindro parabólicos y de torres solares, este diseño se basa en el desacoplamiento de la sección de alta temperatura del resto del proceso a través del almacenamiento de material y energía para un funcionamiento continuo. El sistema se diseñó para que la torre solar (capacidad de 80 MW th) proporcione el calor de alta temperatura requerido por la sección de descomposición ácida, y el sistema cilindro parabólico (con una potencia de 113 MW th) proporcione el calor de proceso a baja temperatura requerido por la sección de descomposición yoduro de hidrógeno (HI). Luego de la simulación se observó que el sistema propuesto es comparable a sus alternativas en términos de eficiencia de calor a hidrógeno en un 38% [8].

*Ciclo cobre (CU) - cloro (CI)*: Este ciclo termoquímico requiere calor a temperaturas alrededor de 530 °C, la energía solar como la fuente de energía renovable más abundante y disponible, se convierte en un excelente candidato para la integración con estos sistemas, por ello, el sistema que más se acopla a este ciclo es el sistema de torre de energía solar, debido a que esta tecnología puede producir calor a temperaturas superiores a 530 °C [9].

En un estudio, se realizó el análisis de un sistema integrado utilizando aire como fluido de transferencia de calor de una torre de energía solar presurizada por cavidad para suministrar calor a los reactores e intercambiadores de calor de un ciclo de (CU-CI), para lograr un funcionamiento continuo de sistema, los investigadores utilizaron material de cambio de fase basado en sal de fluoruro eutéctico como medio de almacenamiento de energía térmica. Para el estudio se utilizó como línea base la producción del sistema de 343.01 kg/h de hidrógeno, 41.68 MW y 11.39 kg/s de vapor con una eficiencia general de 45.07% de energía y 49.04% de exergía del sistema. Por último, se realizó una optimización para evaluar la cantidad máxima de hidrógeno producido utilizando el algoritmo genético (GA), el resultado mostró que, seleccionando los parámetros de entrada apropiados (ver Tabla 1), se alcanza una tasa de producción de hidrógeno de 491.26 kg/h [9].

TABLA 1. RESULTADOS ÓPTIMOS DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO PARA UN CICLO (CU- CI) [9]

Parámetro	Valor óptimo
Número de espejos heliostáticos (n heliostatos)	5979
Relación de presión de la unidad de turbina de gas	13.97
Temperatura del aire caliente que entra al ciclo	892.97 (K)
Temperatura de la reacción de hidrólisis (Ts1)	648.05 (K)
Temperatura de la reacción de termólisis (Ts2)	773.1 (K)
Temperatura de entrada de la turbina de vapor (T51)	673.0 (K)
Presión de entrada de la turbina de vapor (P51)	178895.25 (kPa)
Primera presión de purga de la turbina de vapor (P52)	3471.82 (kPa)
Segunda presión de purga de la turbina de vapor (P53)	690.42 (kPa)
Punto de pellizco Re Re T	2.04
Hidrógeno producido (H <sub>2</sub> P)	491.26 kg/n

### III. METODOLOGÍA

La metodología seguida para el desarrollo del presente documento se basa en la Revisión bibliográfica descriptiva.

Según esta metodología de revisión documental, se establecen unas etapas para el desarrollo y escritura del documento así:

#### *Búsqueda bibliográfica*

En esta etapa se realiza una búsqueda de documentos científicos acerca del tema y la investigación en bases de datos y revistas científicas.

#### *A. Establecimiento de estrategia de búsqueda*

Para el presente trabajo se realiza una búsqueda por ítems y palabras clave en bases de datos y revistas especializadas en el tema de generación de hidrógeno mediante la utilización de energía solar térmica. Los documentos son organizados previamente por categoría y subtemas y luego se formula el documento.

#### *B. Tipo de revisión*

Revisión crítica descriptiva. Se señalan y discuten las diferentes características de los procesos de producción de hidrógeno mediante energía solar térmica, y se contrastan los procesos, así como se identifican las fortalezas y debilidades de los diferentes procesos.

### IV. DISCUSIÓN

Los métodos más utilizados para la producción de hidrógeno a alta temperatura por concentración de energía solar han sido la electrólisis a alta temperatura, la termólisis directa y los ciclos termoquímicos, utilizando colectores

cilíndrico-parabólicos, discos parabólicos y centrales de torre [10].

Los métodos mencionados en los acápites anteriores son alternativas factibles y prometedoras para la utilización de energía solar, sin embargo, los procesos termoquímicos presentan ventajas termodinámicas que permiten tener un mayor interés hacia este tipo de procesos.

La clave del ciclo de producción de hidrógeno termoquímico es el calor, por ello, una de las razones de interés en este proceso es que la temperatura de reacción coincide con la energía térmica de alta temperatura proporcionada por los reactores atómicos de alta temperatura. Para la selección de un sistema termoquímico solar se deben tener en cuenta condiciones como la absorbancia solar, la resistencia al choque térmico, la fatiga del material y la escalabilidad. A partir de estos requisitos, diversos investigadores coinciden en que el sistema que tiene el potencial de lograr ciclos termoquímicos comerciales son los sistemas de torre solar [11].

La termólisis directa de agua tiene como inconveniente principal, que debe operar por encima de los 2500 °C generando una fracción baja de producción de hidrógeno, por su parte los ciclos termoquímicos de dos pasos, como el S-I y el CU – CI pueden producir hidrógeno y oxígeno por separado durante un proceso de división de agua de dos o varios pasos a temperaturas más bajas (850 °C) con una cinética de reacción más rápida. Sin embargo, estos ciclos sufren problemas ambientales, debido al uso de ácido, bases duras y metales pesados que son utilizados durante su proceso.

También la termólisis a alta temperatura (por encima de los 2000°C) presenta otro inconveniente, y es que el resultado del proceso es una mezcla gaseosa de hidrógeno y oxígeno, lo que indica un riesgo considerable de explosión a tales temperaturas [12].

Por otro lado, las plantas de energía termo-solar para la producción de hidrógeno por vía electrolítica pueden generar calor entre los 500 a los 100 °C, utilizando un fluido de trabajo, por lo que la eficiencia en la utilización de un fluido de trabajo está en el rango de 30 a 60%, por lo tanto, la integración de un electrolizador y energía solar térmica puede ofrecer una mayor eficiencia de producción de hidrógeno, inclusive mejor que un electrolizador con paneles fotovoltaicos con eficiencias en el orden de los 16 al 32% [12].

Otra gran ventaja de la electrólisis del agua es que la producción de hidrógeno todavía puede operar de noche o de día por uso de energía cuando la luz solar no está disponible. El poder podría generarse a partir de la energía solar térmica almacenada para usar por la noche y en condiciones

climáticas indeseables. Grandes cantidades de energía calórica se pueden almacenar en aceites térmicos o sales fundidas por tiempos óptimos cuando la luz del sol no está disponible [13].

Centrándonos en la electrólisis a alta temperatura, esta tecnología tiene un buen potencial a nivel internacional en sistemas de concentración solar o en reactores nucleares de generación IV refrigerados por helio. Por ese motivo, la electrólisis de alta temperatura se está empezando a tener muy en cuenta en algunos países de Europa y Estados Unidos. En este método se aporta electricidad y calor a la reacción de descomposición acelerándose la cinética, reduciéndose la pérdida de energía debido a la polarización de electrodos y aumentándose la eficiencia del sistema total [14].

## V. CONCLUSIONES

La energía proveniente del sol puede ser utilizada para generar hidrógeno mediante procesos de energía solar térmica. Entre los procesos más utilizados para este cometido son la electrólisis a alta temperatura, la termólisis directa y los ciclos termoquímicos.

De los procesos analizados en el presente trabajo, y según la literatura, la tecnología de electrólisis a alta temperatura se presenta como una tecnología con mayores eficiencias a la hora de producir hidrógeno, y con menores inconvenientes y mayores ventajas frente a las demás tecnologías.

Por otro lado, existen múltiples y nuevas tecnologías para la producción de hidrógeno, sin embargo, son tecnologías emergentes y con necesidades en investigación aún por venir, como nuevos materiales para los procesos de alta temperatura y mezclas químicas para lograr optimizar los procesos y aumentar la eficiencia en la producción de hidrógeno.

## REFERENCIAS

- [1] J. L. García Fierro, *et al.* "Producción de hidrógeno mediante un ciclo termoquímico de disociación de agua utilizando óxidos redox" ES Patente 2 366218 B1 Oct 18 2011 [en línea] Disponible en: <http://hdl.handle.net/10261/165011>
- [2] Y. Tian, C.Y. Zhao (2013). "A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied Energy*", 104: 538-53.
- [3] J. Plou, P. Durán, and J. A. Peña. "Perspectiva sobre la producción de hidrógeno por métodos emergentes basados en energía solar y de alta temperatura". *Bol. Grupo Español Carbón* n°34, pp. 12-17, Dic. 2014 [en línea] Disponible en: <http://hdl.handle.net/10261/110635>
- [4] A. Lache-Muñoz "Producción de hidrógeno a partir de energía solar. Panorama en Colombia", *Revista Elementos*, vol. 5, pp. 95-111. Sep 2015 [en línea] Disponible en: <https://doi.org/10.15765/e.v5i5.621>
- [5] J. E. Hoffmann (2019). "On the outlook for solar thermal hydrogen production in South Africa", *International Journal of Hydrogen Energy* vol. 44(2), pp. 629-640. [en línea] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.069>
- [6] J. Valle-Hernández, y P. López-Pérez (s.f.). Estimación de la eficiencia asociada a la producción de hidrógeno con energía solar concentrada.

Programa Educativo de Ingeniería en Energía; Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo. Tolcayuca, Hidalgo.

- [7] J. Ramos-Polo, “Análisis económico de una planta de producción de hidrógeno a partir de una instalación de energía solar de concentración de torre mediante un caso práctico”, Ingeniería de Tecnologías Industriales, Universidad de Sevilla. Sevilla, España, 2018.
- [8] R. H. Jeff-Cumpston, *et al.* “Design of 24/7 continuous hydrogen production system employing the solar-powered thermochemical SeI cycle”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, pp. 24383-24396. 2020.
- [9] S. Saeghi, and S. Ghandehariun, “Thermodynamic analysis and optimization of an integrated solar thermochemical hydrogen production system”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(53), pp. 28426-28436. 2020.
- [10] M<sup>a</sup> J. Montes, A. Abánades and J. M. Martínez-Val. (2010). Producción de hidrógeno a partir de energía solar. [en línea] Disponible en: <http://www.energiasostenible.net/DVD/H2solar.pdf>.
- [11] Yanpeng, M. *et al.* (01/06/2020). Hydrogen production via a two-step water splitting thermochemical cycle based on metal oxide - A review, *Applied Energy*, 267.
- [12] Wang, Z. *et al.* (2012). Comparison of thermochemical, electrolytic, photoelectrolytic and photochemical solar-to-hydrogen production technologies. *International Journal of Hydrogen Energy* 37. 21, pp. 16287-16301.
- [13] Moens, L.; Blake, D.M.; Rudnicki, D.L.; Hale, M.J. (2003). Advanced thermal storage fluids for solar parabolic trough systems. *J Solar Energy Eng*, 125: 112-6.
- [14] Rodríguez, J. (2016). Electrólisis a alta temperatura. TG Ingeniería de las Tecnologías Industriales. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 2016.