

Energía Renovable: Hidrógeno como Vector Energético

Renewable Energy: Hydrogen as an Energy option

Katherine Sánchez Zambrano ¹
kszambrano@gmail.com

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería,
Programa de Especialización en Gerencia Ambiental y Desarrollo Sostenible Empresarial (1)

Resumen

El presente artículo tiene por objetivo principal: exponer las potencialidades del hidrógeno como vector energético. Para lo cual es pertinente establecer aspectos cómo: I) presentar al hidrógeno como fuente de energía limpia. II) revisar el marco institucional y campos de desarrollo del hidrógeno como vector energético y III) establecer la situación de Colombia para la implementación de energías limpias como el hidrógeno. Por tanto, para este documento se efectúa una revisión bibliográfica y se presentan desde un esquema descriptivo, de componente científico-técnico, una investigación básica de las características y desarrollos que ha tenido el hidrogeno como alternativa energética y las posibilidades que podría tener en Colombia en un futuro cercano la implementación de proyectos con este tipo de energía alternativa. En el marco de esta indagación se establece que el hidrógeno es fuente de energía limpia y renovable, además es un elemento abundante al alcance de todos, por ello, diversos gobiernos se encuentran realizando esfuerzos para incluir el hidrógeno dentro del mix energético de los países en un futuro cercano. En el escenario internacional, se debe destacar que existen diversas organizaciones direccionadas a fortalecer y mejorar la seguridad y eficiencia de los sistemas energéticos relacionados con el hidrógeno, su finalidad es contribuir a la economía y al ambiente, además de asegurar su independencia energética. Por su parte en el escenario nacional, respecto a este tema, se encuentra que no se cuenta con unos lineamientos para el desarrollo de energías alternativas renovables y el hidrógeno como vector energético está desdibujado del panorama nacional.

Palabras Clave: hidrógeno, energía, vector energético, energía renovable.

Abstract

The main objective of this article is to expose the potentialities of hydrogen as an energy option. For which it is pertinent to establish aspects such as: I) present hydrogen as a source of clean energy. II) review the institutional framework and fields of hydrogen development as an energy option and III) establish the situation in Colombia for the implementation of clean energies such as hydrogen. Therefore, for this document a bibliographic review is carried out from a descriptive scheme of scientific-technical component, a basic investigation of the characteristics and developments that hydrogen has had as an energy alternative and the possibilities of projects implementation with this type of alternative energy in Colombia in the near future. In the framework of this inquiry, it is established that hydrogen is a source of clean and renewable energy, it is also an abundant element within everyone's reach, therefore, several governments are making efforts to include hydrogen within their energy mix in the near future. In the international scenario, it should be noted that there are several organizations aimed at strengthening and improving the safety and efficiency of energy systems related to hydrogen, its purpose is to contribute to the economy and the environment, in addition to ensuring its energy independence. For its part in the national scenario, regarding this issue, it is found that there are no guidelines for the development of alternative renewable energies and hydrogen as an energy option is blurred from the national panorama.

Keywords: hydrogen, energy, energy option, renewable energy.

1. INTRODUCCIÓN

El hidrógeno como fuente de energía es un tema poco explorado para Colombia, por ello nace un interés particular por este tema, además que los gobiernos y la sociedad cada vez tienen un interés más acentuado por llegar a integrar ciudades más sostenibles, lo cual, requiere buscar materias primas ambientalmente amigables. Es decir, que debemos buscar que nuestro consumo de bienes y servicios ambientales tengan un menor impacto en el entorno.

De esta manera, el desarrollo sostenible de las ciudades requiere un suministro energético con menores emisiones que las generadas por el uso de combustibles fósiles. Es necesario entonces, explorar el escenario alternativo de la energía: solar, eólica, hidráulica y la biomasa. En este contexto, el hidrógeno también será un factor clave en el desarrollo sostenible.

No obstante, alcanzar un desarrollo sostenible implica un esfuerzo social y gubernamental para implementar procesos de investigación, desarrollo e innovación que permitan usar al hidrógeno como fuente energética. De esta manera, el presente artículo tiene por objetivo principal: exponer las potencialidades del hidrógeno como vector energético. Para lo cual es pertinente establecer aspectos cómo: I) presentar al hidrógeno como fuente de energía limpia. II) revisar el marco institucional y campos de desarrollo del hidrógeno como vector energético y III) establecer la situación de Colombia para la implementación de energías limpias como el hidrógeno.

El presente documento busca esclarecer e identificar las ventajas y desventajas que tiene el hidrógeno como fuente de energía alternativa y el campo de desarrollo que tiene este vector energético en Colombia a partir de una revisión bibliográfica, la cual se basa en recopilar, analizar y discutir las ideas principales y resultados de las publicaciones de los últimos 20 años, las cuales se encuentran en: publicaciones institucionales, informes de organismos con amplia trayectoria en el campo energético, a nivel nacional y mundial, y otros artículos académicos.

Dicha revisión se plasma en cinco (5) apartados, siendo este el primero (introducción). En un segundo apartado de resultados y discusión, se explican algunas generalidades respecto al hidrogeno como un elemento natural y como vector energético, además de aborda el contexto internacional y nacional respecto a los desarrollos efectuados por los diferentes países en esta materia. Posteriormente en un tercer apartado se resaltan las ventajas y desventajas del hidrogeno como fuente de energía renovable. En el cuatro apartado, se evidencia las condiciones energéticas de Colombia para la implementación de energías alternativas. Y para finalizar, el quinto y último apartado se presentan unas breves conclusiones.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 CONTEXTO DEL HIDRÓGENO

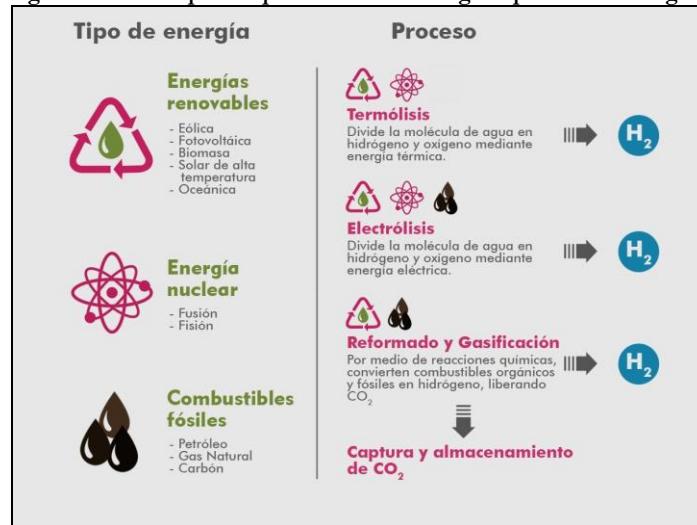
Como el hidrógeno es un gas, no presenta forma ni volumen definido y ocupa todo el espacio disponible. Puede estar en contacto con el ser humano ya que no es toxico y puede respirarse sin peligro. Es el elemento más abundante del universo donde el 90% de la materia del universo está constituida por este elemento, por tanto, la mayoría de las ocasiones se encuentra combinado con otros átomos variando su composición y la forma de su materia. Una de las combinaciones más comunes, y más conocidas, donde se encuentra presente el hidrógeno es el agua (H_2O).

El hidrógeno es considerado como un vector energético, dado que es un elemento que no se encuentra aislado en la naturaleza, y no se puede extraer de ningún sitio a bajo costo (Espada, 2016). El hidrógeno no puede constituirse como una fuente de energía primaria, debe someterse a un proceso (electrólisis, termólisis, fotoelectrólisis, etc.) para separar las moléculas (Agencia Andaluza de la Energía, 2010).

Por lo anterior, un compuesto que contenga hidrógeno debe someterse a una reacción de descomposición, con el propósito de alterar la mezcla del compuesto y arrojar un elemento más sencillo. Por ejemplo, la electrólisis del agua (H_2O) efectúa una descomposición que arroja como resultado los gases oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2) por medio de una corriente eléctrica continua (o aplicación energía de fuente primaria), (Saules & Estrada, 2014)

No obstante, la electrólisis del agua es solo una de las múltiples opciones que existen para obtener hidrógeno. Fierro (2011) explica que: para producirse H_2 se debe “reformular el proceso del gas natural, nafta, fuel pesado o carbón, la relación atómica H/C (hidrógeno/carbono) más elevada de la molécula CH_4 (metano) con respecto a otros combustibles indica que el gas natural, cuyo componente mayoritario es el CH_4 , sea el precursor más idóneo para producir hidrógeno”. También explica los procesos de reacciones químicas, las cuales son complejas, y se obtiene como resultado hidrogeno. Las fuentes para la obtención de H_2 referenciadas por este autor son: I) Reformado de Hidrocarburos y Metanol, II) Biomasa Celulósica, III) Procesos Térmicos, IV) Procesos Fotoquímicos, V) Reformado de Etanol y Azúcares y VI) Biofotólisis de Agua. Por su parte, el Centro Nacional de Hidrógeno (2015) describe de la siguiente manera la producción de este elemento:

Figura 1. Proceso para la producción de energía a partir del hidrógeno



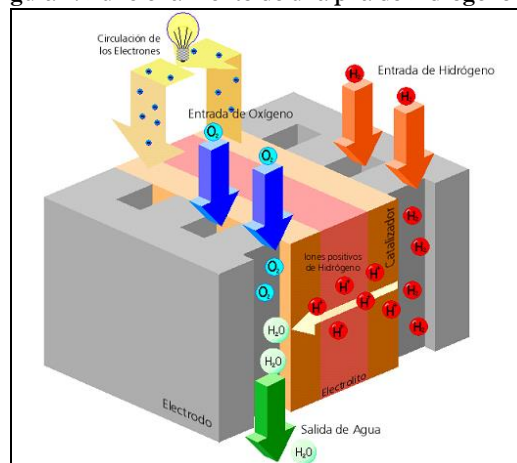
Fuente: Centro Nacional del Hidrogeno (2015)

De lo expuesto por Fierro y el Centro Nacional de Hidrógeno es importante destacar que la producción de hidrógeno siempre va a requerir una fuente de energía primaria. Ahora, si la fuente de energía para la producción es proveniente de combustibles fósiles se tendrán emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

La Agencia Andaluza de la Energía (2010) manifiesta que en “la actualidad el 94% del hidrógeno producido a nivel mundial se origina mediante el reformado del Gas Natural (metano o CH₄)”. A gran escala este proceso es el que presenta un menor costo, sin embargo, al utilizar una materia prima de origen fósil (gas) se efectúan emisiones (CO₂).

Ahora, la transformación del hidrógeno en energía se logra gracias a una de las tecnologías similares a la fabricación de una batería. “Las pilas de combustible transforman la energía química en energía eléctrica mediante una reacción electroquímica. Las pilas de combustible necesitan un suministro de hidrógeno y de aire para producir electricidad. El hidrógeno y el oxígeno penetran en la célula que produce la reacción electroquímica. De este modo se libera la electricidad, el calor y el agua” (Espada, 2016). Del mismo modo, el Centro Nacional del Hidrógeno (2015) define que: “una pila de combustible es un dispositivo de energía electroquímica que produce electricidad y calor. Para ello se utiliza hidrógeno como combustible para combinar con el oxígeno del aire, convirtiéndolo en agua, a la vez que se produce electricidad y calor. El funcionamiento es muy parecido al de una batería” (ver Figura 2). “Los diferentes elementos que componen una pila de combustible son: I) Los electrodos: ánodo, donde se disocia el hidrógeno en dos protones H⁺ y cátodo, donde reaccionan los protones H⁺ y O₂. II) El electrolito: separa los gases, permite el paso de iones H⁺ al cátodo y separa los electrones y III). Las placas bipolares: separan las celdas, conducen los gases y evacúan el agua generada”.

Figura 2. Funcionamiento de una pila de hidrógeno



Fuente: Sanchez & Mesa (2014)

Con lo expuesto hasta el momento se puede decir que el hidrógeno es fuente de energía limpia. El hidrógeno puede obtenerse (o producirse) a partir de procesos con cero emisiones de CO₂ y la generación de energía tampoco arroja emisiones que afecten negativamente el ambiente. Además, se puede decir que el hidrógeno es fuente de energía renovable, ya que es un elemento abundante al alcance de todos.

De este modo, el hidrógeno se constituye como una fuente de energía limpia y renovable, por lo cual, algunos gobiernos encuentran realizando esfuerzos para incluir este elemento (H) dentro del mix energético de sus países en un futuro cercano. En consecuencia, es conveniente revisar el escenario internacional y nacional para identificar las labores que se están realizando con el propósito de incorporar al hidrógeno en la oferta energética, cuestión que se abordará a continuación.

2.2. ESCENARIO INTERNACIONAL

En el ámbito internacional uno de las instituciones más robustas es la Agencia Internacional de Energía (en inglés IEA – International Energy Agency). La IEA es una organización que nació en 1974 compuesta por 29 países que trabajan en conjunto para asegurar energía confiable, asequible y limpia y su enfoque principal se fundamentan en cuatro (4) pilares: I) Seguridad Energética, II) Desarrollo Económico, III) Conciencia Ambiental y IV) Compromiso Mundial.

La IEA (2015) publicó: “Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells” (lo que en español traduciría: Hoja de Ruta de la Tecnología del Hidrógeno y las Pilas de Combustible), desde aquí ya se evidencia un fuerte interés por trabajar en este tipo de energía renovable. Este documento exhibe una visión al 2050, por lo cual se establece unas metas y escenarios que alcanzar en el tema de uso del hidrógeno en el transporte y la industria. De igual manera, presenta como actores relevantes en este tema a: Estados Unidos, Japón y Unión Europea (UE). De la UE resaltan el trabajo que realiza España. De esta forma, la IEA contribuye a identificar los países que contribuyen al liderar el tema de: Hidrógeno como Vector Energético.

Para el caso de Estados Unidos (EE.UU.), se destaca que ha orientado sus esfuerzos a los temas de: producción y almacenamiento del hidrógeno, a su vez trabaja en la definición de protocolos (estandarización de procesos de producción hasta aspectos de seguridad) para el manejo de dicho elemento. Además se resalta que dentro del Departamento de Energía de EE.UU (DoE - Department of Energy), la gestión del programa de hidrógeno y pilas de combustible la lleva a cabo la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable (EERE - Office of Energy Efficiency and Renewable Energy) (Agencia Andaluza de la Energía, 2010).

Por su parte, Japón es señalado como el primer país en establecer un Plan Nacional de Hidrógeno y Pilas de Combustible. Actualmente, este país se encuentra liderando la fabricación de diferentes dispositivos relacionados con estas tecnologías; todo ello ha sido logrado, en gran medida, gracias a la sostenida inversión pública y privada para promover la I+D (investigación y desarrollo) necesaria en el sector. (Agencia Andaluza de la Energía, 2010).

En lo que respecta a la Unión Europea, esta es una organización que cuenta desde el 2007 con el “The European Strategic Energy Technology Plan” (lo que en español traduciría: Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética o SET-PLAN). Este Plan señala al hidrógeno y las pilas de combustible entre las tecnologías necesarias para alcanzar las metas propuestas por la UE. Dichas metas se fijan en: I) Reducir en un 20% las emisiones de gases de efecto invernadero. II) Contar con una cuota del 20% de energías renovables en su mix energético y III) Reducir en un 20% el consumo de energía. Estas propuestas se hacen con el objetivo de lograr en el largo plazo (escenario 2050) la descarbonización de su sistema energético para contribuir con el ambiente.

De la UE, también se destaca el empeño del gobierno de España por trabajar en temas de I+D+I (investigación, desarrollo e innovación) que se encuentran enfocados en los aspectos de aplicación de la tecnología del hidrógeno en generación, almacenamiento y transporte del mismo. Dentro de España se destacan ciudades como Aragón, Galicia y Madrid, al igual que la región de Andalucía, por su trabajo en esta materia.

Según la Agencia Andaluza de la Energía (2010), estas tres (3) regiones cuentan con las siguientes características que las hacen sobresalientes en el tema del hidrógeno como vector energético:

- ARAGÓN: dispone desde 2007 de un Plan Director propio en esta materia, gestionado a través de la Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías de Hidrógeno. Este documento se encuentra actualizado y se denomina: “Plan Director del Hidrógeno en Aragón 2016 – 2020” (2016).
- GALICIA: cuenta con la Plataforma Tecnológica ENERXE (Plataforma Tecnológica Galega da Enerxía), la cual, ha promovido un panel de expertos en hidrógeno, en el que participa la administración, grupos de investigación, universidades y empresas gallegas.
- MADRID: cuenta con la fundación IMDEA (Instituto Madrileño de Estudios Avanzados) Energía contempla dentro de sus líneas de investigación al hidrógeno como instrumento para producir combustibles sostenibles.

Sobre la región de Andalucía, la misma agencia presenta un documento denominado: “Estado de las Tecnologías del Hidrógeno y de las Pilas de Combustible en Andalucía” (Agencia Andaluza de la Energía, 2010), aquí se exhibe el escenario actual en la materia y además propone un visión a futuro en el tema, asimismo relaciona los numerosos proyectos en I+D+I que tienen en curso y que pretenden emprender. Su inversión inicial en proyectos fue de 40 millones de euros en relación a investigaciones en energías renovables.

En consecuencia, se evidencia que España es un país muy organizado y comprometido en la generación de energías alternativas. Presentan planes de investigación, desarrollo e innovación en lo que respecta al hidrógeno.

Para finalizar los aspectos del escenario internacional, se debe destacar una organización direccionada a fortalecer y mejorar la seguridad y eficiencia de los sistemas energéticos relacionados con hidrógeno, su finalidad es contribuir a la economía y al ambiente, esta organización es la Alianza Internacional para la Economía del Hidrógeno (IPHE - International Partnership for the Hydrogen Economy) que se estableció en el año 2003 como una asociación intergubernamental internacional que tiene por objetivo facilitar y acelerar la transición a sistemas limpios y eficientes de energía y movilidad mediante tecnología de pilas y combustibles a base de hidrogeno (en inglés se referencia como: FCH - Fuel Cells and Hydrogen). El IPHE se constituye como un foro para compartir información sobre las políticas y el estatus tecnológico, así como sobre iniciativas, códigos y estándares para acelerar la transición rentable al uso de FCH en la economía. Los países participantes en esta organización son 19: Australia, Brasil, Canadá, China, Comisión Europea, Francia, Alemania, Islandia, India, Italia, Japón, República de Corea, Nueva Zelanda, Noruega, Federación Rusa, Sudáfrica, Reino Unido y Estados Unidos. Es de destacar que en todas las organizaciones y trabajos presentados solo se encuentra presente un (1) solo país latinoamericano que es Brasil, quien se encuentra incorporado al IPHE.

Brasil se posiciona en la IPHE estructurando iniciativas y programas orientados a la implementación de energías renovables. Es así, que su Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovación y Comunicaciones (MCTIC) lanzó un programa nacional titulado: "Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación para Energías Renovables y Biocombustibles", (2018). El objetivo de este programa, a ejecutarse entre 2018 y 2022, es fomentar la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación dentro de las cadenas de producción energética, con énfasis en las energías renovables, donde se incluye el hidrógeno y los biocombustibles. Lo que se busca finalmente es la diversificación de la matriz energética del país (Brasil) con un enfoque en la seguridad y eficiencia energética.

Institucionalmente este país cuenta con la Asociación Brasileña de Hidrógeno o en portugués: Associação Brasileira do Hidrogênio, también conocido por sus siglas: ABH2. La ABH2, fundada en el año 2017, es: “una organización sin fines de lucro dedicada a reunir y organizar la investigación científica y desarrollos tecnológicos en el área del hidrógeno en Brasil”. Una de las principales tareas de la ABH2 es la compilación de centros de investigación en universidades e industrias que actualmente se encuentren activas en procesos de investigación sobre hidrógeno y celdas de combustible, además identifica compañías que cofinancian tales desarrollos. Este tipo de acciones institucionales evidencian una relación: Universidad – Empresa – Estado, la cual trabaja al alrededor de temas estratégicos para la puesta en marcha del uso del hidrógeno como fuente de energía alternativa para dicho país.

También es relevante indicar que Brasil albergó, en el año 2018, la Conferencia Mundial de Energía de Hidrógeno o en inglés: The World Hydrogen Energy Conference, también conocido por sus siglas: WHEC. La WHEC se lleva a cabo cada dos (2) años desde 1976, esta conferencia es la más reconocida en el campo de la energía del hidrógeno y las pilas de combustible, se realiza bajo el auspicio de la Asociación Internacional para la Energía del Hidrógeno (IAHE) y recibe

asistentes y expositores de más de 60 países que ofrecen oportunidades de intercambio de información científica y de mercado para: empresas, universidades, gobiernos y otras organizaciones.

Es notable encontrar que la WHEC en su versión Nro. 12 del año 1998 se realizó en Argentina, Buenos Aires. Los antecedentes en Argentina, en lo que respecta al hidrógeno como vector energético, se remontan a la década del 70 y presenta desarrollos hasta la fecha. “Una decena de instituciones académicas y de investigación, junto con la AAH (Asociación Argentina del Hidrógeno) fundada en 1996, han logrado a escala de laboratorio y una planta experimental de hidrógeno, ensayar motores, grupos electrógenos, quemadores, pequeñas pilas de combustible, vehículos, compresores y electrolizadores, entre otros. Como hito se logró la instalación de una pequeña planta piloto en la base Esperanza, Antártida Argentina” (Bolcich, 2018). “En enero de 2009 comenzó a funcionar el primer Módulo Argentino de Energía Limpia (MAEL I), para proveer de energía a la Base Esperanza en la Antártida. El MAEL I produce energía eléctrica a partir del viento, que es utilizada para: calefacción, cocina y hacer funcionar motores a hidrógeno para producción de más energía”. Por lo cual, MAEL I es una iniciativa viento - hidrógeno. Con este proyecto la Argentina se convierte en el segundo país en instalar equipos de hidrógeno en la Antártida. El MAEL I es un desarrollo que está destinado a proveer con energía limpia a sitios aislados (Laborde, Bellot & García, 2010).

Realizando un análisis a nivel de Iberoamérica se estableció que los países que dado una mayor atención al desarrollo al tema del hidrógeno como vector energético son: España, Brasil y Argentina. “Y si se comparan las actividades en torno al hidrógeno de estos tres (3) países cuyos gobiernos le han dado alguna relevancia al tema, las diferencias también están claras: España, Brasil y Argentina en ese orden. Con apreciables diferencias con el resto de los países iberoamericanos. Estas diferencias tienen un justificativo histórico, la región iberoamericana y la latinoamericana en particular, no se han caracterizado por poseer desarrollos tecnológicos” (Laborde, Bellot & García, 2010).

IRENA (2018) y Bolch (2018) también resaltan a nivel de Latinoamérica a: Brasil y Argentina como los países que presentan un interés gubernamental y que cuentan con procesos institucionales, de investigación y desarrollo en el ámbito del hidrógeno como energía alternativa. También se menciona, pero en menor preponderancia, a Chile y México que comienza a fortalecerse en torno a este tema.

2.3 ESCENARIO NACIONAL

Para el escenario nacional, es necesario empezar por la máxima institución relacionada con la función energética de este país (Colombia). La UPME es la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia, la cual es una unidad administrativa gubernamental adscrita al Ministerio de Minas y Energía.

La UPME (2007) realizó un estudio denominado “Análisis y Evaluación Técnica y Económica de la Producción de Combustibles Líquidos a Partir de Carbón para el Caso Colombiano, teniendo en cuenta las dificultades de aprovisionamiento de petróleo y productos en el mediano plazo en Colombia, el encarecimiento internacional del precio del petróleo y la disponibilidad del carbón”. El análisis que arrojó fue que se considera a Colombia como un país exportador de carbón y con muy poco consumo interno, por lo cual, se evalúa la posibilidad de construir una planta de conversión de carbón a combustibles líquidos. De esta forma se “generarían combustibles líquidos a partir del carbón se puede realizar por hidrogenación directa (Direct Coal Liquefaction –DCL) licuefacción vía gasificación, purificación del gas, ajuste de la relación H₂/CO y síntesis Fischer-Tropsch (FT) para la obtención de combustibles tipo diesel y gasolina (Indirect Coal Liquefaction –ICL)”. Sin embargo, este estudio no va más allá de ser una propuesta. Además este análisis contempla el uso del hidrógeno para generar diésel y gasolina, por lo cual, no se tendría la producción de una energía renovable y amigable con el ambiente.

Según lo analizado de UPME (2017), en su Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética de la UPME para el periodo 2017 – 2022, se encuentra una escasez de propuestas de eficiencia energética para el país donde se proponga el uso del hidrógeno como energía alternativa. Además, en las más de 60 publicaciones que presenta la UPME, no cuenta con un título que efectúe referencia directa al hidrógeno como vector energético. La UPME, en el listado de publicaciones presentado en su Sistema de Información Minero Energético Colombiano (SIMEC, 2019), en relación a energías renovables solo presenta dos (2) publicación que se denominan: “Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia” (UPME, 2006) e “Integración Energías Renovables No Convencionales en Colombia” (UPME, 2015). En ninguna de las dos publicaciones tienen en consideración al hidrógeno como vector energético.

Siguiendo con el análisis de la oferta documental que puede brindar UPME y realizando una búsqueda en el centro de documentación (o Biblioteca UPME, 2019) se encuentra solo dos (2) artículos asociados al tema del hidrógeno: I) The Environmental Benefits and Economics of Hydrogen as a Vehicle Fuel in Canada: by Louise Gill (1998) y II) Estudio del Sistema Energético Basado en Hidrógeno como una Alternativa al Sector Termoeléctrico Colombiano (1999).

Con el ejercicio anterior, y con lo revisado en el escenario internacional, se puede establecer que hasta el momento no se evidencia una publicación robusta o relevante sobre el tema del hidrógeno como fuente energética en Colombia. Ahora, esto no quiere decir que no exista ningún tipo de literatura gris sobre dicho tema. En este contexto, se encuentran unos escasos documentos como: artículos o trabajos de grado, sin embargo, son esfuerzos aislados que no brindan profundidad o permitan alianzas para fortalecer el ámbito relacionado al hidrógeno como alternativa energética para nuestro país.

Es evidente entonces, que desde gobierno Colombiano no se tiene rastro explícito de objetivos o políticas en relación al hidrógeno como fuente energética. El país tampoco cuenta con una organización institucional enfocada o direccionada a la alineación de temas, iniciativas o investigaciones relacionadas con el hidrógeno. Por tanto, se puede indicar que esta opción de producción de energía renovable se encuentra desdibujada del panorama nacional. Es indiscutible que Colombia no presenta un desarrollo tan relevante como lo tiene Brasil o Argentina y mucho menos está empezando a trazar un camino como Chile o México en lo relacionado al hidrógeno como vector energético.

3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO

Las tendencias actuales en el suministro y el uso de energía son claramente insostenibles económica, ambiental y socialmente. Sin una acción decisiva, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas con la energía se duplicarán para 2050 y el aumento de la demanda de energía fósil aumentará las preocupaciones sobre la seguridad energética de los países (IEA, 2015).

El efectuar procesos I+D+I es necesario y conveniente para los países en el tema energético. El desarrollo y puesta en marcha del hidrógeno como vector energético puede garantizar la independencia energética de los países. Lo cual, alejaría a las economías de la dependencia de los combustibles fósiles y restaría importancia a la geopolítica generada por el petróleo y las especulaciones por este commodity.

Bajo este escenario, los gobiernos están llamados a contribuir en una revolución energética mundial, implementando innovaciones o tecnología energéticas con bajas emisiones de carbono. Por lo cual, La eficiencia energética, las fuentes de energía renovable, “la captura y almacenamiento de carbono, la energía nuclear y las nuevas tecnologías de transporte requerirán un despliegue generalizado si queremos reducir las emisiones de gases de efecto invernadero” (IEA, 2015).

Los países pueden lograr la independencia y seguridad energética a través del hidrógeno ya que este es un elemento abundante y que se encuentra en todo el ambiente. Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2015) establece al hidrogeno como un portador de energía flexible que puede ser producido a partir de cualquier fuente de energía primaria predominante regionalmente. Además, se puede transformar eficazmente en cualquier forma de energía para diversas aplicaciones de uso final. El hidrógeno es particularmente adecuado para el uso en pilas de combustible que utilizan eficientemente el hidrógeno para generar electricidad.

El hidrógeno es usado como una poderosísima fuente de energía desde las décadas de 1960 y 1970 en la impulsión de los trasbordadores espaciales. Para este siglo ya se ha empezado a trabajar el hidrógeno en Vehículos Eléctricos de Celda de Combustible (FCEVs - Fuel Cell Electric Vehicles). Marcas como Toyota, Hyundai y Honda han efectuado lanzamiento FCEVs. Aunque los números de producción previstos son una pequeña fracción de las ventas de automóviles convencionales, o incluso los de vehículos eléctricos, sin embargo, se evidencia el creciente interés de las manufacturas de automóviles en esta tecnología (Dincer, 2008).

Espada (2016) expone las ventajas que tiene el hidrógeno como fuente de energía. Estas ventajas son:

- No contamina: el hidrógeno no contamina o puede tener un muy bajo nivel de contaminación. Desde la electrolisis el

hidrógeno se toma a partir del agua y luego se oxida y se devuelve al agua, por lo que no hay elementos secundarios que intervengan en su proceso y las emisiones en el proceso son cero. Por su parte, las emisiones de carbono disminuyen si el hidrógeno se extrae desde el reformado de combustibles fósiles.

- Toxicidad: El hidrógeno podría tener mucha más seguridad como energía que cualquier otro tipo de combustible. De liberarse y quedar disipado no contaminaría ni a personas ni al medio ambiente.
- Alta eficiencia: Por lo visto el hidrógeno convertido en energía puede alcanzar gran eficiencia incluso mayor a al resto de energías. Por ejemplo durante una reacción de hidrógeno se libera una energía que es 2.5 veces mayor que la del poder de combustión de los hidrocarburos. El poder calorífico de algunos combustibles tiene el siguiente comportamiento (en condiciones superiores a 25°C, 1 atm): Gasolina: 47, 5 KJ/g - Metano 55, 53 KJ/g – Hidrógeno 141,8 KJ/g (Martínez, Barrenceche, et al, 2013).
- Silencioso: Convertido en energía y utilizado como combustible, el hidrógeno es un elemento prácticamente silencioso.
- Larga duración y potencia: el hidrógeno como energía puede proporcionar larga vida a los elementos sobre los que se aplique, además se podría llegar a regular su potencia y modular la energía de los sistemas según los crecimientos de la demanda energética, reduciendo drásticamente los costos iniciales.

Sin embargo, implementar el hidrógeno como vector energético no es una tarea fácil. Dincer (2008) indica que: “el hidrógeno es actualmente más caro que otras opciones de combustible, por lo que es probable que desempeñe un papel importante en la economía sólo a largo plazo, si las mejoras tecnológicas logran reducir los costos. Los precios más altos de los combustibles fósiles no necesariamente harían que el hidrógeno fuera más competitivo en el corto plazo. Dado que los combustibles fósiles son actualmente la principal fuente de calor, materias primas y electricidad para las plantas de producción de hidrógeno, el aumento de los precios del gas, el petróleo o el carbón también aumentarían el precio del hidrógeno”.

Por tanto, se deduce que el hidrogeno como vector energético presenta grandes obstáculos que debe ser superados. El hidrógeno es un tema que aún se clasifica en fase experimental, ya que se debe seguir efectuando desarrollos para disminuir costos de producción. Todavía no es accesible a todos los consumidores. Es pertinente seguir trabajando en investigación, estudio y mejora de sistema de almacenamiento y transporte.

Una de las grandes complicaciones del hidrógeno, es su almacenamiento. Lo que traduce problemas para su transporte. El hidrogeno en su estado natural es un gas que ocupa todo el espacio disponible, por tanto se atomiza, disipa y se filtra con facilidad. Por lo anterior se debe pensar en llevar al hidrógeno en otro estado de la materia de forma, fácil, económica y segura.

Si bien el hidrógeno presenta grandes beneficios, también presenta problemas para su uso como vector energético. Para superar estos inconvenientes, ya existen organizaciones y los gobiernos están realizando acciones y se han fijado metas para implementar este tipo de energías alternativas e incorporarlas en su mix y oferta energética, es seguro que pronto se verán los resultados de estos trabajos.

Sin embargo en el ámbito nacional, encontramos que Colombia tiene un desarrollo nulo en esta materia, donde es necesario hacer un llamado a la academia, a la empresa y al estado a promover con mayor fuerza procesos alrededor de implementación de energías alternativas que incluyan el hidrógeno como fuente energética para nuestro país.

4. PANORAMA DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN COLOMBIA

El tema de energías renovables para Colombia debe ser primordial. Desde el año 2018, uno de los eventos más importantes o noticiosos del país se relaciona con la construcción del proyecto hidroeléctrico “Hidroituango”. Si bien, la construcción de una hidroeléctrica genera grandes impactos ambientales, las fallas en la construcción de este proyecto han incrementado ostensiblemente los costos y los impactos ambientales, sociales y económicos, lo cual, trae al escenario la necesidad de pensar en alternativas para la generación de energía en Colombia.

En este contexto, Correa (2016), señala que: “hoy las centrales hidroeléctricas producen cerca del 70% de la electricidad del país, y hasta hace un tiempo estos grandes sistemas de generación se consideraban “limpios” y, de hecho, tal vez lo eran. No obstante, por tratarse de obras de gran magnitud, han afectado los suelos, la biodiversidad y actividades como la pesca, donde se ha puesto en riesgo, incluso, la seguridad alimentaria de los habitantes. Adicionalmente, están sujetas por completo a las variaciones climáticas”.

Las cifras de capacidad instalada para la generación de energía eléctrica en Colombia es de 16.742 megavatios, de los cuales, 10.963 proceden de fuentes hidroeléctricas (equivalente al 65% de toda la capacidad instalada), 787 megavatios se generan en plantas menores, la energía eólica aporta al sistema 19 megavatios, y la cantidad restante es sumada por las térmicas a gas, carbón, combustibles líquidos y cogeneración (Ramírez, 2018). Este mismo autor, señala que las potencialidades a desarrollarse en Colombia son las energías alternativas fundamentadas en energía solar y eólica. Esto último, implica que no se evidencia en un futuro cercano la implementación o trabajos orientados al hidrógeno como elemento productor de energía para nuestro país.

No obstante, no podemos pasar por alto en el tema de promoción de energías renovables en Colombia, que el Ministerio de Minas y Energías cuenta con la Ley 1715 de 2014 “por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.”. Ramírez (2018) señala que la clave de esta ley es el establecimiento de incentivos tributarios para facilitar la concreción de proyectos que integren energías renovables no convencionales. La respuesta de la implementación de esta ley, es que en los últimos años ha habido un incremento en la intención y la concreción de proyectos, y una respuesta creciente en cuanto a la solicitud de incentivos tributarios. Sin embargo, ninguna de las iniciativas presenta desarrollos relacionados con el hidrógeno como vector energético.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2010) en un estudio hecho para la región, revisó la situación y propuestas de políticas entorno a fuentes renovables de energía y encontró para Colombia las siguientes características:

Tabla 1. Estudios Sobre el Estado de Los Recursos de Energía Renovables en Colombia.

Energía	Conocimiento del Recurso	Comentarios
Solar	- Mapas del recurso anual y mensual.	Con potenciales prácticamente constantes durante el año entre 5 y 6 kWh/m ² , las mejores regiones son las Zona del Magdalena, la Guajira y San Andrés y Providencia.
Biomasa	- Mapa de cobertura vegetal. - Estimaciones preliminares.	La producción anual del bagazo de caña es de 7.5 millones de toneladas y la de cascarilla de arroz de 457 mil toneladas. Se estima que un relleno sanitario en Bogotá podría generar 11 GWh/año.
Eólica	- Mapa preliminar de vientos.	Lo mejores sitios, con velocidades normalizadas superiores a 10 m/s, se localizan en el norte del país.
Hidráulica	- Mapa de caídas (basado en el Modelo de Elevación Digital) y caudales (basado en el Balance Hídrico), en el cual se clasifican las regiones según 6 niveles de portencial.	El mayor potencial se ubica en las cordilleras oriental y occidental. Se estima que el potencial colombiano es de 50 GW en proyectos con una capacidad superior a 100 MW. Este podría llegar a 70 GW cuando se incluyen proyectos de mediana y pequeña potencia.

Energía	Conocimiento del Recurso	Comentarios
Geotérmica	<ul style="list-style-type: none"> - Mapas de recursos geotérmicos. - Estudios preliminares de zonas de interés. 	Los lugares con mayor potencialidad son la zona de la frontera con el Ecuador (en los volcanes Chiles y Cerro Negro), el departamento de Nariño (volcán Azufral), el Parque Natural Nacional de Los Nevados y el área geotérmica de Paipa – Iza en Boyacá.
Mareomotriz	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio Preliminar. 	Probablemente existe un potencial disponible de 500 MW en la costa del pacífico.
Olas	<ul style="list-style-type: none"> - Mareomotriz 	El potencial de toda la costa sería de 30 GW.

Fuente: CEPAL (2010).

Este mismo estudio de la CEPAL (2010) señala que: la industria cañera presenta un gran dinamismo en el país y por tanto podría desempeñar un papel importante como combustible. De hecho, hoy en día Colombia utiliza etanol, producido a través de caña de azúcar, como oxigenante en las gasolinas colombianas.

A partir del planteamiento dibujado por la CEPAL en el año 2010 para Colombia, se puede distinguir que el panorama no ha cambiado, el país le apuesta fuertemente a la producción de energía hidráulica y ha hecho un esfuerzo evidente para producir energía o generar combustible a partir de biomasa proveniente de la caña de azúcar.

Uno de los informes realizados por la International Copper Association (2010) concluye que: Venezuela, América Central y Colombia presentan un gran potencial para la generación de energías renovables, pero con crecimiento nulo o muy bajo. Mientras Brasil, Argentina, Chile y México poseen gran potencial con rápido crecimiento y desarrollo en estos temas.

Bajo este mismo argumento, Ribó-Pérez & Gómez-Navarro (2018) exponen que Colombia a pesar de sus grandes potencialidades para la implementación de energías alternativas tiene barreras que impiden que las fuentes de energías renovables contribuyan a la matriz energética del país. Los obstáculos identificados se definen a continuación:

Tabla 2. Obstáculos para la Adopción de Energías Renovables en Colombia

Obstáculo	Descripción
1. Técnico.	<ul style="list-style-type: none"> - Tarifa aduanera. No es necesario pagar impuestos de aduana al importar equipo para el desarrollo de nuevos proyectos de energía renovables no convencionales. Sin embargo, los equipos generalmente requieren permisos y/o trámites administrativos que con frecuencia retrasa y aumenta el costo de envío. - Insuficiente información sobre el potencial de las fuentes de energía renovables.
2. Social	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de planificación - Mala coordinación público-privada. - La inseguridad relacionada con los ataques armados. Después del proceso de paz, esta barrera está experimentando una drástica reducción en su impacto.

Obstáculo	Descripción
3. Económico	<ul style="list-style-type: none">- Externalidades. Las energías convencionales no asumen en sus costos su impacto ambiental.- Se requiere de mayor inversión y costos operativos para proyectos de energía renovables no convencionales.- Tarifas de electricidad indiferenciadas.- Economías de escala. Los proyectos renovables tienden a ser pequeños en comparación con las centrales eléctricas tradicionales, además de los jugadores más grandes del mercado se benefician de su posición.

Fuente: A partir de Ribó-Pérez & Gómez-Navarro (2018)

Con lo anterior, se evidencia entonces el difícil escenario que presenta Colombia para integrar energías alternativas a su mix o matriz energética. Aún más difícil, es el escenario a corto plazo de implementar desarrollos o iniciativas relacionados con el hidrógeno como vector energético para el país.

5. CONCLUSIONES

- El hidrógeno es fuente de energía limpia y renovable, además es un elemento abundante al alcance de todos, por ello, diversos gobiernos se encuentran realizando esfuerzos para incluir el hidrógeno dentro del mix energético de los países en un futuro cercano.
- En el escenario internacional se evidencian múltiples organizaciones direccionadas a fortalecer y mejorar la seguridad y eficiencia de los sistemas energéticos relacionados con el hidrógeno, su finalidad es contribuir a la economía y al ambiente. Países como Estados Unidos, Japón y España presentan importantes desarrollos en esta materia, los procesos de I+D+I son imperativos para lograr implementar el hidrógeno como vector energético.
- En el escenario nacional no se identifican procesos que puedan integrar la utilización del hidrógeno como fuente de energía. Se debe empezar a hablar y trabajar más en torno al tema de energías alternativas, que es un tema muy incipiente para la UPME.
- El hidrógeno presenta beneficios, sin embargo, también presenta problemas para su uso como vector energético. Para superar estos inconvenientes, ya existen organizaciones y los gobiernos están realizando acciones y se han fijado metas para implementar este tipo de energías alternativas e incorporarlas en su mix y oferta energética, es seguro que pronto se verán los resultados de estos trabajos.

6. REFERENCIAS

- Agencia Andaluza de la Energía (2010). *Estado de las tecnologías del hidrógeno y de las pilas de combustible en Andalucía*.
- ABH2 - Asociación Brasileña de Hidrógeno (o en portugués: Associação Brasileira do Hidrogênio). Accedido el 29 de mayo, 2019, desde:
<http://abh2.com.br/index.php/pt/>
- Bolch, J. C., (2018). Hidrógeno y Energías Renovables: Antecedentes y Perspectivas en Argentina. *Revista de Ciencia e Investigación* 68(2), 41 – 68.
- Centro Nacional de Hidrógeno (2015). *La Senda del Hidrógeno*. [Actividad digital de carácter divulgativo del Centro Nacional del Hidrógeno, CNH2].
<http://sendah2.cnh2.es/produccion>
- CEPAL - Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2010). Fuentes Renovables de Energía en América Latina y el Caribe: Situación y Propuestas de Políticas.

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/31904/1/S0400009_es.pdf

Correa, J.D., (2016). Los casos de éxito de la energía limpia en Colombia. *Revista Semana Sostenible*. Accedido el 7 de abril, 2019, desde

<https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/energias-alternativas-en-colombia/35965>

Dincer, I. (2008). Hydrogen and Fuel Cell Technologies for Sustainable Future. *Hydrogen and Fuel Cell Technologies for Sustainable Future, Vol (2)*, pág. 1 – 14.

Espada, B (2016). *Energía del Hidrógeno*. Portal de Energías Alternativas: ERenovable.com. Accedido el 9 de Julio de 2017 desde: <https://erenovable.com/energia-del-hidrogeno/>

Fierro, J (2011). El hidrógeno: metodologías de producción. *Cuadernos de la Fundación General - LYCHNOS. Núm. (6)*. Pág. 50 – 59.

Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnología del Hidrógeno en Aragón (2016). Plan Director del Hidrógeno en Aragón (2016 – 2020).

Hidroeléctrica Ituango. Accedido el 7 de Abril, 2019, desde

<https://www.hidroituango.com.co/hidroituango/informacion-general/26#c30>

IEA (2015). *Technology Roadmap Hydrogen And Fuel Cells*.

International Copper Association, 2010. Energías Renovables para Generación de Electricidad en América Latina: Mercado, Tecnologías y Perspectivas

IRENA - International Renewable Energy Agency (2018). *Hydrogen From Renewable Power: Technology Outlook For The Energy Transition*.

Laborde, M., Bellot F., & García, J. (2010). Potencialidades del Hidrógeno como Vector de Energía en Iberoamérica.

Ley 1715 de 2014. "Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional". Congreso de la República de Colombia.

http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html

Martínez, A., Barreneche D., Bellon D., Plata D., Latorre., D., Porras, A., Rincón L. (2013). Estudio de Factibilidad de la Economía del Hidrógeno en Colombia. World Engineering Education Forum: Key Factors Global Competitiveness. Cartagena, Colombia.

MCTIC - Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovación y Comunicaciones de Brasil (2018). *Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación para Energías Renovables y Biocombustibles*.

Ramírez, R. (2018). Así pinta el "megafuturo" energético de Colombia. *Revista Semana*, Accedido el 7 de abril, 2019, desde <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/la-nueva-era-de-las-renovables/articulo/el-megafuturo-energetico-de-colombia/564842>

Ribó-Pérez, T., & Gómez-Navarro, D., (2018). Obstacles to Renewable Energy Adoption in Colombia.

Sanchez, P., Mesa, V., (2014). Congreso Edificios Energía Casi Nula: Sistema de cogeneración basado en un sistema de pila de combustible de carbonatos fundidos para abastecer las necesidades de edificios y distritos. Congreso Edificios Energía Casi Nula

<https://www.construible.es/comunicaciones/sistema-cogeneracion-basado-sistema-pila-combustible-carbonatos-fundidos-para-abastecer-necesidades-edificios-distritos>

SIMEC – Sistema de Información Minero Energético Colombiano, Accedido el 27 de Mayo, 2019, desde

<http://www.simec.gov.co/Inicio/Comit%C3%A9s/tabid/63/Default.aspx>

UE – Unión Europea, (2007). *The Strategic Energy Technology (SET) Plan*.

UPME – Biblioteca de la Unidad de Planeación Minero Energética, Accedido el 27 de Mayo, 2019, desde <https://biblioteca.upme.gov.co/> y <https://biblioteca.upme.gov.co/cgi-bin/koha/opac-search.pl?q=hidr%C3%B3geno>

UPME – Unidad de Planeación Minero Energética. (2007). *Análisis y Evaluación Técnica y Económica de la Producción de Combustibles Líquidos a Partir de Carbón para el Caso Colombiano*.

UPME – Unidad de Planeación Minero Energética. (2017). *Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017 – 2022*.

UPME – Unidad de Planeación Minero Energética. (2006). *Plan Energético Nacional 2006-2025. Contexto y Estrategias*.

UPME – Unidad de Planeación Minero Energética. (2015). *Integración Energías Renovables No Convencionales en Colombia*.

UPME – Unidad de Planeación Minero Energética. (2006). *Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia*.

WHE - Conferencia Mundial de Energía de Hidrógeno (o en inglés: The World Hydrogen Energy Conference). Accedido el 29 de mayo, 2019, desde: <https://www.whc2018.com>