HIDRÓGENO
Oportunidades
RETOS



PREPARADO POR
MARÍA CAMILA
MEJÍA MADRID

PRESENTADO POR
COORDINACIÓN
REGULATORIA

profesional1@ser-colombia.org
www.ser-colombia.org

ÍNDICE

1 **Introducción**

2 **Generalidades**
¿Qué es? ¿Cómo se produce? Clasificación
Almacenamiento y Aplicaciones
Vigilancia tecnológica

3 **Hidrógeno Verde en Colombia**
Marco Normativo
Avances y Proyecciones

4 **Oportunidades de Generación**
Potencial con Fuentes No Convencionales de Energía Renovable en el país

5 **Retos y Próximos pasos**
A corto y mediano plazo
Conclusiones y recomendaciones

INTRODUCCIÓN



En los últimos años se ha popularizado el hidrógeno como vector para la transición energética, es llamado a ser el combustible del futuro. ¿Por qué se ha generado este acogimiento de manera repentina? Cabe mencionar que el hidrógeno se produce y se consume en la industria hace ya varios años, pero es el avance en la producción de hidrógeno verde lo que lo ha puesto recientemente en el centro del panorama de la descarbonización, ya que actualmente se dispone de tecnologías de producción de energía renovable mucho más competitivas. Pues la posibilidad de contar con un combustible limpio genera grandes expectativas para alcanzar las metas de reducción de gases de efecto invernadero, además hay que considerar las enormes oportunidades que existen en Colombia para su producción. Sin embargo, el hidrógeno verde trae consigo retos a nivel técnico, regulatorios y de carácter financiero. Este documento presenta una visión simplificada de lo que es hoy en día el H2 verde, el panorama colombiano y pasos a seguir.

GENERALIDADES



GENERALIDADES

El hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica. Es el elemento químico más ligero que existe, su átomo está formado por un protón y un electrón en forma de molécula diatómica H2 y en condiciones normales se encuentra en estado gaseoso.

En la Tierra es muy abundante, constituye aproximadamente el 75% de la materia del Universo, pero se encuentra combinado con otros elementos, como con el oxígeno formando agua. Por esto, no es un combustible natural, sino un vector energético, muy parecido a la electricidad, pues se debe fabricar.

El hidrógeno puede ser producido en prácticamente cualquier lugar, lo que representa un beneficio para las áreas más aisladas. Al liberarse la energía de un kilogramo de hidrógeno no se emite dióxido de carbono, sólo vapor de agua, generando así un impacto ambiental nulo.

Existen distintos métodos de producción de hidrógeno. Según sean la materia prima y la fuente energética utilizada en producirlo, se habla de diferentes clasificaciones de hidrógeno.

CLASIFICACIÓN

1

Negro o Café

Su fuente es el carbón, se produce por gasificación y emite CO2

2

Gris

Su fuente es el gas natural y/o petróleo, se produce por SMR, ATR u oxidación parcial y emite CO2 y CH4 fugitivo

3

Azul

Su fuente es el carbón, el gas natural o el petróleo, cuenta con un post proceso de captura de carbono CCS y emite, en menor medida C02 y CH4 fugitivo

4

Rosa

Su fuente es la energía nuclear, se produce con electrólisis y emite residuos radiactivos

5

Verde

Su fuente son las energías renovables, se produce por electrólisis y sus emisiones son nulas

6

Blanco

Es el único tipo de H2 que se encuentra en la tierra, para obtenerlo se debe hacer uso de infraestructura de recobro empleada en la producción de petróleo o gas

HIDRÓGENO

VERDE

Para la producción de hidrógeno verde, el proceso puede variar dependiendo de la fuente. Los procesos más conocidos y difundidos son: (i) Termólisis, este divide la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno mediante energía térmica (ii) Electrólisis, este proceso divide la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno mediante energía eléctrica (iii) Reformado y Gasificación, por medio de reacciones químicas, convierten combustibles orgánicos en hidrógeno (aplicable para biomasa) y se hace necesario el post proceso de captura y almacenamiento de CO2 y (iv) Procesos Fotolíticos, los cuales consisten en el rompimiento de compuestos orgánicos o inorgánicos que se descomponen utilizando la interacción con fotones a través de procesos biológicos o químicos.

Al ser considerado un vector energético, uno de sus retos y de sus aplicaciones más importantes es el almacenamiento, esto es clave para su introducción en el mercado. El hidrógeno se caracteriza por tener una alta densidad energética por unidad de masa, pero su mayor problema es que ocupa mucho volumen, por lo anterior, hay diferentes técnicas de almacenamiento: (i) Gas Comprimido, es la técnica más utilizada para suministrar hidrogeno hasta presiones de 700 bar

HIDRÓGENO

VERDE

(ii) Hidrógeno líquido, requiere de temperaturas muy bajas y un aislamiento mayor de lo normal (iii) Hidruros metálicos, es muy seguro, ya que se almacena sobre un sólido (iv) Hidruros químicos, son sistemas compactos con reducido tamaño y necesitan infraestructuras especiales y (v) Estructuras de Carbono, se encuentra en fase de estudio, un nanotubo permite una elevada densidad de almacenamiento siendo muy ligero.



El hidrógeno también puede ser almacenado en portadores líquidos orgánicos o amoniaco, ya que el H2 se transforma en otros compuestos de mayor densidad que, por su estado líquido, son más fáciles de almacenar y transportar.

HIDRÓGENO

VERDE

El hidrogeno se ha utilizado con seguridad durante muchas décadas en la industria; actualmente se producen más de 50 millones de toneladas de hidrógeno al año. Su innovadora aplicación se da en el marco de la descarbonización de la economía; pues el hidrógeno puede ser utilizado como combustible para el transporte y para generar electricidad mediante pilas de combustible.

Un vehículo de motor de combustión interna de hidrógeno (MCI) utiliza un motor de combustión interna convencional modificado para la combustión de hidrógeno gaseoso. Los vehículos de MCI de hidrogeno son un 30% más eficientes comparados con los vehículos de gasolina y funcionan bien en todas las condiciones climáticas, para este tipo de vehículos se hace necesario es uso de una hidrogenera, que es básicamente una estación de servicio de H2. Estos motores aún están en desarrollo, por lo que, por el momento, la mejor opción son los vehículos eléctricos de pila de combustible FCEV, ya que cuentan con una celda de combustible que produce energía eléctrica gracias al hidrógeno y al oxígeno.

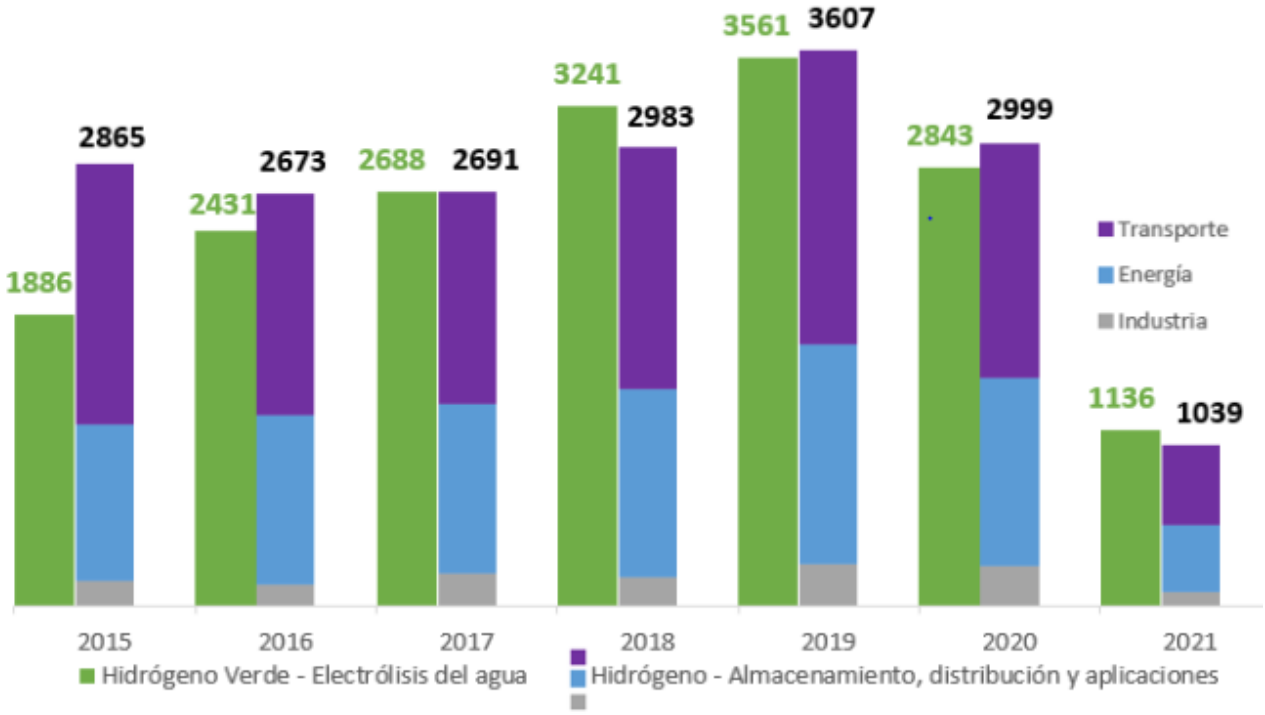


Fuente: BBVA- Energía Renovable- Hidrógeno verde

HIDRÓGENO

VIGILANCIA TECNOLÓGICA

Se realiza una vigilancia tecnológica sobre los modelos de negocios de hidrógeno, para determinar las tendencias y hacia donde se dirige el mercado.

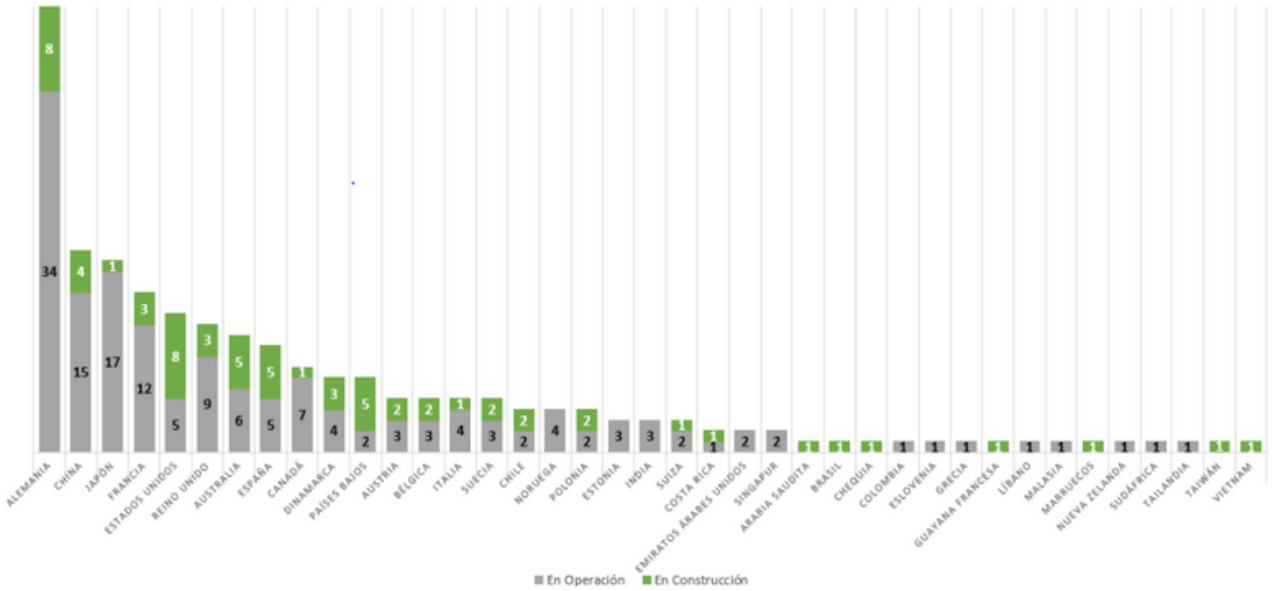


Número de patentes a nivel mundial por año en las categorías de "Hidrógeno Verde - Electrólisis del agua" e "Hidrógeno - Almacenamiento, distribución y aplicaciones" y en subdivisión por sectores. Recurso adaptado de IRENA INSPIRE

Si bien se esperaría un incremento en patentes para el desarrollo de tecnologías para el uso de H2 Verde, las patentes en este momento se están dirigiendo a transporte y energía.

HIDRÓGENO

VIGILANCIA TECNOLÓGICA



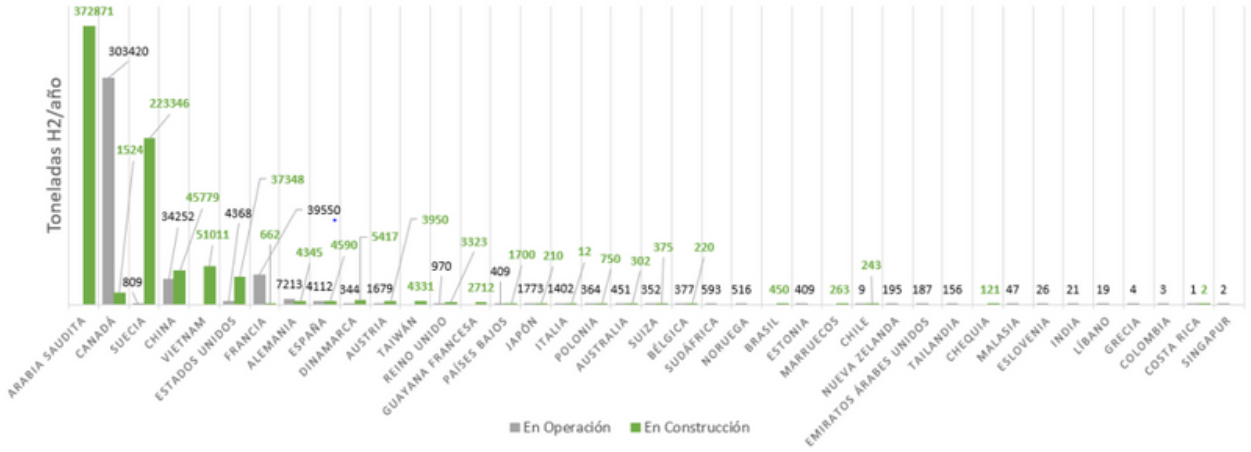
Distribución de proyectos basados en hidrógeno operativos y en construcción por país. Datos desde el 2015. Recurso adaptado de "Hydrogen Projects Database" de la IEA

Es importante notar que, si bien China está a la vanguardia en patentes, es Alemania quien está construyendo más proyectos de H2 Verde.

Arabia Saudita por su parte, como se verá en el siguiente gráfico, cuenta con un solo proyecto en construcción, pero este generará casi la misma cantidad que el conjunto de los 160 proyectos en construcción en el mundo. Sin embargo, Arabia Saudita, según su hoja de ruta para el H2, no tiene intención de aumentar su demanda de hidrógeno interna, por lo que este sería para exportación.

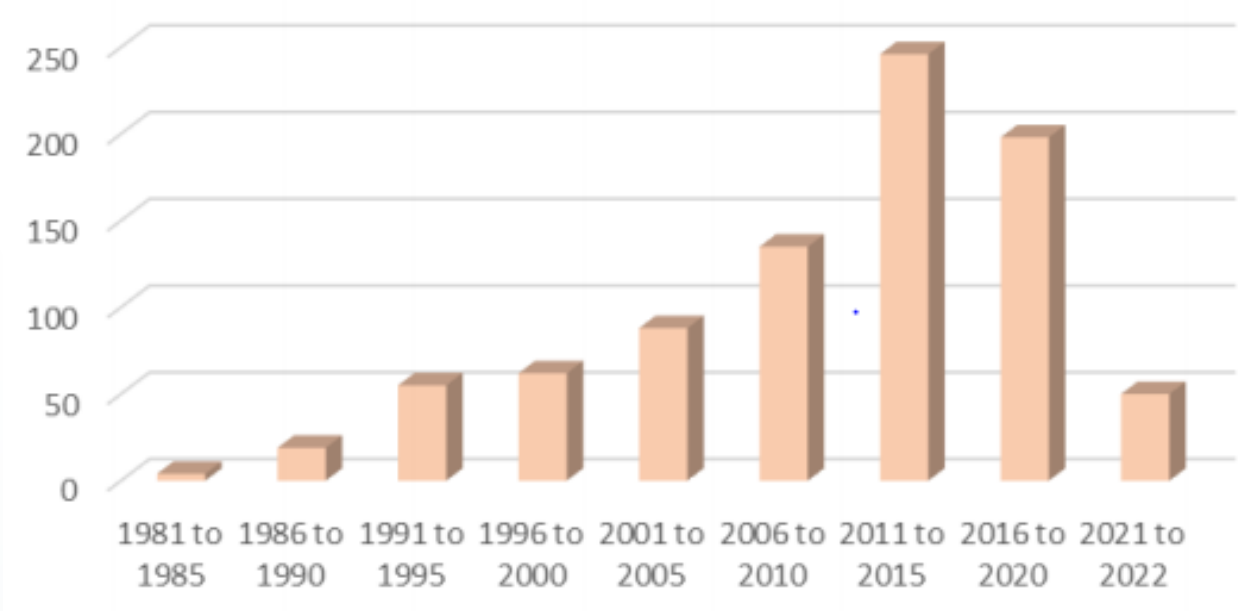
HIDRÓGENO

VIGILANCIA TECNOLÓGICA



Distribución de la producción anual en toneladas de hidrógeno, en proyectos operativos y en construcción por país. Recurso adaptado de "Hydrogen Projects Database" de la IEA

En línea con la producción, es conveniente revisar las tendencias en almacenamiento.



Distribución de patentes en almacenamiento de hidrógeno desde 1981. Recurso tomado de "IRENA INSPIRE" de la IEA

HIDRÓGENO

VIGILANCIA TECNOLÓGICA

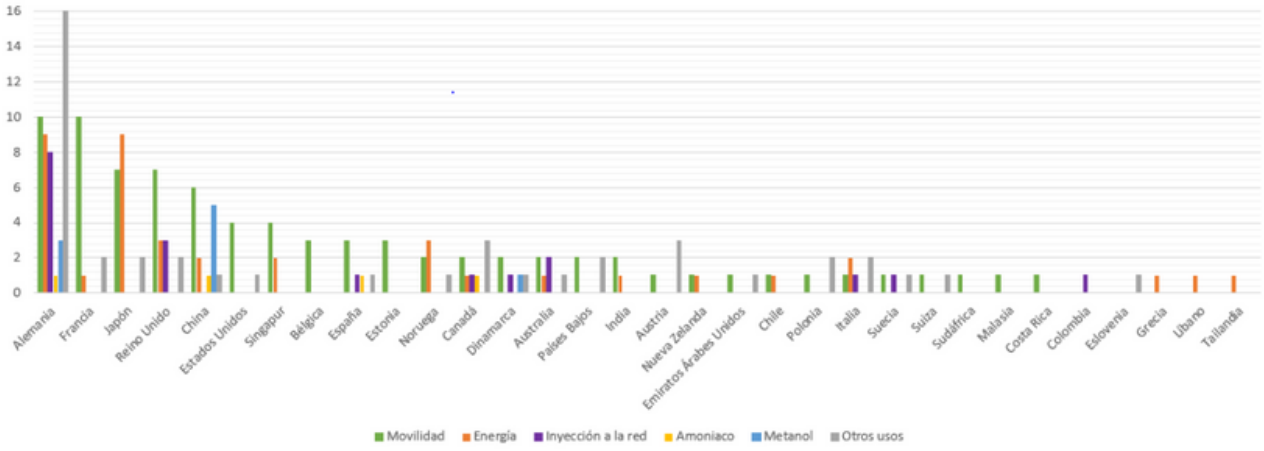
Como se puede observar en la gráfica anterior, la cantidad de patentes en almacenamiento tuvo un pico entre 2011 y 2020 y cayó drásticamente en 2021, esto marca una tendencia clara y que las investigaciones ya no están enfocadas en almacenamiento, esto puede deberse a diferentes motivos, entre esos, haber encontrado el almacenamiento ideal y solo estarlo perfeccionando, y estar enfocando la investigación y desarrollo en los usos finales para aumentar la demanda de hidrógeno en la economía.

Dada esa tendencia, es fundamental revisar los usos finales. Como se verá en los siguientes gráficos, en la distribución de usos finales por país, Alemania lleva la delantera; esto obedece al acelerado avance en la implementación de proyectos de hidrógeno. Alemania no solo desarrolla proyectos en el papel y cuentan con el Know How, sino que los construye y adiciona a su economía. Muestra de ello es estar en primer lugar en usos de hidrógeno, dándole gran importancia a la movilidad, la energía y la inyección a la red. Esto implica también que Alemania ha logrado electrificar gran parte de su economía, pues la inyección de electricidad proveniente de hidrógeno a la red evidencia las altas necesidades de este recurso en el país, posiblemente por todos los procesos industriales que allí se desarrollan.

HIDRÓGENO

VIGILANCIA TECNOLÓGICA

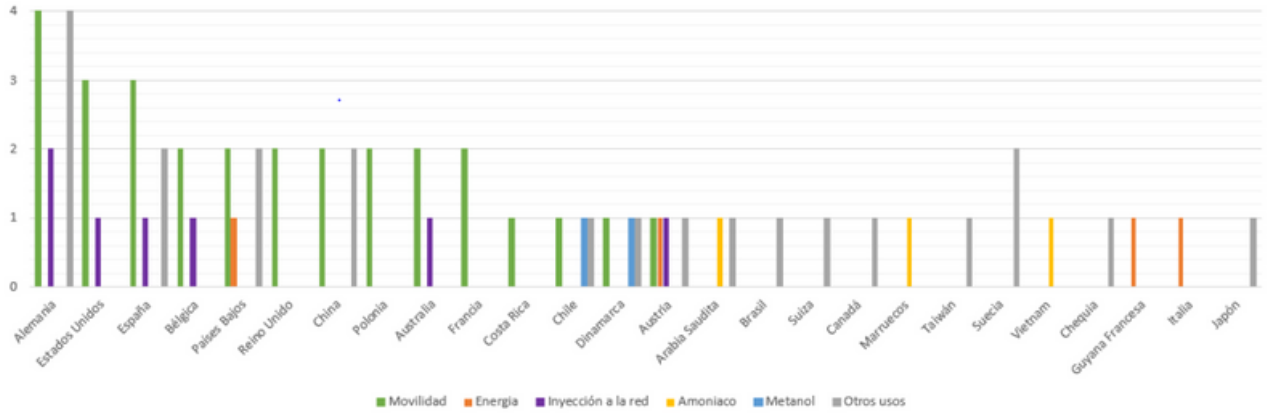
En segundo lugar, tenemos a Francia, país que invierte prácticamente todo su hidrógeno en movilidad, muy parecido a Alemania. Sin embargo, en tercer lugar, observamos un cambio importante en los usos finales, Japón destina más de la mitad de su hidrógeno en energía, aunque mantiene un buen volumen en movilidad. Cobra sentido analizar los usos finales por países que estén planeando construir proyectos en 2022, ya que se logra entender la tendencia actual, y esta es clara: El hidrógeno está siendo producido para movilidad.



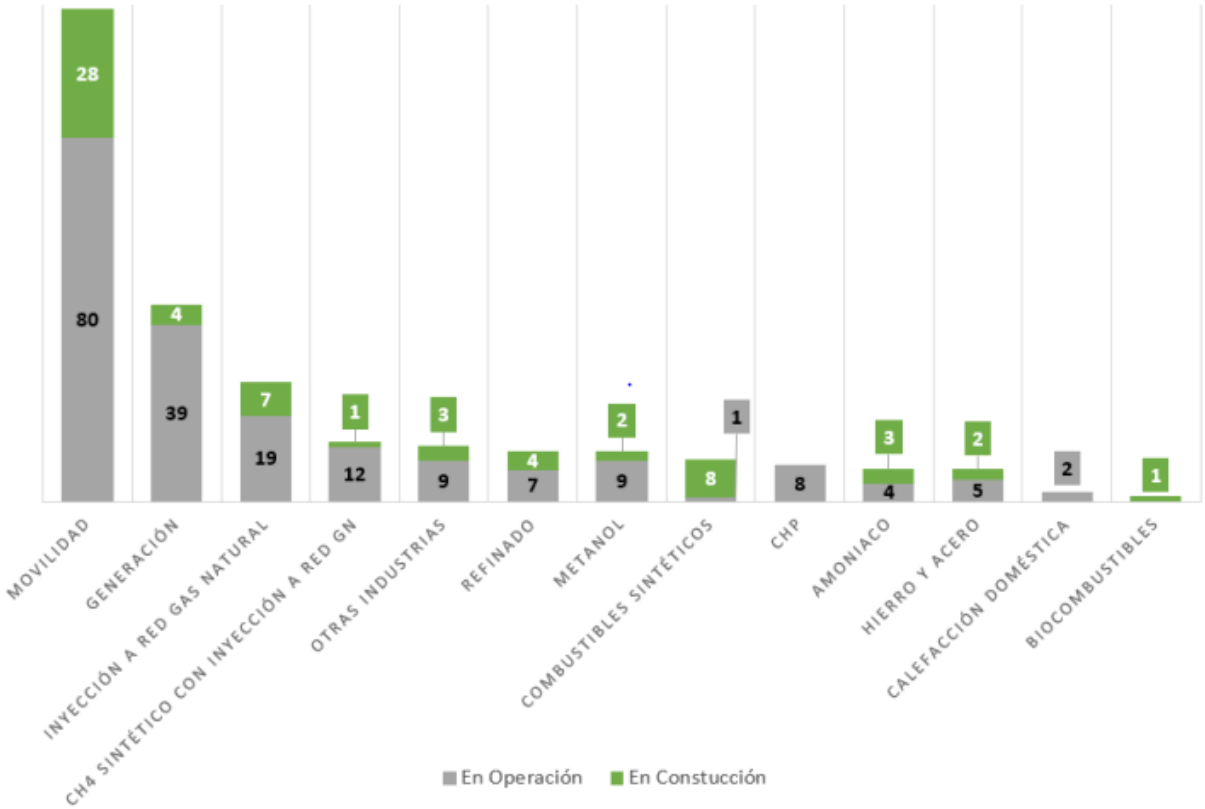
Distribución de los usos finales de proyectos operativos de hidrógeno. Recurso adaptado de "Hydrogen Projects Database" de la IEA

HIDRÓGENO

VIGILANCIA TECNOLÓGICA



Distribución de los usos finales de proyectos en construcción de hidrógeno. Recurso adaptado de "Hydrogen Projects Database" de la IEA



Distribución mundial de los usos finales en proyectos operativos y en construcción de hidrógeno. Recurso adaptado de "Hydrogen Projects Database" de la IEA

Ser COLOMBIA

HIDRÓGENO VERDE EN COLOMBIA



HIDRÓGENO VERDE EN COLOMBIA

Hace varios años en Colombia se produce hidrógeno, las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena producen 130.000 toneladas anuales de hidrógeno para reducir el contenido de azufre del diésel y la gasolina y así mejorar la calidad de los mismos, y desde 2007 la refinería de Barrancabermeja produce un 30% de hidrógeno azul.

Pero fue tan solo hace un año, en octubre del 2021 cuando se lanzó la hoja de ruta del hidrógeno en Colombia por parte del Ministerio de Minas y Energía, con cinco importantes pilares:



Figura 14: Pilares de la Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia

Gracias a esta hoja de ruta, en 2022 se logra incluir el hidrógeno verde, dentro de la Ley 1715 como una Fuente de Energía Renovable No Convencional, aplicándole así los beneficios vigentes para las mismas

HIDRÓGENO

VERDE

La modificación de la Ley 1715 se da por la incidencia de la reciente Ley 2099 de transición energética, que es finalmente la Ley que le otorga beneficios tributarios a proyectos de hidrógeno azul e hidrógeno verde, le da competencia a FENOGE para financiar y ejecutar proyectos y promociona las tecnologías de captura, utilización y almacenamiento de carbono, entre otros.

En línea con la hoja de ruta y la importancia de la demanda de hidrógeno, se incluye en la Ley de movilidad eléctrica que los vehículos de celdas de combustible de hidrógeno contarán con los beneficios actuales y futuros que incentivan la movilidad eléctrica y se publica la resolución que define el hidrógeno como combustible de cero emisiones.

Finalmente, la hoja de ruta plantea objetivos a 2030 tanto de producción como de demanda; para el primero, se espera una capacidad de entre 1 y 3 GW de capacidad de electrólisis, es decir entre 1.5 y 4 GW de capacidad instalada de FNCER y un LCOH de 1.7 USD/kg, este LCOH se lograría específicamente en la zona norte del país.

HIDRÓGENO

VERDE

Respecto a la demanda se esperan entre 1500 y 2000 vehículos ligeros de pila de combustible, entre 1000 y 1500 vehículos pesados de pila de combustible y entre 50 y 100 hidrogeneras de acceso público.

En la convocatoria del Fondo de Energías No Convencionales y de Gestión Eficiente de la Energía FENOGE +H2 COLOMBIA se recibió un total de 58 solicitudes de financiación para proyectos de producción, almacenamiento, acondicionamiento, distribución, re-electrificación y/o usos finales del hidrógeno como materia prima o insumo industrial del hidrógeno verde o azul en Colombia, en etapas de prefactibilidad o factibilidad.

Lo anterior da cuenta del interés por parte de inversionistas y emprendedores para desarrollar modelos de negocio con hidrógeno en colombia.

Actualmente el país está catalogado, según la Agencia Internacional de Energías Renovables IRENA, como el cuarto país más competitivo en precios de hidrógeno verde a 2050. Colombia cuenta con tres proyectos piloto en operación, uno por parte de Ecopetrol en la Refinería de Cartagena, otro de Promigas en Cartagena también y uno de Opex en Itagüí.

HIDRÓGENO

VERDE

PROYECTOS PILOTOS DE HIDRÓGENO EN OPERACIÓN EN COLOMBIA



Fuente: Ministerio de Minas y Energía, sitios web de las empresas y LR Gráfico: LR-JF

Ser COLOMBIA

OPORTUNIDADES DE GENERACIÓN



OPORTUNIDADES DE GENERACIÓN

En Colombia, contamos con un potencial de recursos naturales renovables envidiables; 740.000 cuencas hidrográficas, estamos dentro de los 10 países que concentran el 46% de la oferta de agua a nivel mundial, 25 GW de potencial de producción de energía eólica, especialmente en La Guajira contamos con vientos de más del doble del promedio mundial 9m/s y sobrepasamos el promedio mundial de radiación solar de 4.5 kWh/m2.

El país, además cuenta con una ubicación geográfica privilegiada para la exportación de hidrógeno verde, las regiones con las condiciones más favorables para producir hidrógeno verde son: (i) Caribe norte y (ii) Andes Norte.

La demanda anual de hidrógeno en el país es actualmente de 150 kt, es H2 gris y se consume principalmente en refinerías. Se espera que, la demanda para 2030 sea de 300 kt y para el 2050 de 600 kt. En aras de descarbonizar la economía, se espera que la demanda de H2 se amplíe hacia el sector transporte terrestre, aéreo y marítimo, y dentro del sector energético se espera que su demanda sea en el consumo de calor y la generación de electricidad.

HIDRÓGENO

VERDE

Esta última, la generación de electricidad es un punto clave para abordar; pues para producir hidrógeno verde se hace uso de la electricidad generada por fuentes renovables, luego este producto puede ser almacenado y transportado a lugares de difícil acceso, como lo pueden ser las Zonas No Interconectadas y allí producir nuevamente energía y/o electricidad.

La eficiencia de este proceso no es la mejor; pero da beneficios a la hora de desarrollar un proyecto de energía renovable, pues lograr un punto de conexión en el Sistema Interconectado Nacional, para inyectar electricidad a la red no es un proceso sencillo ni rápido y más si el proyecto renovable se encuentra en un área dónde no hay líneas de transmisión como lo es La Guajira.

La producción de hidrógeno verde representa oportunidades para el desarrollo de proyectos de energía renovable, la descarbonización y descentralización de la economía y la **exportación**, pues se espera que para 2030 la producción sea de 1550 kt y para 2050 de 6050 kt que, comparado con la demanda, pone a Colombia es una posición de potencial exportador.

Ser COLOMBIA

RETOS

PRÓXIMOS PASOS



RETOS

1

Electrolizadores

La fabricación y escalado de los electrolizadores es costosa y son muy pocas las empresas que los desarrollan

2

Precio de electricidad

El precio de la electricidad se verá reflejado en el precio final del hidrógeno, el costo nivelado de la energía es la variable más importante en el análisis económico de los proyectos de H2 verde

3

Demanda

La demanda de hidrógeno no puede centralizarse en las refinerías, se deben generar incentivos para aumentar la demanda de hidrógeno en la industria, el transporte y el sector residencial

4

Cooperación sector público privado

La cantidad de generación de electricidad necesaria para el proceso de electrólisis implica el desarrollo de mega parques renovables con inversiones elevadas. Los proyectos de hidrógeno necesitan articulación y financiación entre el sector publico y el privado

5

Almacenamiento y transporte

Es un gas bastante corrosivo y muy inflamable, por lo que para mantenerlo en estado líquido se necesitan temperaturas menores a -252.9°C, aunque existe infraestructura para almacenamiento a través de amoniaco.

6

Desarrollo de tecnologías para el uso

De la mano de incrementar la demandad, se hace necesario el mejoramiento de las celdas de combustible, el uso de hidrógeno a altas temperaturas en procesos de fabricación de acero, diseño de motores para el uso de E-Fuels y otros combustibles en aplicaciones terrestres y marítimas, motores de reacción para uso de amoniaco

PRÓXIMOS PASOS

El hidrógeno ha visto una fuerte aceleración en su desarrollo, dados los planes de inversión y estímulos económicos con los que cuenta en varios países. Sin embargo, según el Consejo de Hidrógeno, se necesitarán aproximadamente 70.000 millones de dólares de inversiones para tecnologías de hidrógeno, para que el hidrógeno verde sea igual de rentable que el gris, hacen falta inversiones de más de 150.000 millones de dólares. El H2 azul es 1.5 a 5 veces más caro que el gris y el verde lo es 2 a 7 veces. Es por esto que se hace necesario implementar políticas más fuertes que castiguen las emisiones de gases contaminantes, como las producidas por el hidrógeno gris, para hacer más imperativo el desarrollo de modelos de negocio con hidrógeno limpio.

Ahora bien, se estima que se haría necesaria una potencia instalada de 70GW de energías renovables para hacer la producción de hidrógeno verde competitiva; esto representa tanto un reto como una oportunidad de desarrollo de proyectos.

PRÓXIMOS PASOS

Es oportuno revisar el posicionamiento del país. Colombia en este momento no proyecta una demanda elevada de hidrógeno, pero sí una producción sin igual. Lo que pone al país en una situación similar a la de Arabia Saudita, ser exportadores primordiales de este vector energético.

Para lograrlo es urgente revisar la infraestructura de exportación, los puertos, la construcción de antepuertos, la culminación de la ampliación de vías que conducen a los puertos, la realización de dragados para profundizar los canales de acceso, generar planes de mejoramiento de movilidad urbana para despejar zonas adyacentes a los puertos, especialmente en el Caribe Colombiano, y mejoras en los sistemas de tecnología, comunicación e información.

El paso más importante a seguir para comenzar la transición hacia el hidrógeno verde es evaluar los costos de producción, lograr que las inversiones sean dirigidas a proyectos renovables e hidrógeno y dar beneficios para el crecimiento de la demanda de este vector energético, todo de la mano de un marco regulatorio flexible y a la vez estable.