



HIDRÓGENO VERDE EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Dr. Alvaro Torres M., Ing. E., M.Sc., M.E., Ph.D,
Hydrogen Energy Consultant Expert Certificate

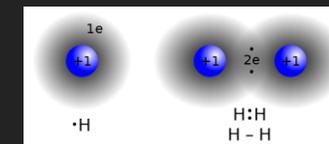
ELECTRYON POWER INC.

Bucaramanga, Agosto 15, 2024



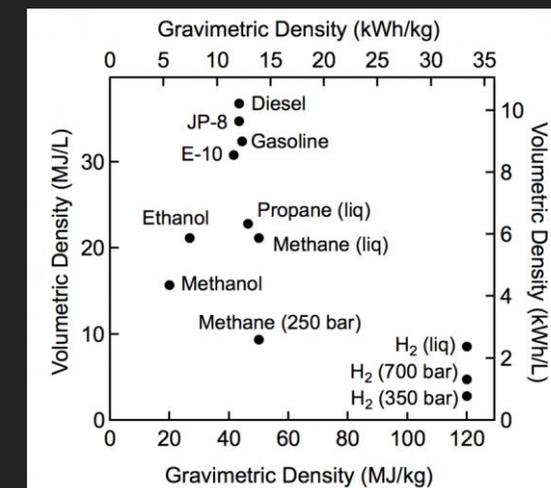
Hidrógeno y su Producción

- Es el elemento más abundante en el universo. Su masa atómica es 1.00784 g/mol y su número atómico es 1. La molécula H₂ está conformada por dos átomos de hidrógeno H.
- Hay un gran número de tecnologías para la producción de hidrógeno; procesos térmicos, biológicos, termoquímicos, electrolíticos y fotolíticos. Los procesos termoquímicos usan calor y reacciones químicas para liberar el hidrógeno de materiales orgánicos, tales como combustibles fósiles y biomasa, or a partir del agua. El agua se puede descomponer en hidrógeno y oxígeno utilizando electrólisis o energía solar. También los microorganismos tales como bacterias y algas pueden producir hidrógeno en procesos biológicos.
- Las tres formas principales para producción de hidrógeno son:
 - El reformado de metano con vapor o SMR en donde se utiliza vapor a alta temperatura para producir el hidrógeno de una fuente de metano como el gas natural. Aproximadamente se emiten 9 kg de CO₂/kg H₂. Este es el método utilizado actualmente alrededor del mundo incluyendo Colombia.
 - Procesos foto-líticos en donde se utiliza la luz para separar el hidrógeno del oxígeno en el agua.
 - La electrólisis es la opción más promisoría para la producción de hidrógeno libre de carbono, a partir de fuentes renovables y energía nuclear. Es el proceso de utilizar electricidad para descomponer el agua en H₂ y O₂.



1 kg <-> 11.1 Nm³ -> 33.3 kWh
Para producción: aprox 51.5 kWh -> 1kg H₂

Energy Density



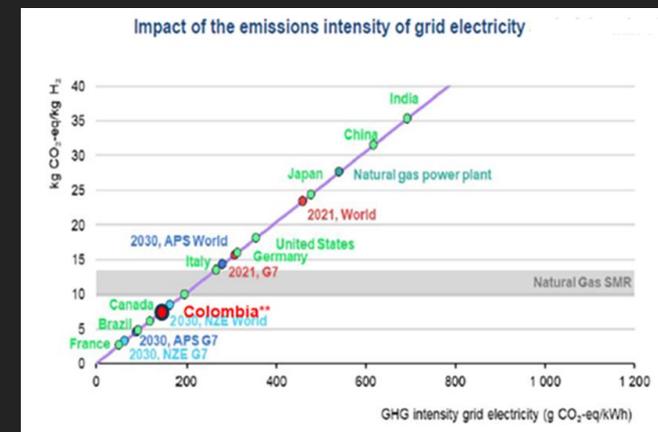
<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>

Hidrógeno de Bajas Emisiones y Colores

- IEA recomienda utilizar la intensidad de emisiones en la producción de hidrógeno para la definición de las regulaciones nacionales
- Diversos términos se utilizan actualmente para describir las características ambientales del hidrógeno. Algunos de ellos emplean colores para referirse a diferentes rutas de producción. Por ejemplo:
 - “Hidrógeno verde” se refiere al hidrógeno producido mediante electrólisis alimentada por energía renovable.
 - “Hidrógeno azul” se obtiene a partir de gas natural con captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS).
 - También se utilizan términos como “sostenible”, “bajo en carbono” o “limpio” para distinguirlo de la producción de hidrógeno basada en combustibles fósiles sin reducción de emisiones.
 - Sin embargo, no hay un acuerdo internacional sobre el uso de estos términos y en muchos casos es ambiguo.
 - Por esto, se deben utilizar definiciones basadas en “Greenhouse Gas Emission (GHG)” (gCO_{2-eq}/kWh, kgCO_{2-eq}/kg H₂)
- En la Norma Europea REDIII para que el H₂ sea considerado de bajas emisiones o “verde” la emisión debe ser máximo 3.38 kgCO_{2-eq}/kg H₂. Esto se cumple en Colombia con una participación de la red máximo del 30% de la energía al electrolizador siendo el 70% de fuente renovable.

	Color	Source	CO ₂ emission kgCO ₂ /kg H ₂
●	Brown	Coal gasification	20
●	Grey	Methane reformation	9
●	Blue	Grey +Carbon Capture Storage	
●	Green	Electrolysis with renewables	0
●	Pink	Nuclear	0
●	White	Natural. Extracted from drilling wells	0
●	Yellow	Electrolysis with Grid	8
●	Turquoise	Methane Pyrolysis	

*Caso Colombia



Towards hydrogen definitions based on their emissions intensity – Analysis - IEA

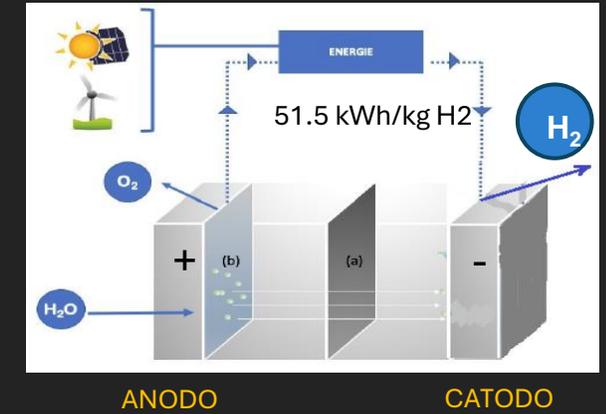
**MinMinas, Hoja de ruta del hidrógeno en Colombia, 2021



Sociedad Santandereana de Ingenieros

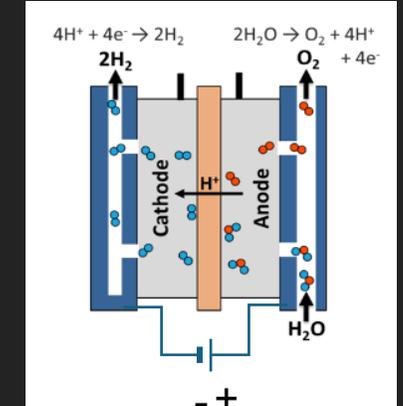
Hidrógeno por Electrólisis

- La primera electrólisis se hizo en 1800 por William Nicholson y Anthony Carlisle en 1800.
- Los electrolizadores consisten de un ánodo y un cátodo, separados por un electrolito.
- Hay principales tres tipos de tecnologías de electrólisis:
 - Alcalinos. Operan vía el transporte de iones de hidróxido a través del electrolito desde el cátodo hasta el ánodo y el hidrógeno se genera en el lado del cátodo. El electrolito es una solución de hidróxido de sodio o potasio (potasa) y han estado disponibles por años. Nuevos métodos utilizan membranas de alcalinas sólidas y se han probado en el laboratorio (AEM). Operan a $\sim 100^{\circ}\text{C}$
 - Electrolizadores de membrana de intercambio de protones (Proton Exchange Membrane-PEM). El agua reacciona en el ánodo para formar oxígeno y iones de hidrógeno (protones). Los electrones fluyen por el circuito externo y los iones de H se mueven a través del PEM hacia el cátodo. En el cátodo los iones de H se combinan con los electrones provenientes del circuito externo y forman el gas de H_2 . Operan a $\sim 70^{\circ}\text{C}$
 - Electrolizadores de Oxido Sólido. Usan materiales cerámicos sólidos como electrolito el cual conduce iones de oxígeno cargados negativamente a temperaturas elevadas. El vapor en el cátodo se combina con los electrones del circuito externo para formar el gas de H_2 y los iones negativos de O. Estos iones pasan a través de la membrana cerámica y reaccionan en el ánodo para formar el gas de O_2 y generar los electrones para el circuito externo. Operan a $\sim 800^{\circ}\text{C}$



ANODO

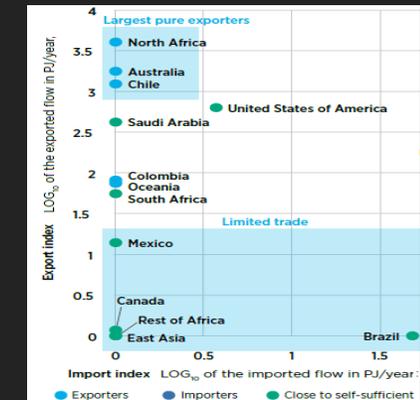
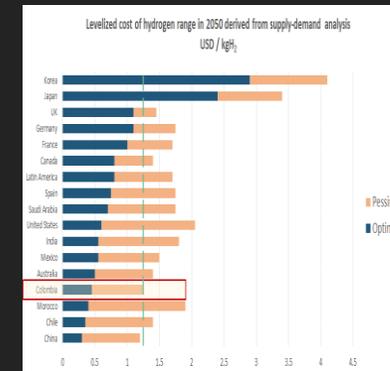
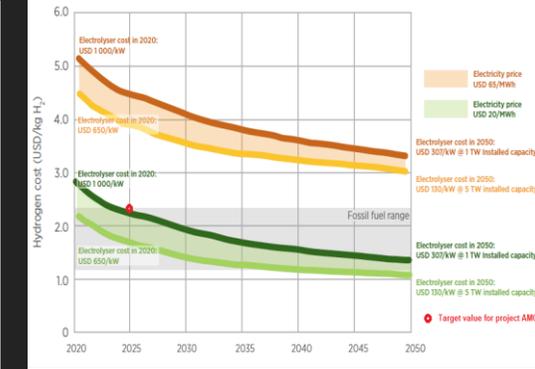
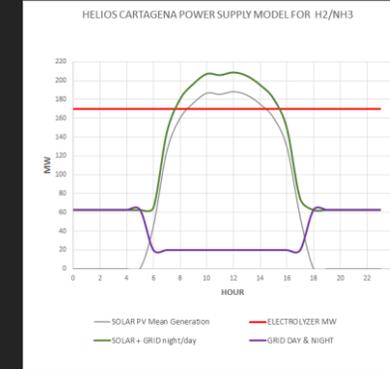
CATODO



Hydrogen Production: Electrolysis | Department of Energy

Costo (LCOH)

- Combinación óptima de las fuentes de energía renovable y los electrolizadores
 - El Costo Nivelado de la Energía del Hidrógeno (LCOH) depende de la producción anual y el costo del sistema de producción de hidrógeno, el cual a su vez depende del tamaño de sus componentes. Las configuraciones de producción pueden utilizar una o varias tecnologías de generación con un electrolizador (energía solar fotovoltaica y energía eólica o conexión a la red). En todos los casos, existe una combinación óptima entre las capacidades de los componentes que permite obtener la máxima producción de hidrógeno al menor costo.
- El potencial de producción de hidrógeno verde en 2050 es alrededor de 24 veces la demanda de energía en 2020. Sin embargo, este potencial no está distribuido igualmente en todos los países y regiones.
- En el caso de Colombia, IRENA predice que Colombia podría tener una capacidad de generación renovable, dedicada a producción de hidrógeno, de cerca del 50% de la capacidad renovable total de generación en el año 2050. La capacidad total instalada podría ser de alrededor de 50.000 MW y la renovable alrededor de 20000 MW. Es decir, podría haber alrededor de 10000 MW dedicados a la producción de hidrógeno. Esto corresponde a aproximadamente a 0.7 t H₂/y ó 4 t NH₃/y. En perspectiva, IRENA plantea que 1 MtH₂/y require 10 GW de electrolizador trabajando 60% del tiempo en un año.
- El LCOH en Colombia estaría por debajo de US\$5/kg H₂ y 1000 US\$-t NH₃



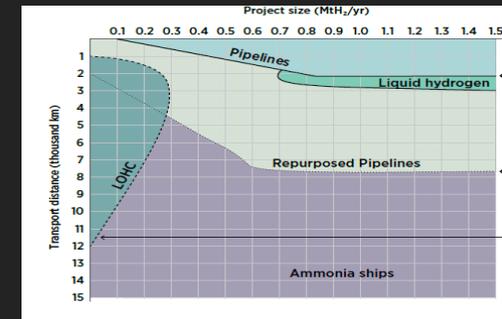
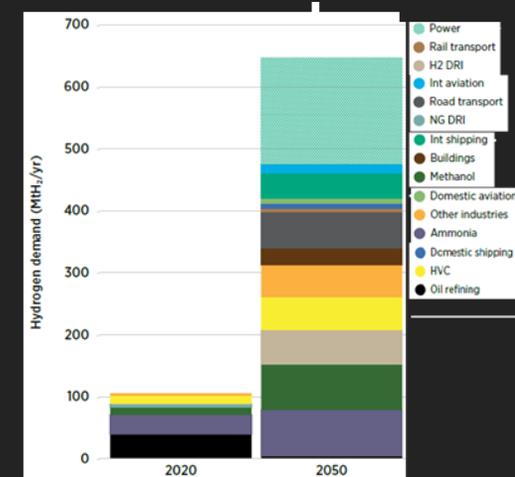
Summarized from: Global hydrogen trade to meet the 1.5 climate goal, IRENA, Part I, 2022

Global hydrogen trade to meet the 1.5°C climate goal: Trade outlook for 2050 and way forward (irena.org)



Demanda Global de Hidrógeno y Transporte

- El hidrógeno se usa actualmente de manera predominante como materia prima para amoníaco, metanol y en las refinerías. La demanda global de hidrógeno actualmente es suplida 80% con combustibles fósiles y crecerá más de 6 veces hasta el año 2050. Con una gran cantidad de usos. La demanda de amoníaco y el metanol crecerá entre tres y cuatro veces.
- Existen dos parámetros principales que definen el costo de transporte: el volumen de de la producción y la distancia de transporte. El tamaño determina las economías de escala, y cuanto más grande sea el volumen, menor será el costo unitario. Los valores óptimos se logran con volúmenes de 0.4 a 0.95 Mth₂/año para LOHC (liquid organic hydrogen carriers-aceites derivados), amoníaco e hidrógeno líquido, respectivamente.
- El hidrógeno es un portador de energía, más que una fuente de energía. y su potencial es en la transición hacia una economía más limpia es crucial. la producción a partir de energía renovable mediante electrólisis es clave para la descarbonización.
 - El hidrógeno se puede utilizar en aplicaciones como vehículos de celdas de combustible, producción de amoníaco y metanol, y almacenamiento a largo plazo.
 - Derivados del Hidrógeno: El verdadero valor del hidrógeno se desbloquea cuando se convierte en derivados, como hidrocarburos y amoníaco. Estos derivados permiten el comercio global de energía renovable.
 - Desafíos: A pesar de su potencial, el hidrógeno enfrenta desafíos, como la necesidad de aumentar la producción a partir de energías renovables y desarrollar infraestructura para su uso generalizado.
 - En resumen, el hidrógeno tiene un papel crucial en la descarbonización y la transición hacia una economía sostenible.

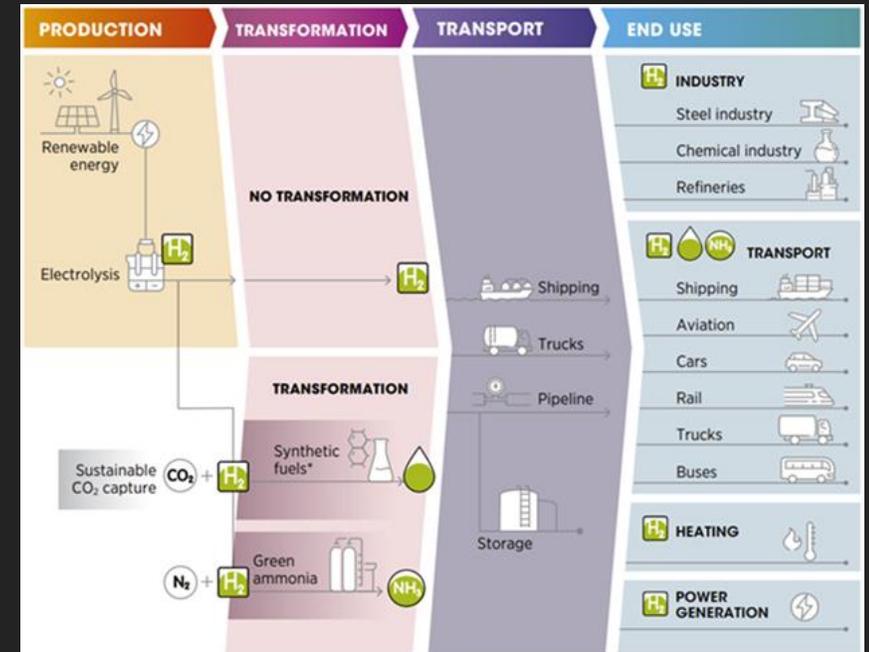


Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal: Part II (irena.org)



Usos del Hidrógeno en el Sistema Energético

- El verdadero valor del hidrógeno se obtiene cuando se convierte en derivados, como hidrocarburos y amoníaco. Estos derivados permiten el comercio global de energía renovable.
- El hidrógeno es un portador de energía versátil y se puede utilizar en aplicaciones como vehículos de celdas de combustible, producción de amoníaco y metanol, y almacenamiento a largo plazo.
- A pesar de su potencial, el hidrógeno enfrenta desafíos, como la necesidad de aumentar la producción a partir de energías renovables y desarrollar infraestructura para su uso generalizado.
- El hidrógeno tiene un papel crucial en la descarbonización y la transición hacia una economía sostenible.

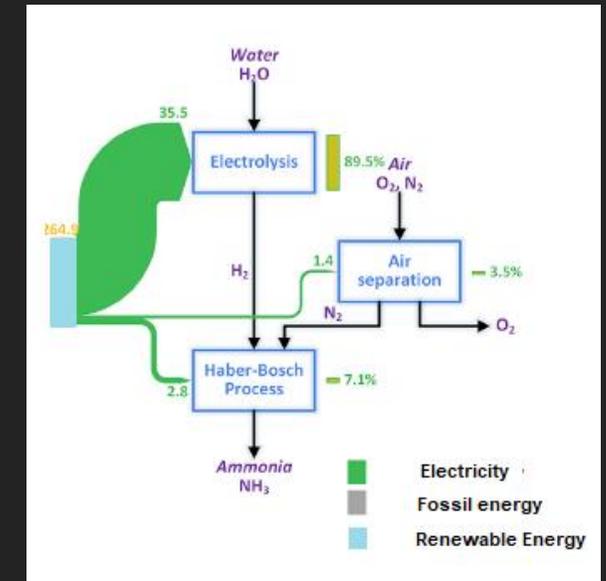


Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal:
Part II (irena.org)

Transformación del Hidrógeno en Amoníaco

- El amoníaco (NH_3) es una de las moléculas más producidas (en términos de volumen anual) por las industrias químicas en el mundo.
- El amoníaco también puede almacenarse como líquido a bajas temperaturas (por debajo de -33°C) y/o cuando está comprimido.
- La producción industrial de amoníaco es de aproximadamente 180 millones de toneladas al año.
- Entre el 75% y el 90% de la producción anual de amoníaco se destina al sector de fertilizantes. Se estima que más del 50% de la producción de alimentos depende de fertilizantes a base de amoníaco. El restante 10% al 25% de la producción de amoníaco se utiliza en las industrias farmacéutica, textil, química fina y plásticos.
- El amoníaco representa aproximadamente el 55% del consumo global de hidrógeno, lo que lo convierte en el mayor consumidor de hidrógeno en la actualidad.
- La producción de amoníaco mediante el proceso más utilizado en la actualidad (Haber-Bosh) produce emisiones de CO_2 debido a la producción de hidrógeno. La producción de 1 tonelada de amoníaco gris emite aproximadamente 3 toneladas de CO_2 .

51.5 kWh/kg H_2
7.5 kWh/kg NH_3

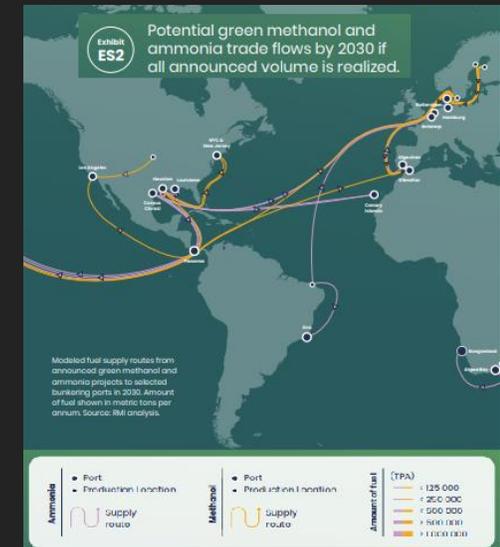
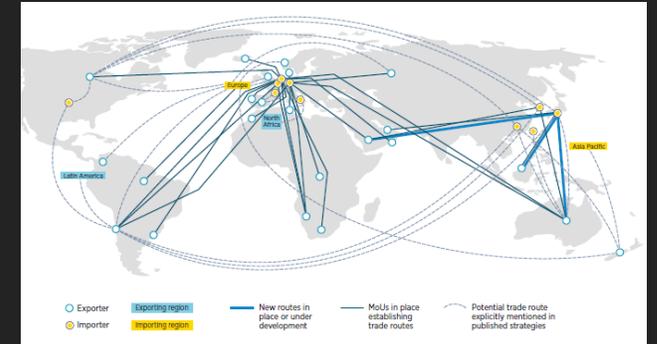


Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal:
Part II (irena.org)

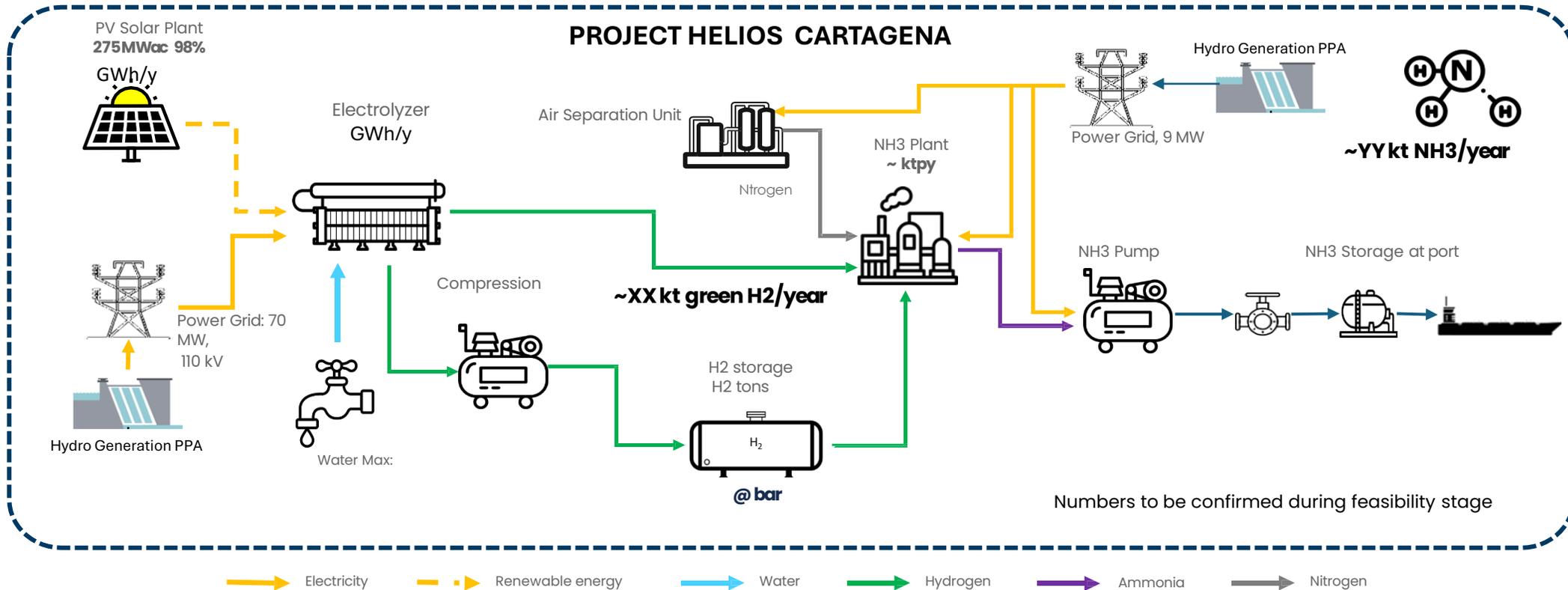
Hidrógeno Verde en Colombia

- La Ley 2099 el 10 de julio de 2021, complementa la Ley N° 1715 de 2014 de los beneficios fiscales por fuentes renovables. Esta ley extiende a la producción de hidrógeno los beneficios fiscales para la inversión, como parte de la estrategia de transición energética.
- El hidrógeno es clave en la transición energética: se puede producir a partir de electricidad renovable y proporcionar energía a sectores difíciles de electrificar.
- Colombia tiene una ubicación geográfica privilegiada para exportar H₂/amoníaco a mercados internacionales, como Europa y Asia. Empresas como Ecopetrol están investigando la producción de hidrógeno verde en Colombia.
- Se están desarrollando proyectos de hidrógeno en Colombia, con capacidades que van desde 20 MW hasta más de 100 MW
- El costo del hidrógeno se encuentra en el rango de 4-6 USD/kg.

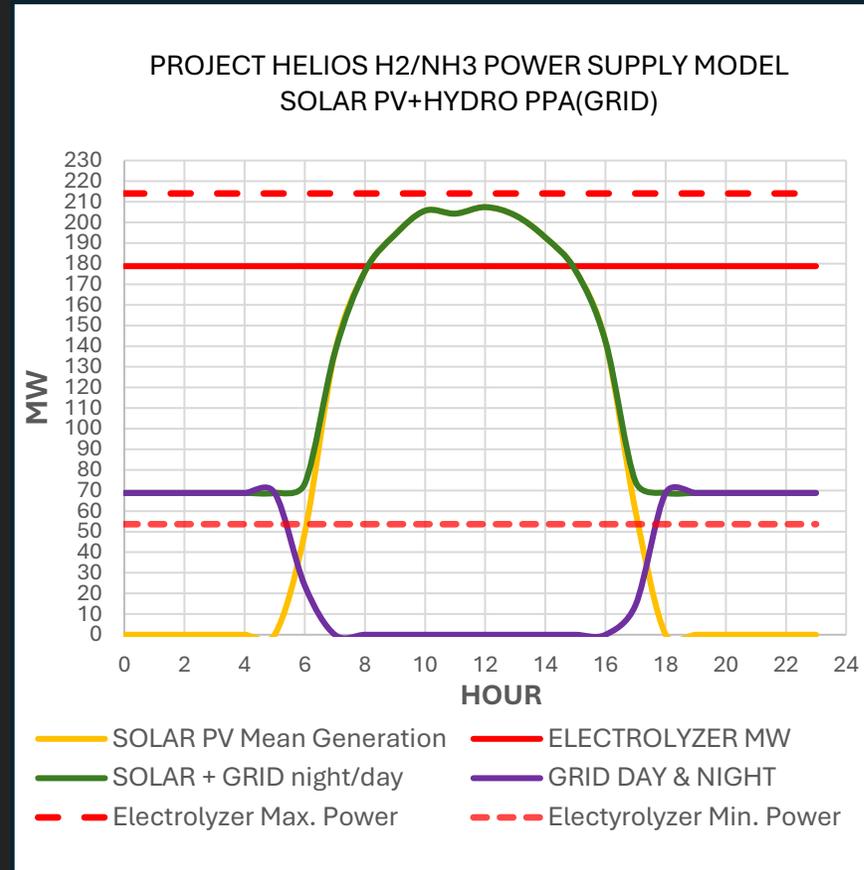
Source: IRENA (2022), **Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor**, International Renewable Energy Agency. [Oceans-of-opportunity_supplying-green-methanol-and-ammonia-at-ports.pdf](https://www.irena.org/publications/2022/Oceans-of-opportunity-supplying-green-methanol-and-ammonia-at-ports.pdf) (globalmaritimeforum.org)



Simplified Process Diagram for a Green Hydrogen/Ammonia Plant



Example of an Optimal Energy Generation Model for a Green Hydrogen/Ammonia Plant



Conclusiones

- Aún existen incertidumbres sobre cómo se desarrollará el mercado del hidrógeno. Colombia es uno de los 30 países que ya ha establecido una hoja de ruta para la economía del hidrógeno. Los desafíos son muchos, pero también lo son las oportunidades.
- Latinoamérica y en particular Colombia tiene un alto potencial importante para la producción de hidrógeno/amoniaco verde. La década de 2025-2035 podría convertirse en la era de una gran carrera por el liderazgo tecnológico, ya que es probable que los costos disminuyan rápidamente con el aprendizaje y la ampliación de la infraestructura necesaria.
- A corto y mediano plazo, los países y regiones pueden afirmar el liderazgo tecnológico y dar forma a las reglas del mercado en crecimiento.
- Las condiciones favorables a las energías renovables en el país, el hecho de que 70% de nuestra generación es hidráulica y la infraestructura portuaria, permitirán condiciones de alta competitividad en los mercados de hidrógeno y amoniaco verde, dado que el 60-70% de los costos de producción provienen de los costos de la energía para los electrolizadores y que estos estarán reduciendo su precio en los próximos años.
- Actualmente en Colombia, con generación eólica o solar y complementación hasta del 30-40% de la red para mejorar eficiencias y reducir fluctuaciones, se cumple con las normas internacionales para considerar la producción de hidrógeno-amoniaco como de bajas emisiones (verde)



Muchas Gracias



Sociedad Santandereana
de Ingenieros