



Asociación Peruana
de Hidrógeno

Hidrógeno de bajas emisiones en el Perú

Una propuesta de H2 Perú
para la transición energética
y el desarrollo sostenible

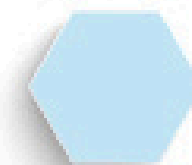
ABRIL 2024



"Creo que un día el agua será un carburante, que el hidrógeno y el oxígeno que la constituyen, utilizados solos o conjuntamente, proporcionarán una fuente inagotable de energía y de luz, con una intensidad que el carbón no puede; dado que las reservas de carbón se agotarán, nos calentaremos gracias al agua. El agua será el carbón del futuro". Explica, Jules Verne en su publicación La isla misteriosa en 1874.



ÍNDICE



ACERCA DE H₂ PERÚ	4.		
¿Cómo trabajamos?	5.		
Nuestras metas	5.		
Nuestros avances	6.		
Nuestros socios	7.		
RESUMEN EJECUTIVO	8.		
CONTEXTO: LA REALIDAD DEL CAMBIO CLIMÁTICO	9.		
PROPIEDADES DEL HIDRÓGENO	10.		
¿Qué es el hidrógeno?	10.		
¿Dónde se encuentra el hidrógeno?	11.		
¿Cómo se produce el hidrógeno?	12.		
¿Qué tan consumidor de agua es el proceso de electrólisis?	13.		
Hidrógeno verde, gris y azul ¿de qué estamos hablando?	14.		
¿Cómo se almacena el hidrógeno?	15.		
Cadena de valor del hidrógeno verde	16.		
Usos del hidrógeno	17.		
¿Cómo se transporta el hidrógeno?	18.		
¿Cómo se usa el hidrógeno verde hoy en día?	18.		
HIDRÓGENO EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA	19.		
Hidrógeno para descarbonizar el transporte	19.		
Hidrógeno en el transporte: algunas cifras	19.		
El vehículo de celda de combustible de hidrógeno.	20.		
El tren de Hidrógeno	21.		
El hidrógeno en la aviación	22.		
Hidrógeno para el almacenamiento de electricidad y su inyección en las redes	23.		
Hidrógeno para descarbonizar el sector industrial	24.		
Hidrógeno en el sector residencial y comercial	25.		
Hidrógeno en el sector agro	26.		
Hidrógeno en el sector siderúrgico	27.		
Hidrógeno del sector minero	28.		
¿QUÉ FALTA PARA SU DESARROLLO MASIVO EN EL MUNDO?	29.		
Una oportunidad en el Perú	31.		
Hoja de ruta del hidrógeno verde en el Perú al 2050	34.		

ACERCA DE H2 PERÚ



H2 Perú, Asociación Peruana de Hidrógeno, es una asociación sin fines de lucro constituida el 22 de diciembre del 2020 del 18 de diciembre del 2020 e inscrita en los Registros Públicos el 09 de febrero del 2021. Tiene como propósito impulsar el desarrollo del hidrógeno renovable y de bajas emisiones en el Perú, viendo en ello una oportunidad para mitigar los impactos del cambio climático y aportar un desarrollo socio económico en diferentes regiones del país.

En pleno entendimiento de que la clave para un futuro sostenible es una economía resiliente, inclusiva y descarbonizada, apostamos por esa nueva industria, la cual no solo es respetuosa con el medioambiente, sino que además tiene enorme potencial para generar empleo, inyectar nuevas competencias en el país y contribuir con un progreso armonioso para todos.

Con visión a largo plazo, creemos que el Perú se puede posicionar como uno de los países líderes en la producción y exportación de hidrógeno renovable y de bajas emisiones, participando de esta forma a una mejora sustantiva en la economía, las personas y el planeta.

Por sus características y potencial de desarrollo industrial, el hidrógeno renovable y de bajas emisiones puede contribuir significativamente al cumplimiento de siete de los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas.





¿Cómo trabajamos?

En H2 Perú generamos espacios de interacción que permitan intercambiar visiones, experiencias, e identificar oportunidades. Reunimos a los actores clave del ecosistema de hidrógeno verde a nivel nacional (del sector público y privado) y trabajamos en conexión con nuestras homólogas a nivel internacional.

Nuestras metas

DINAMISMO Y COHESIÓN DEL ECOSISTEMA PERUANO:

- Facilitar el desarrollo de la industria del H2 como un vector de descarbonización en el país.
- Facilitar la producción, uso nacional y exportación del hidrógeno renovable y de bajas emisiones y sus productos derivados, logrando la creación de un marco regulatorio adecuado y la implementación de las condiciones adecuadas para ejecución de proyectos

FORTALECIMIENTO Y ALTOS ESTÁNDARES DE GESTIÓN DE LA ASOCIACIÓN:

Transparencia y calidad de gestión de H2 Perú.

PRESENCIA EN EL ESCENARIO INTERNACIONAL DEL PERÚ:

Posicionar al país como un destino atractivo de inversión y desarrollo de proyectos H2, creando redes de colaboración internacionales.

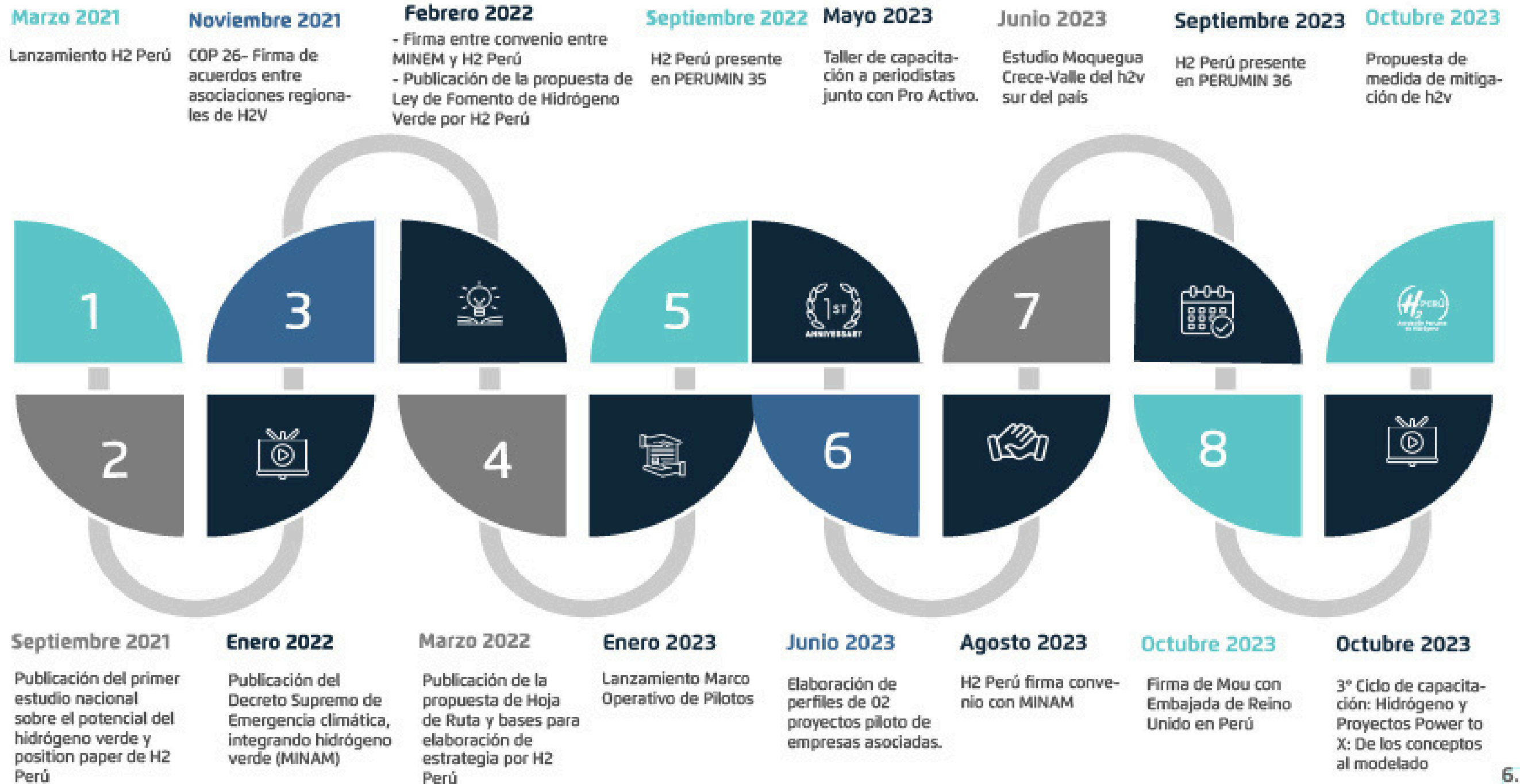
INTERNACIONALIZACIÓN DE LA ASOCIACIÓN Y REDES DE APRENDIZAJE:

Participación de actores internacionales en Comités de H2 Perú para el



Nuestros avances

Desde sus inicios, H2 Perú ha logrado varios avances rápidos, pavimentando el camino hacia un despliegue a gran escala del H2V. Esta línea de tiempo resume sus acciones más importantes:



Nuestros socios

A la fecha de publicación del presente documento, H2 Perú cuenta con la participación de 36 socios corporativos los actores de la futura cadena de valor en Perú, 17 personas naturales, expertos del sector, 2 socios estratégicos que tienen un rol clave en las actividades de la asociación, y 16 aliados nacionales e internacionales que contribuyen con su valiosa colaboración.

Socios corporativos

Energía



Industria y minería



Servicios de ingeniería y tecnología



Socios estratégicos



Media partners



Socios profesionales

17 Expertos sector y/o H2

Aliados



RESUMEN EJECUTIVO

El hidrógeno renovable representa un mercado de alto potencial en el que Perú podría posicionarse ahora a través de una sólida estrategia nacional y grandes inversiones.

El hidrógeno es un portador de energía que requiere de una cadena de valor compleja. Generalmente se produce a partir de agua o hidrocarburos. Cuando se produce a partir de hidrocarburos como el metano o el propano, es a través de procesos termoquímicos (donde la captura del CO₂ emitido es una opción para reducir su impacto ambiental), mientras que cuando se produce a partir de agua el proceso se llama electrólisis.

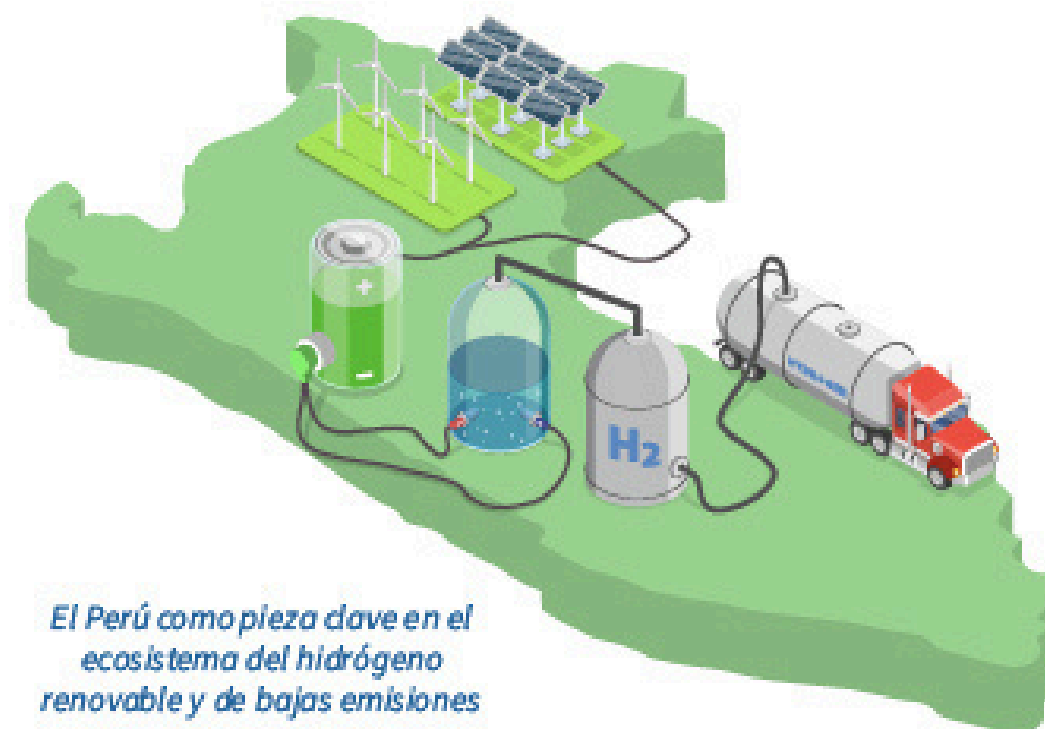
El despliegue de tecnologías de hidrógeno aún depende en gran medida de la reducción de sus costos y la construcción de infraestructura.

Como parte de la transición energética, Perú podría tener como objetivo impulsar el uso de hidrógeno renovable para descarbonizar su economía y superar la intermitencia de las energías renovables mediante el almacenamiento de energía en forma de gas hidrógeno. También, tiene un potencial en convertirse en uno de los exportadores mundiales.

Para lograr los objetivos de la transición energética, gran parte de los países se están interesando en la producción y el uso de hidrógeno renovable y bajo en carbono. Utilizado hasta la fecha principalmente en la

refinación de crudo y procesos químicos, este vector energético podría ayudar a descarbonizar determinados sectores industriales, asegurar el almacenamiento de electricidad o abastecer al sector del transporte. Sin embargo, el despliegue de las tecnologías del hidrógeno está a la espera de que se eliminen una serie de obstáculos.

Por su alto potencial en energía renovable, y si se da el marco regulatorio necesario, el Perú tiene una gran oportunidad de convertirse en uno de los líderes mundiales de la producción y exportación de hidrógeno verde.



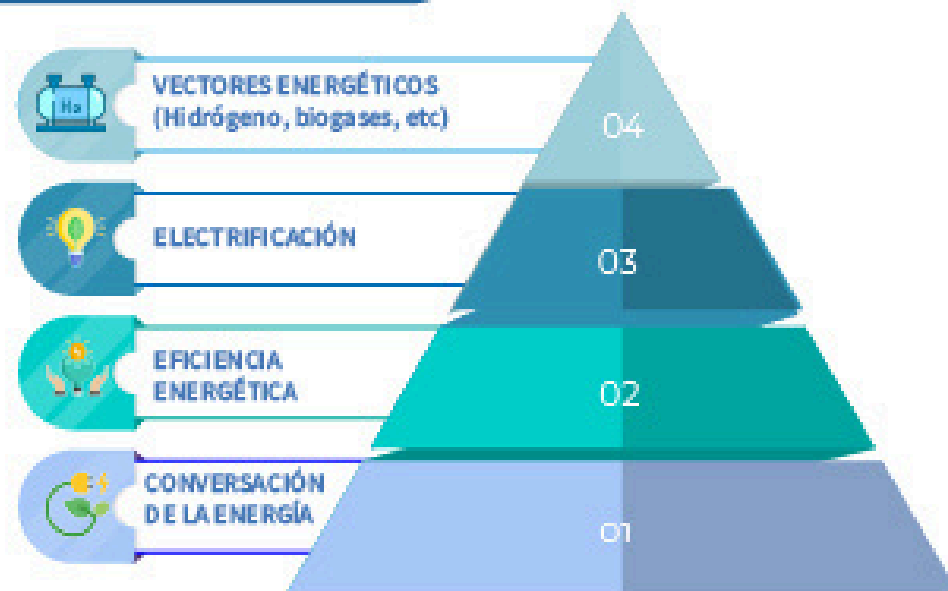
*El Perú como pieza clave en el
ecosistema del hidrógeno
renovable y de bajas emisiones*

CONTEXTO: LA REALIDAD DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Cambio Climático y Calentamiento Global

“Es debido a que más del 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen del sector Energía, es que debemos buscar nuevas formas de producir y aprovechar la energía para los usos humanos. A ese camino desde el estado actual hacia el uso de fuentes más limpias, como la solar, eólica, y el mismo hidrógeno, se le conoce como Transición Energética”

Pirámide jerárquica de la transición energética



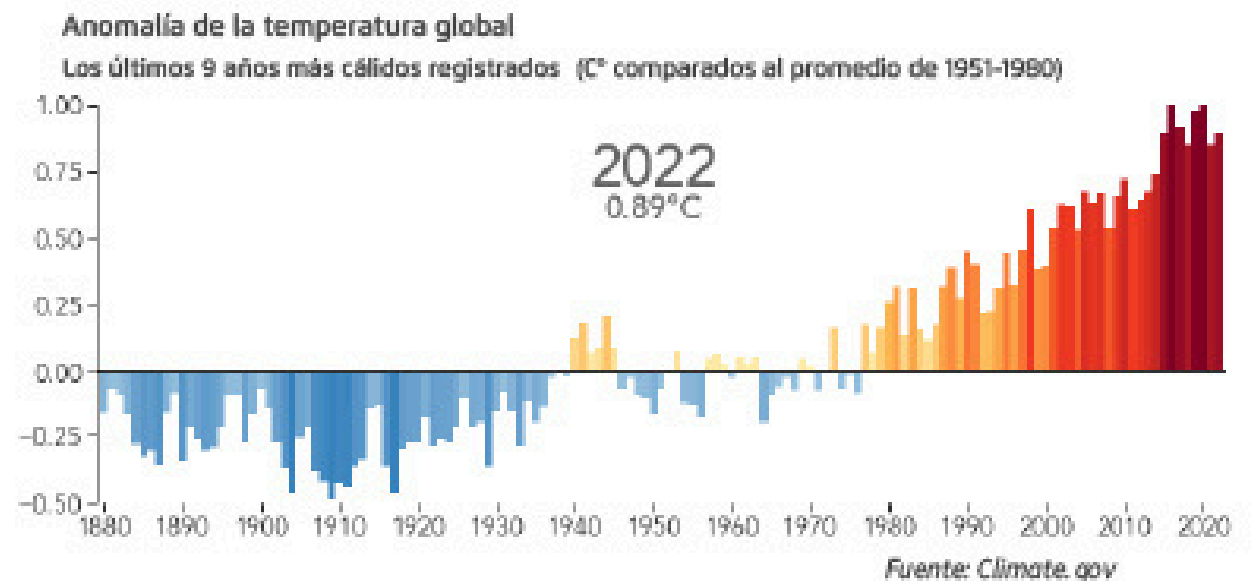
Debido al peso en las emisiones del sector energía es que debemos buscar nuevas formas de producir y aprovechar la energía para los usos humanos. A ese camino desde el estado actual hacia el uso de fuentes más limpias, como la solar, eólica, y el mismo hidrógeno, se le conoce como Transición Energética.

Se identifica al CO₂ como uno de los principales responsables del aumento de la temperatura media del planeta, y un análisis de emisiones por sector nos revela que más del 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen del sector Energía.



Temperatura media global de la superficie

La temperatura promedio del planeta ha aumentado aproximadamente 1.2 grados centígrados en los últimos 150 años. Este incremento se ha acelerado en las últimas décadas, y se atribuye principalmente a la actividad humana. Este aumento de la temperatura global es significativo ya que las oscilaciones de temperatura a lo largo de miles de años suelen ser del orden de 1 a 2°C.



PROPIEDADES DEL HIDRÓGENO

¿Qué es el hidrógeno?

Al igual que las baterías, el hidrógeno o H₂ (conocido químicamente como hidrógeno molecular) es un portador de energía y no una fuente primaria de energía. El H₂ se produce mediante una reacción química a partir de un recurso primario, como puede ser la energía solar fotovoltaica o eólica. Actualmente, por razones tecnológicas y económicas, el 95% del hidrógeno proviene de la transformación de combustibles fósiles (casi la mitad de este porcentaje a partir de gas natural).

Comparación del poder calorífico del H₂ con otros combustibles

El poder calorífico es la cantidad de energía que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación (combustión).



Propiedades



El más abundante y liviano

Es el primer elemento en la tabla periódica. El

Nunca solo



Se encuentra principalmente en forma de molécula diatómica (H₂) en estado gaseoso.

Vector Energético



Permite que la energía sea transportada y luego convertida nuevamente en

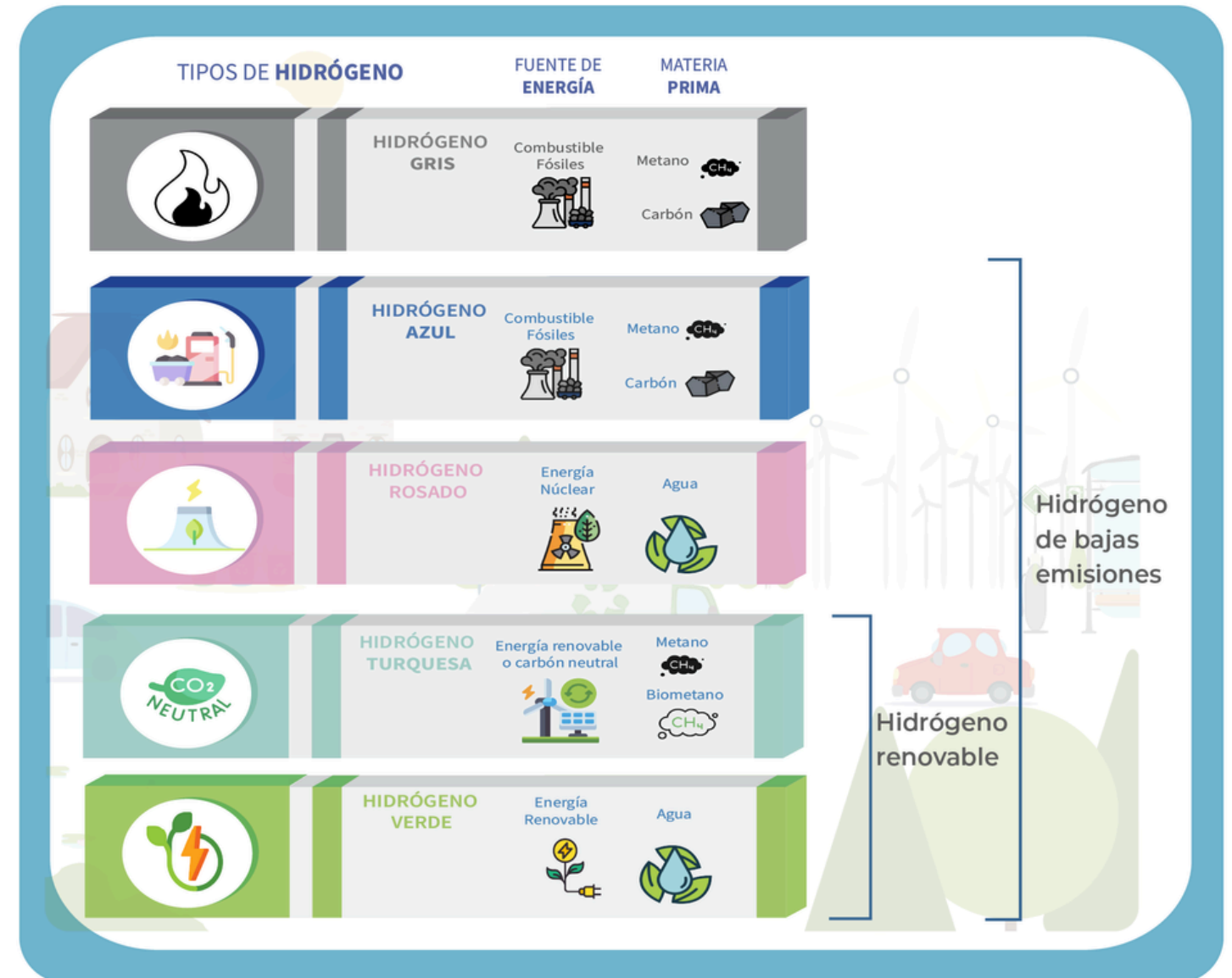
¿Dónde se encuentra el hidrógeno?

Los principales recursos para producir hidrógeno son el agua y los hidrocarburos (carbón, petróleo o gas).

De hecho, cada molécula de agua es el resultado de la combinación de un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno, según la fórmula H₂O.

Los hidrocarburos provienen de la combinación de átomos de carbono e hidrógeno. Este es por ejemplo, el caso del metano, principal constituyente del gas natural cuya fórmula es CH₄, una de las combinaciones más sencillas para los hidrocarburos.

El Hidrógeno producido con fines energéticos o de descarbonización a partir de distintas moléculas y de distintos procesos físicos químicos se clasifica en dos categorías, hidrógeno de bajas emisiones e hidrógeno renovable, y en ocasiones se le asigna un color como forma de mnemotecnica para identificarlo.



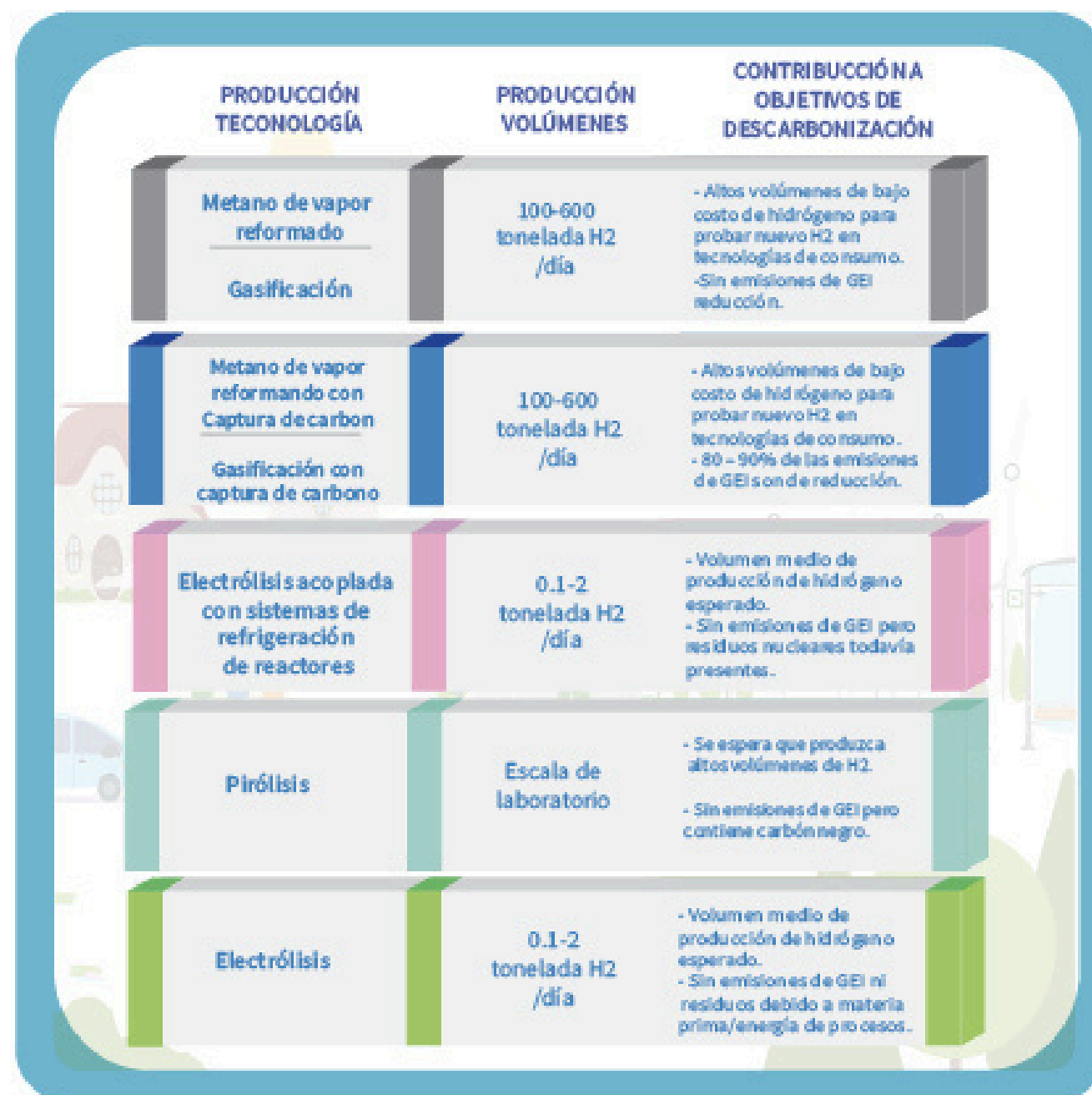
Fuente: energypartnership

¿Cómo se produce el hidrógeno?

Existen diferentes técnicas de producción:

- El reformado con vapor de gas natural es la técnica principal para producir hidrógeno. Involucra reaccionar metano con agua para obtener una mezcla de hidrógeno y CO₂. El CO₂ emitido podría capturarse para obtener hidrógeno libre de carbono.
- La electrólisis del agua es otra forma de producir hidrógeno, mediante la división de una molécula de agua en hidrógeno y oxígeno a través de un electrolizador.
- El uso de biometano también es una opción para producir hidrógeno sin carbono, obtenido a partir de la fermentación de biomasa.

“Hoy, el 95% del hidrógeno se produce a partir de hidrocarburos (petróleo, gas natural y carbón), la solución menos costosa. Sin embargo, este proceso es, a excepción del pirólisis, un emisor de CO₂, un gas de efecto invernadero. Para producir hidrógeno verde, se usa la electrólisis del agua, realizándose la electrólisis utilizando electricidad baja en carbono suministrada por energía renovable. Sin embargo, el reto sigue siendo el coste de este modo de producción”, Daniel Camac, Presidente H₂ Perú.



Fuente: energypartnership

¿Qué tan consumidor de agua es el proceso de electrólisis?

En comparación:



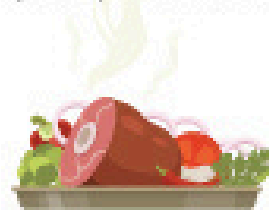
¿Te gusta comer chocolate?

Hacer un kilo de chocolate implica utilizar
24,000 litros de agua.



Tu camisa de algodón

necesitó **2,000 litros de agua**
para producirse.



Esos deliciosos asados de carne de res

atraviesan un proceso en el cual se necesitan
15,000 litros de agua para producir
tan solo 1 kilo de carne.



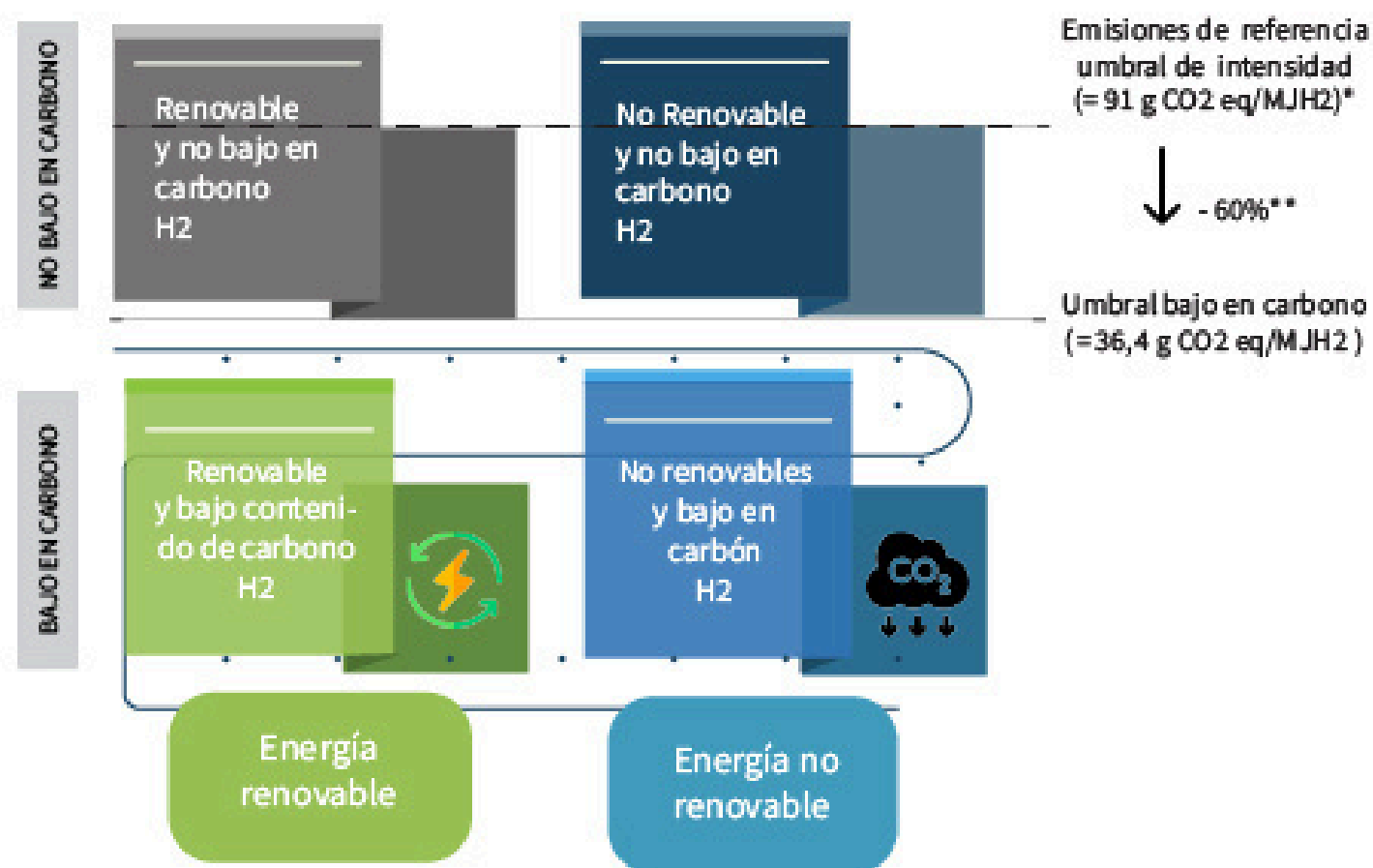
Fuente: watercalculator

Gasolina vs Hidrógeno

Para recorrer 100 km en un vehículo tipo sedan,
se requieren 1 kg de H₂ o unos 7 litros de gasolina.

El volumen de agua invertido en este proceso
es de 4.97 litros de agua para la gasolina v.s. 8
litros
de agua para el H₂.

Hidrógeno verde, gris y azul: ¿De qué estamos hablando?



En comparación:

- El hidrógeno verde, o hidrogeno renovable, se produce por electrólisis del agua utilizando electricidad procedente únicamente de energías renovables y su huella de carbono debe ser 60% menor a la del hidrógeno gris o convencional.
- El hidrógeno azul, o hidrógeno bajo en carbono, se fabrica de la misma forma que el hidrógeno gris, excepto que el CO₂ emitido durante la fabricación será capturado para ser reutilizado o almacenado, cuidando abatir las emisiones de GEI en un 60% al menos.

Una vez fabricado, este hidrógeno debe almacenarse y luego transportarse a su lugar de distribución y uso.

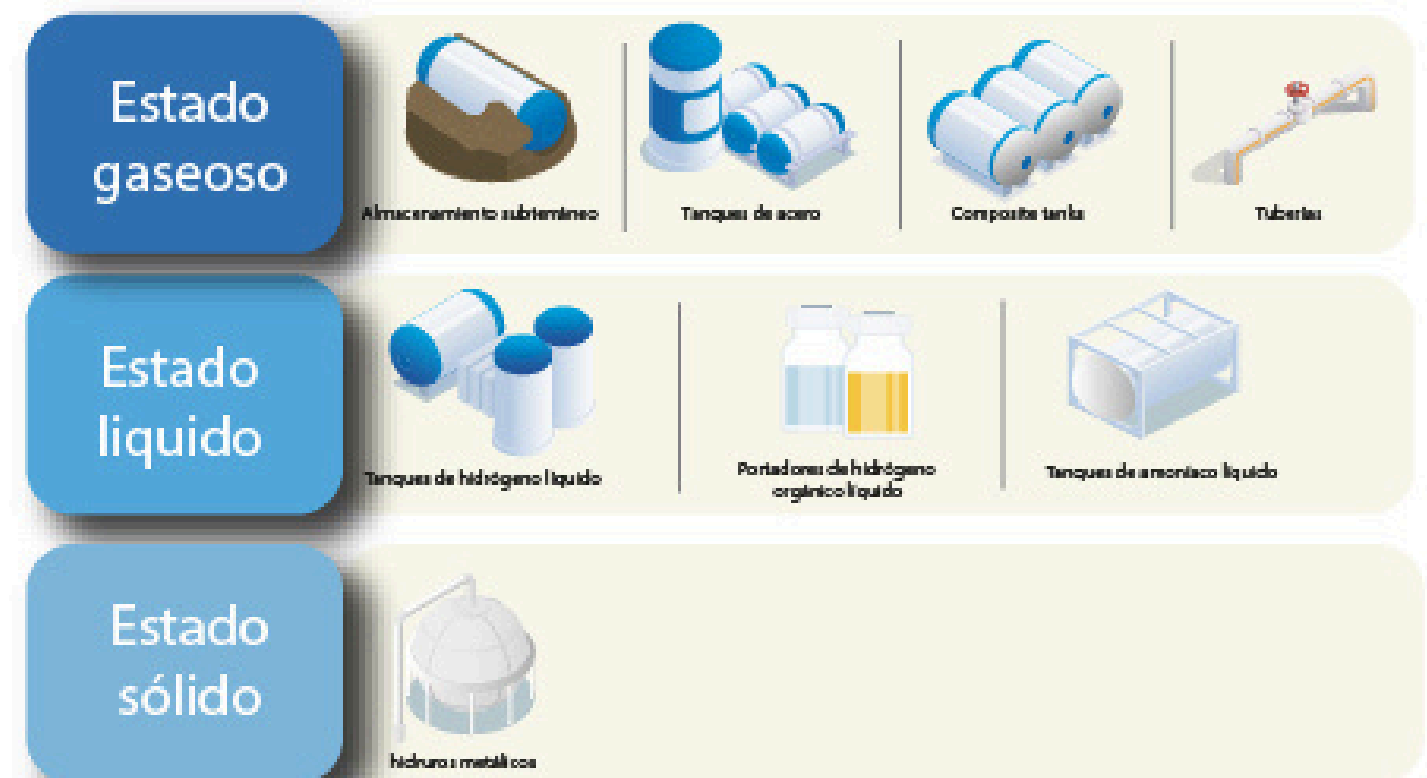
Fuente: CertifHy

¿Cómo se almacena el hidrógeno?

El hidrógeno tiene una densidad de energía de masa muy alta (1 kg de hidrógeno contiene tanta energía como unos 3 kg de gasolina o diesel) pero una densidad de volumen muy baja. Debe transformarse para poder almacenarlo en un volumen utilizable.

- Comprimiéndolo a 700 bar: 7 litros de hidrógeno pueden contener tanta energía como 1 litro de gasolina.
- Licuándolo a una temperatura de -253°C para aumentar más su densidad energética por volumen: 4 litros de hidró-

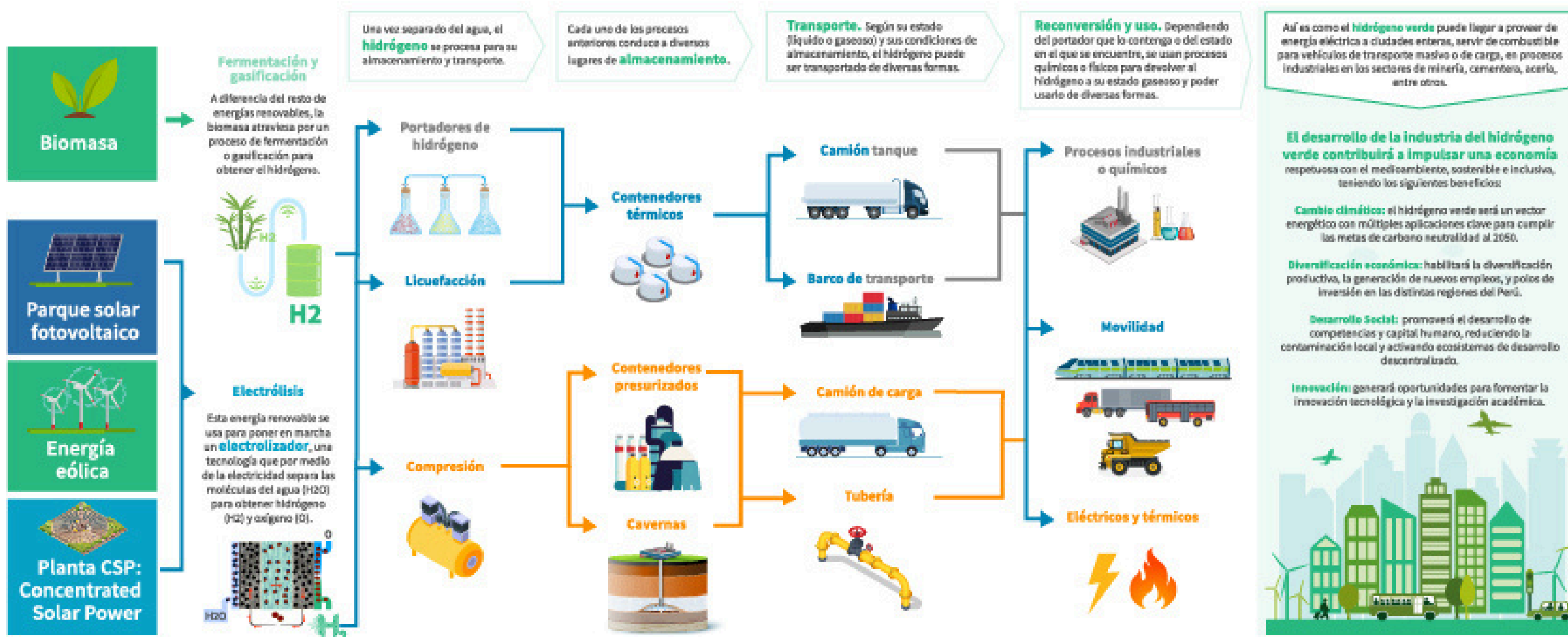
Para almacenar el hidrógeno. Existen distintas formas en función de su estado físico (comprimido a baja presión, comprimido a alta presión, licuado, etc.). La forma más económica de almacenarlo y que mayores volúmenes acepta es el almacenamiento bajo tierra en cavernas salinas. Esta es una tecnología, ideal para el almacenamiento estacional de energía.



Fuente: Energypartnership

Cadena de valor del hidrógeno verde

El **hidrógeno verde** se caracteriza por ser producido por **energía 100% renovable**.



Usos del hidrógeno

INDUSTRIA ENERGÉTICA

- Almacenamiento de energía
- Aprovechamiento de excedentes renovables y gestión de redes eléctricas de



AGRICULTURA

- Producción de fertilizantes
- Vehículos de uso agrícola



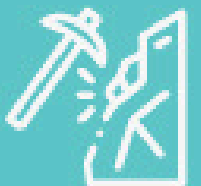
TRANSPORTE

- Transporte terrestre
- Descarbonización del sector marino
- Descarbonización de la aviación



MINERÍA

- Camiones de carga minera
- Explosivos, mineros
- Sistemas energéticos, tipo isla



INDUSTRIA QUÍMICA

- Resina sintéticas
- Vidrio
- Grasas, hidrogenadas



SECTOR RESIDENCIAL Y COMERCIAL

- Sistemas combinados con potencia
- Calor industrial de alta temperatura



Suiso Frontier es el primer buque transportador de hidrógeno líquido del mundo.



Fuente: Hystra

¿Cómo se transporta el hidrógeno?

El hidrógeno generalmente se transporta en forma comprimida a través de una red de tuberías relativamente extensa, con un total de más de 4500 km en todo el mundo, incluidos 1600 km en Europa y 2500 km en los Estados Unidos.

Por ejemplo, países como Japón también están considerando importar hidrógeno, que luego sería transportado por barco desde Australia.

¿Cómo se usa el hidrógeno hoy en día?

Actualmente, el hidrógeno tiene dos usos principales: por un lado, sirve como materia prima para la producción de amoníaco (fertilizante) y metanol; por otro lado, se utiliza como reactivo en procesos de refinación de crudos a derivados del petróleo, combustibles y biocombustibles.

No obstante, los usos que se le pueden dar son numerosos, y el hidrógeno es prometedor para descarbonizar un cierto número de sectores y apoyar la transición energética.

Remolque de tubo modular



Fuente: fibatech

HIDRÓGENO EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

La recuperación de energía a partir de hidrógeno renovable se realiza de dos maneras: ya sea en forma de calor a, través de su combustión directa con oxígeno; o en forma de electricidad, a través de una pila de combustible.

Hidrógeno para descarbonizar el transporte

En el Perú, el transporte emite el 11% de las emisiones globales de GEI, según el Inventario Nacional de GEI, lo que lo convierte en uno de los principales sectores emisores. La movilidad tendrán una amplia gama de soluciones para ser descarbonizada, desde los vehículos a baterías, los biocombustibles, combustibles sintéticos e hidrógeno. Este último jugará un rol fundamental en los segmentos más pesados de la movilidad, como el transporte de carga o el transporte de pasajeros de larga distancia, mediante el uso de vehículos de celda de combustible en lo que se conoce como sistemas “Power to Mobility” (energía renovable para la movilidad).

Hidrógeno en el transporte: algunas cifras

- Un vehículo diésel produce entre 40 y 45 toneladas de CO₂ durante toda su vida útil, mientras que un vehículo de hidrógeno producido por reformado (gris) un poco más de 35 toneladas y un vehículo de hidrógeno producido por electrólisis (verde) menos de 15 toneladas.
- Los vehículos propulsados por hidrógeno tienen hasta 74 % menos de emisiones de carbono que los vehículos térmicos tradicionales (Fuente: Carnot ARTS)
- De acuerdo con estimaciones de H₂ Perú, el sector de la movilidad en Perú podría demandar más de 40 mil toneladas de hidrógeno verde, lo que representaría una reducción de hasta 350 mil toneladas de CO₂e/año.

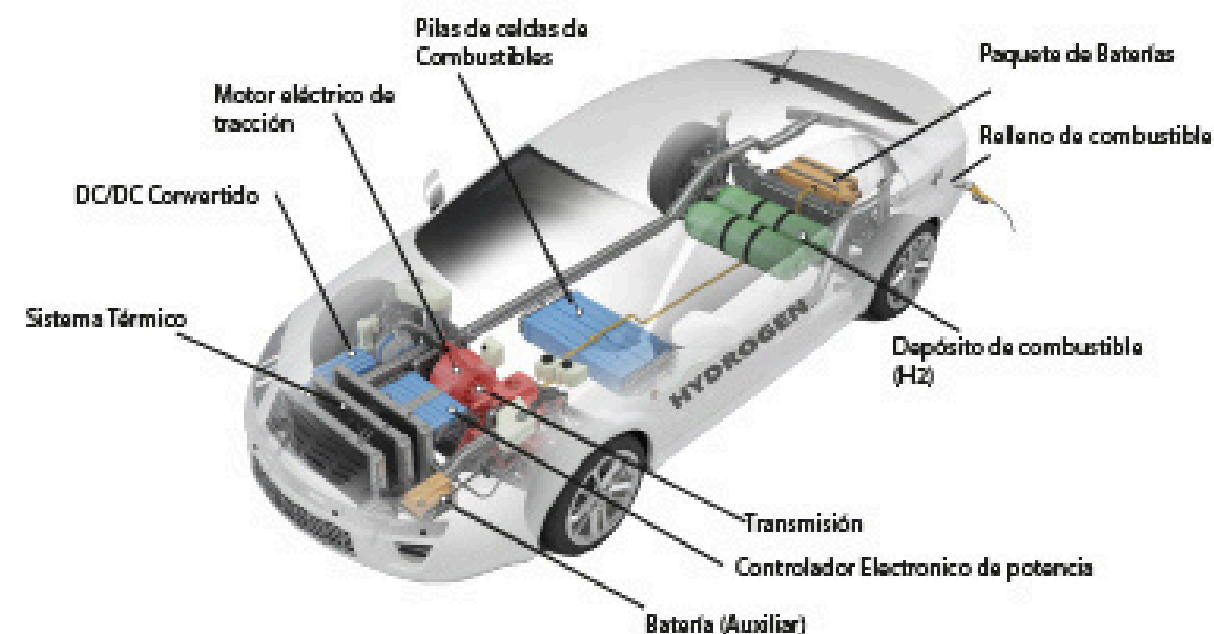


El vehículo de celda de combustible de hidrógeno

A largo plazo, los fabricantes de automóviles también están interesados en las pilas de combustible (o Fuel Cell), como generadores de electricidad para vehículos eléctricos. Se trata de completar las soluciones de los vehículos eléctricos alimentados por batería, que hoy en día sufren la limitación en la autonomía y el tiempo de recarga de estas baterías. Luego, el hidrógeno se usa para alimentar una celda de combustible, que produce electricidad, para operar el motor eléctrico que impulsa el vehículo. El hidrógeno es uno de los mejores portadores de energía para las pilas de combustible en la actualidad en términos de rendimiento energético y emisiones. Su eficiencia es generalmente superior al 50% en un amplio rango de funcionamiento, lo que representa una interesante ventaja frente a un motor de gasolina actual.

Impulsada por una mezcla de aire e hidrógeno, la celda convierte la energía química del hidrógeno en energía eléctrica según el principio inverso de la electrólisis. Al hacer reaccionar el hidrógeno con el oxígeno del aire en los electrodos (finas membranas recubiertas de un catalizador, el platino), las pilas de combustible permiten producir electricidad sin otra emisión que vapor de agua.

¡El principio se remonta a 1839! Se ha utilizado durante mucho tiempo para generar electricidad a bordo de cohetes y ahora se perfila como una forma eficiente y efectiva para descarbonizar la movilidad en sectores de uso intensivo y de alta demanda energética, como el transporte de carga, los buses interurbanos o los camiones mineros, que llegan a movilizar ¡de 100 a 300 toneladas de minerales!



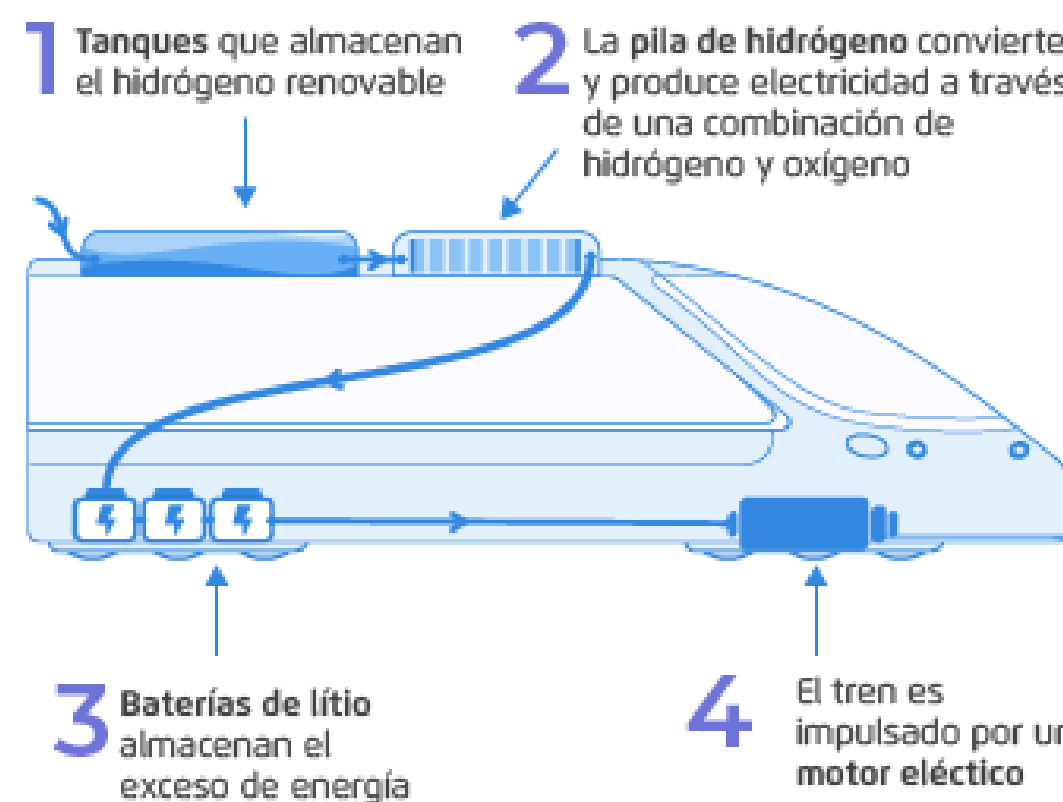
Fuente: energy.gov

El tren de hidrógeno

En el sector ferroviario, el hidrógeno renovable, además de reducir emisiones, aportará una gran ventaja: los trenes podrán circular sin necesidad de electrificar toda la red de vías mediante catenarias, algo que generalmente tiene altos costos asociados. Los trenes de hidrógeno son eléctricos y que se mueven con la energía que obtienen cuando las pilas de combustible a bordo convierten el hidrógeno que llevan en tanques, en forma de gas comprimido, y oxígeno del aire en energía eléctrica y vapor de agua como residuo.

En Europa los trenes de hidrógeno se encuentran en una etapa de maduración tecnológica y comercial mediante su pilotaje en países como Alemania e Italia.

Así funciona un tren de hidrógeno



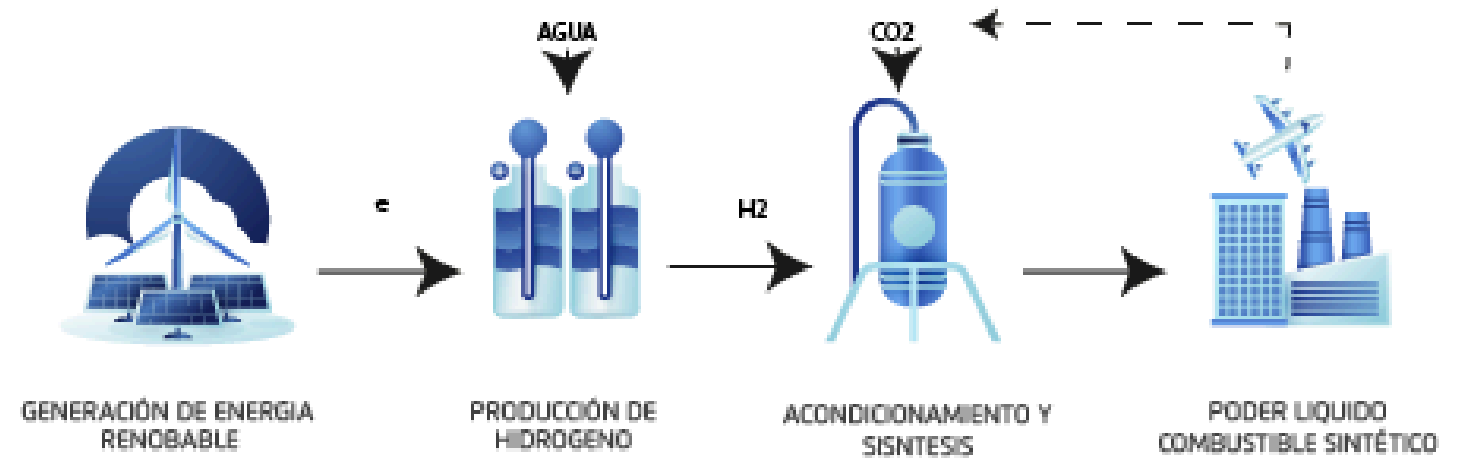
Fuente: La Vanguardia

Hidrógeno en la aviación

El sector de la aviación, como muchos otros sectores altamente dependientes de los combustibles fósiles, enfrenta retos importantes para la descarbonización de sus operaciones. En este campo, el hidrógeno verde representa también una oportunidad para sustituir a los combustibles fósiles.

Los aviones que funcionen 100% con hidrógeno verde están ahora en etapa de investigación y desarrollo, esperando contar con los primeros aviones de este tipo para el año 2035, de acuerdo con el fabricante Airbus.

Mientras tanto, el hidrógeno puede contribuir a la descarbonización de la aviación mediante la producción de combustibles sintéticos, los cuales son un producto químico resultante de la mezcla de CO₂ capturado e hidrógeno verde (a través de un proceso químico llamado Fischer Tropsch) y cuya composición química es idéntica a la de los hidrocarburos que hoy consumen los aviones, por lo que la infraestructura de transporte, almacenamiento, carga y consumo del combustible no necesita adecuaciones.



Fuente: *stottimes*



Fuente: *BBC*

Hidrógeno para el almacenamiento de electricidad y su inyección en las redes

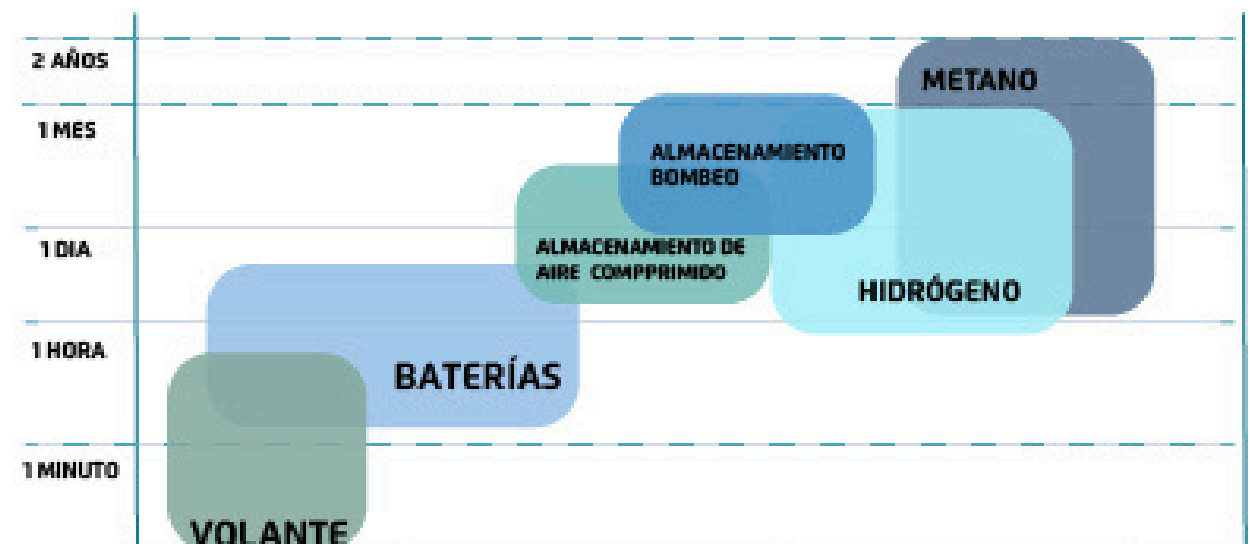
El almacenamiento de energía en forma de hidrógeno permite superar la intermitencia de las energías renovables (eólica y solar) optimizando la capacidad de producción de electricidad (power-to-power).

Como parte del desarrollo de un mix eléctrico renovable, la electrólisis permite, cuando la red tiene excedentes (es decir, cuando la producción de electricidad es superior a su consumo), almacenar hidrógeno por algún tiempo. Entre las opciones de almacenamiento de energía, el hidrógeno se perfila como una solución óptima para almacenar altos volúmenes de energía (1 GWh – 1 TWh) por periodos de tiempo en el orden de las semanas a meses.

En el caso de una red deficitaria, por el contrario, el hidrógeno disponible puede alimentarse a una pila de combustible o una turbina para producir electricidad.

En el caso de que se tengan excedentes de electricidad y no se cuente con el sistema de almacenamiento de hidrógeno, este puede ser inyectado a las redes de gas natural (power - to - gas):

- Por inyección directa en redes de gas para combustión.
- Por producción de metano sintético (según el principio de metanización): conversión de monóxido de carbono (CO) o dióxido de carbono (CO₂) e hidrógeno, que luego puede transformarse en calor, electricidad o combustible.



Fuente: School of engineering RMIT University (2015)

Hidrógeno para descarbonizar el sector industrial

El hidrógeno se puede utilizar en el sector industrial (power-to-industry) de dos principales formas:

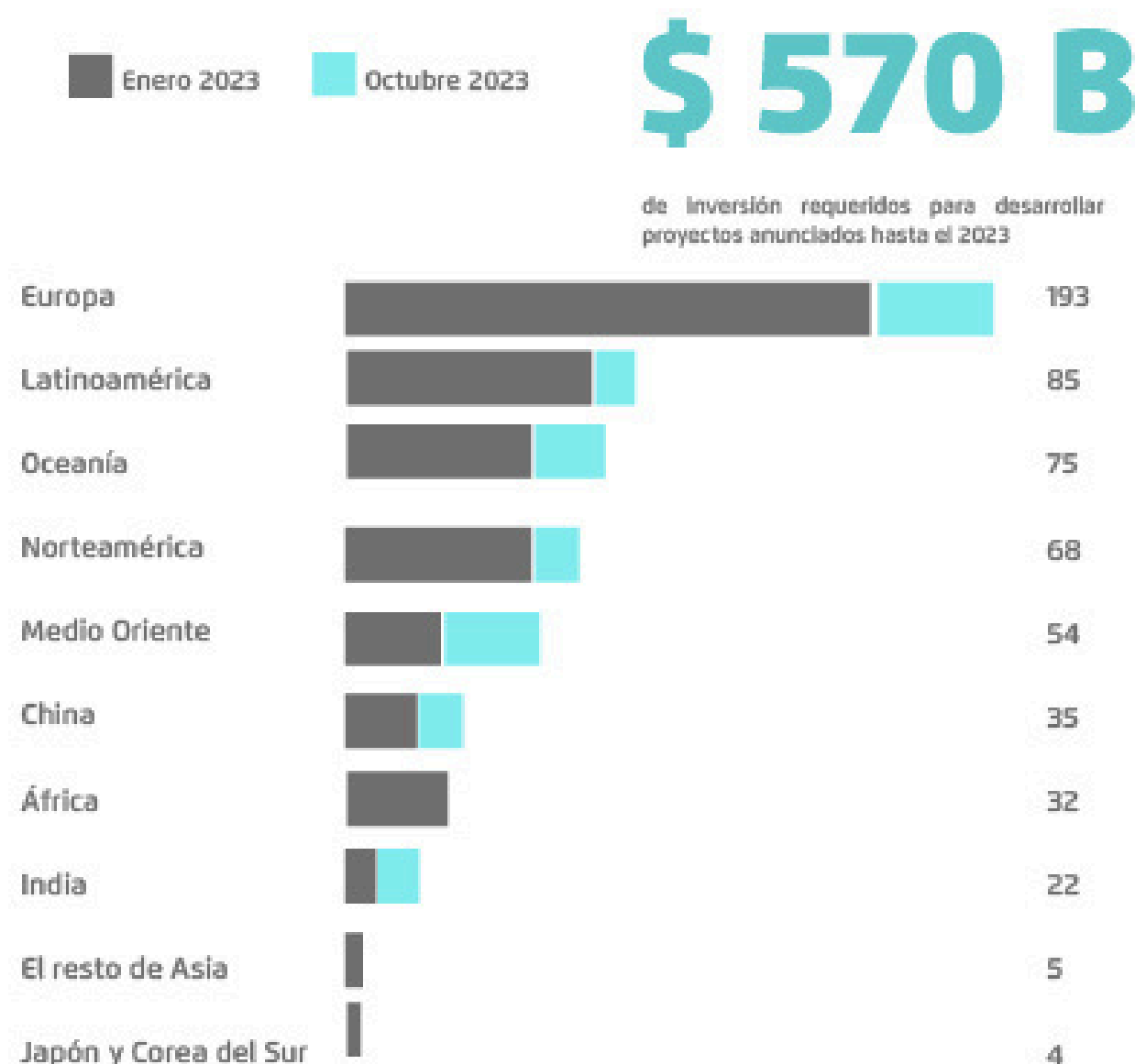
- Como suministro de energía libre de carbono en procesos de combustión cuyo objetivo es lograr altas temperaturas (>400 °C).
- Como materia prima verde, sustituyendo a proceso que actualmente utilizan combustibles fósiles para producir hidrógeno gris para su consumo en reacciones químicas. Es el caso, por ejemplo, de la fabricación de acero que resulta de la reducción del mineral de hierro. Esta reducción que se realiza hoy a través de gas natural reformado para producir H₂ y CO, sin embargo, podría realizarse utilizando hidrógeno verde.



Hidrógeno en el sector residencial y comercial

El hidrógeno presenta una serie de aplicaciones potenciales en el sector residencial y en edificaciones comerciales:

- **Generación de energía:** El hidrógeno puede utilizarse como fuente de energía en sistemas de generación de energía, como las pilas de combustible, para proporcionar electricidad y calor a hogares y edificaciones comerciales. Estos sistemas pueden ser eficientes y producir bajas emisiones.
- **Calefacción y refrigeración:** El hidrógeno puede utilizarse en sistemas de calefacción y refrigeración residenciales y comerciales, alimentando calderas y sistemas de calefacción central, así como sistemas de refrigeración, como una alternativa limpia a los combustibles fósiles.

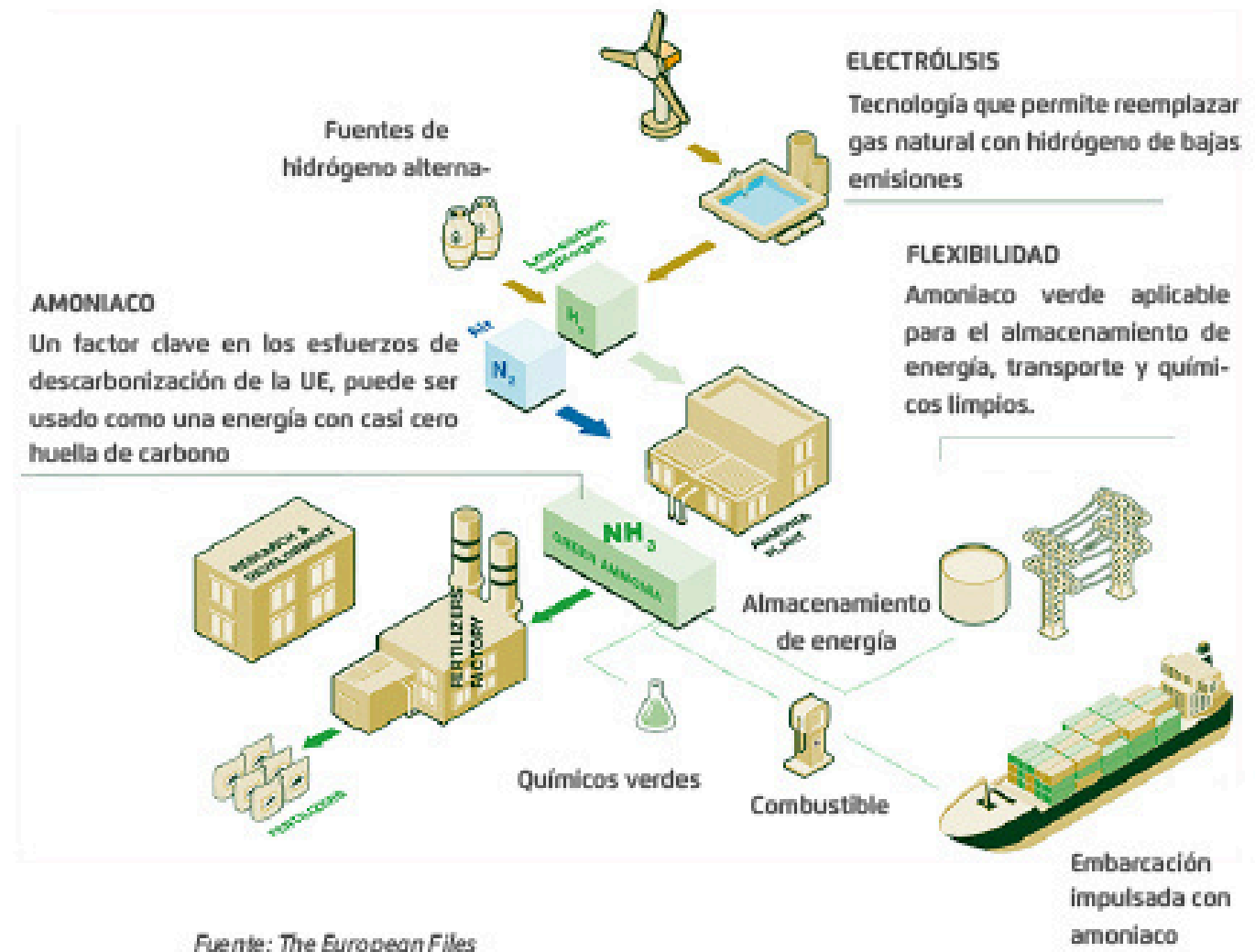


Fuente: Project & Investment tracker, as of Oct 2023

Hidrógeno en el sector agrícola

El hidrógeno desempeña varios roles importantes en el sector agrícola y alimenticio:

- **Fertilizantes:** El hidrógeno se utiliza en la fabricación de amoníaco, un componente clave de los fertilizantes nitrogenados. El amoníaco es esencial para promover el crecimiento de las plantas y aumentar la productividad agrícola.
- **Más de 235 millones de toneladas de amoníaco, crucial para la agricultura moderna, se producen a nivel mundial a un costo del 1 al 2% del consumo energético mundial. Esta gran escala de producción de amoníaco también emite aproximadamente 450 millones de toneladas por año de dióxido de carbono (CO₂) y representa aproximadamente el 1% de todas las emisiones humanas, más que cualquier otra reacción química industrial. Sustituir esta demanda de hidrógeno fósil por renovable representa en sí mismo una gran oportunidad.**
- **Transporte y maquinaria:** En el ámbito agrícola, el hidrógeno puede ser una fuente de energía alternativa para la maquinaria agrícola, como tractores y vehículos utilizados para la cosecha y el transporte de productos agrícolas.
- **Procesamiento de alimentos:** El hidrógeno se utiliza en varias etapas del procesamiento de alimentos, como la producción de aceites vegetales, la hidrogenación de grasas y la eliminación de impurezas en el agua utilizada en la agricultura y la industria alimentaria.



Hidrógeno en el sector siderúrgico

- El hidrógeno desempeña un papel importante en el sector siderúrgico como agente reductor en los procesos de producción de acero. A través de la tecnología de reducción directa, el hidrógeno se utiliza para eliminar el oxígeno del mineral de hierro, lo que resulta en la producción de hierro esponjoso o hierro reducido que luego se puede utilizar en la fabricación de acero.
- Esta técnica permite reducir las emisiones de carbono asociadas con la producción de acero al evitar la necesidad de utilizar coque de carbón, el cual es un componente clave en los métodos tradicionales de producción de acero.
- Además, el hidrógeno puede utilizarse en la fabricación de acero a través de procesos de laminación y recocido, lo que contribuye a la mejora de la calidad del producto final y a la reducción de emisiones contaminantes.

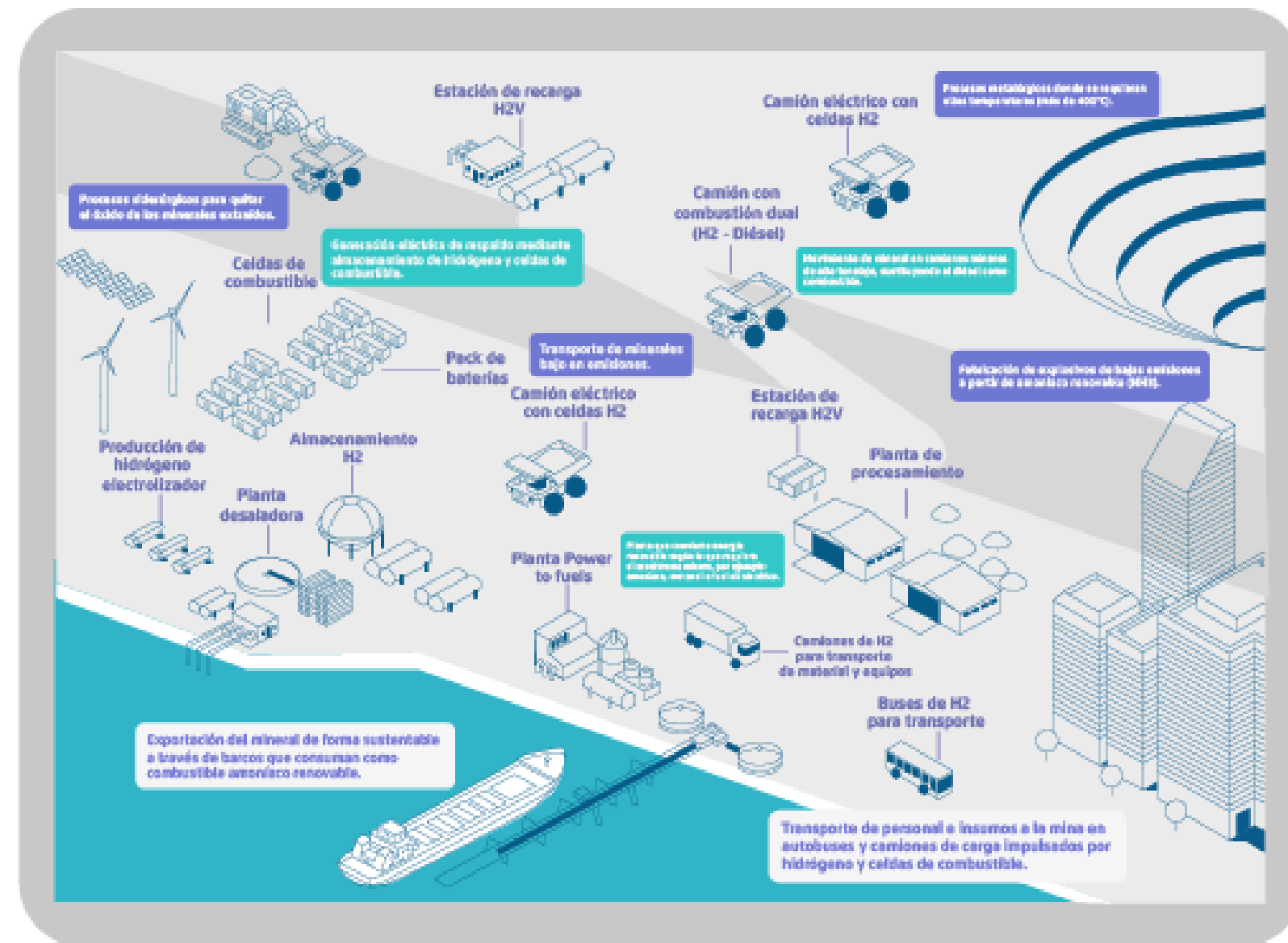


Fuente: Cursos técnicos para la industria

Hidrógeno en el sector minero

En el ecosistema minero el hidrógeno tiene potencial para ser utilizado en múltiples actividades, por ejemplo:

- La fabricación de explosivos de bajas emisiones a partir de amoníaco renovable (NH₃), el cual es el principal precursor químico del nitrato de amonio.
- Movimiento de mineral (camiones mineros de alto tonelaje): sustituyendo al diésel como el combustible para alimentar estos grandes camiones, que actualmente consumen hasta 3600 L/día de este combustible fósil.
- Procesos metalúrgicos donde se requiera calor de alta temperatura (más de 400°C).
- Generación eléctrica de respaldo mediante almacenamiento de hidrógeno y celdas de combustible.
- Transporte de personal e insumos a la mina, mediante autobuses y camiones de carga impulsados por hidrogeno y celdas de combustible.



Adaptado de: H2 Chile

¿QUÉ FALTA PARA SU DESARROLLO MASIVO EN EL MUNDO?

En el mundo, el despliegue del hidrógeno libre de carbono está previsto para finales de la década, siendo más bien su pleno desarrollo para la siguiente. Requiere levantar una serie de barreras.

Costos más bajos

El hidrógeno verde es todavía más costoso que los combustibles fósiles y solo se puede implementar si se reducen los costos en toda la cadena de valor, comenzando con el costo de producir electricidad renovable (solar, eólica) pero también el de electrolizadores y celdas de combustible.

Impulso regulatorio

Desarrollo de políticas a nivel nacional que favorezcan el despliegue de proyectos de generación eléctrica renovable, de producción de hidrógeno y de adopción de tecnologías de bajas o nulas emisiones respecto a las tecnologías convencionales en la industria y el transporte.

Idealmente, estas políticas deberían ser acompañadas de estímulos de promoción a la inversión, como podrían ser esquemas de depreciación acelerada, reducción de tasas impositivas, reducción de aranceles en la comercialización de bienes y servicios vinculados a la cadena de valor del hidrógeno verde, etc.

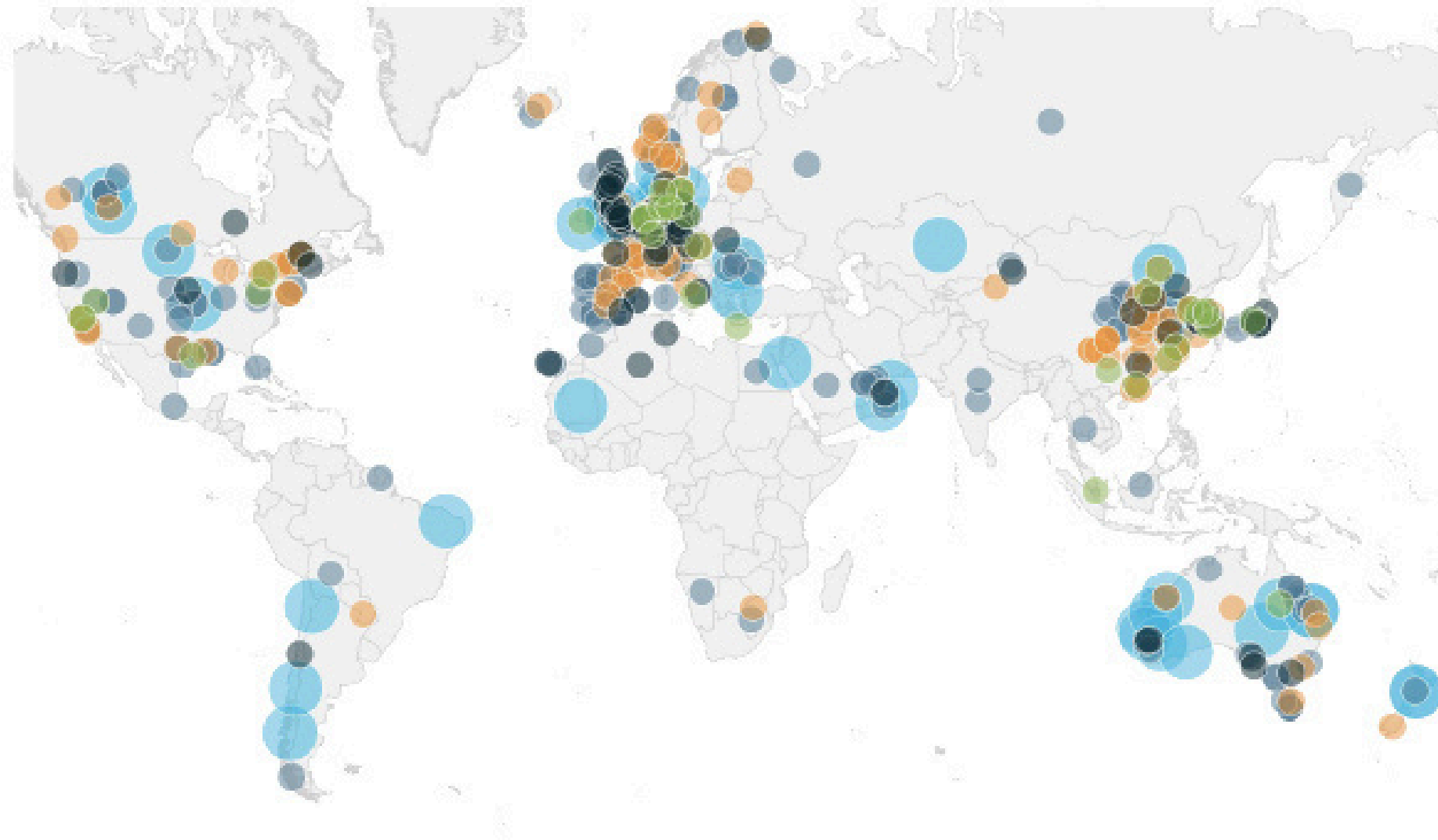
Construir la infraestructura

El despliegue del hidrógeno electrolítico requiere el establecimiento de una infraestructura compleja que comprenda, además de las capacidades de producción alimentadas por energías renovables (parques eólicos o solares, conectados o no a la red eléctrica), una red de transporte y distribución que conecte estas capacidades de producción a los sitios de uso, y un conjunto de capacidades de almacenamiento variadas también en red. Todo tendrá que ser gestionado por un sistema inteligente que permita optimizar la adecuación de la oferta y la demanda en las fases temporales diarias y temporales.

Estos obstáculos están poco a poco superándose: una cantidad importante de países ha entendido el rol crucial que iba a tomar el hidrógeno verde en la descarbonización de la economía y ha elaborado su estrategia. Desde ya numerosos pilotos y proyectos se desarrollan en el mundo.



Existe un fuerte impulso a nivel mundial con más de 520 proyectos anunciados



43

Producción a gran escala
Proyectos de H₂ renovable >1 GW, proyectos de H₂ bajo en carbono >200 ktpa

221

Uso industrial a gran escala
Refinerías, amoníaco, metanol, acero y materias primas industriales

133

Transporte Trenes, barcos, camiones, coches y otras aplicaciones de movilidad con hidrógeno

74

Economía integrada con H₂
Industria y proyectos con diferentes tipos de usos finales

74

Proyectos de infraestructura
Distribución, transporte, conversión y almacenamiento de H₂

1. Se centra en proyectos de >1 MW, incluida la puesta en marcha después de 2030, no se incluyen los proyectos de >1000 de pequeña escala ni las propuestas de proyectos

2. Incluye 9 proyectos de producción de hidrógeno en China sin uso final anunciado

Fuente: MCKinsey & Company

UNA OPORTUNIDAD PARA PERÚ

Los obstáculos que existen a nivel mundial se convierten en oportunidad para Perú, donde los costos de producción de electricidad son bajos y el potencial de generación a través de energía renovable es alto. La SPR – Sociedad Peruana de Energía Renovable evalúa a 22,500 MW el potencial en eólico y 25,000 MW el potencial en solar.

A nivel mundial, solamente el 5 % del hidrógeno se produce a partir de electrólisis del agua, adicionalmente la mayor parte de las plantas son alimentadas con electricidad de la red, la cual puede tener una alta huella de carbono debido al uso de plantas termoeléctricas. En el mundo, dos de las plantas más antiguas de hidrógeno verde, que actualmente siguen en operación, están en Zimbabwe (1975) y Perú. El propietario de la planta peruana es Industrias Cachimayo (filial del grupo Enaex), que inició su proceso de construcción en 1962 y funciona desde 1965 para la producción de amoníaco a partir de hidrógeno producido con electrólisis.

Durante varios años, Industrias Cachimayo ha podido abastecerse en energía desde una central hidroeléctrica cercana, produciendo hidrógeno verde. Es decir que Perú, a través de su industria, fue un precursor y ahora tiene la posibilidad de convertirse en un líder de la energía del futuro.

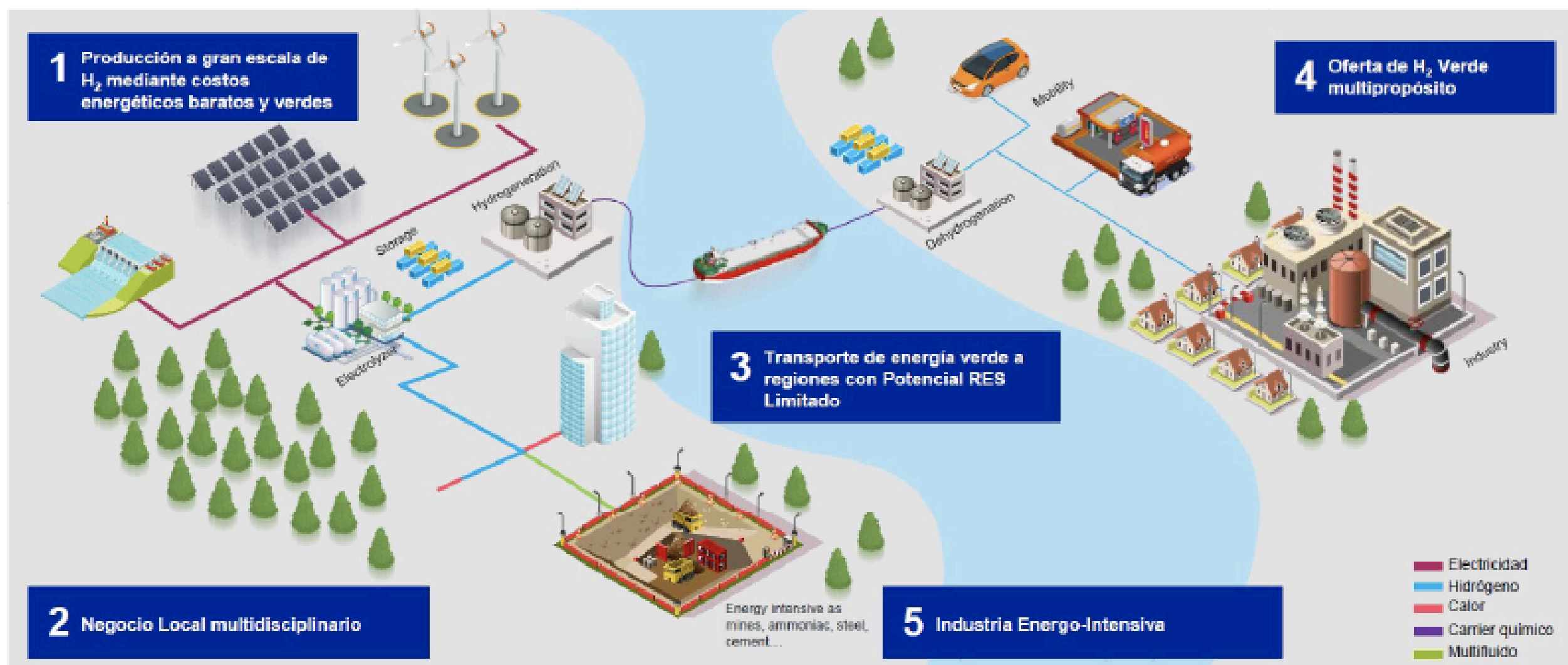
El hidrógeno verde ha sido integrado en enero 2022 dentro de las acciones prioritarias en el Decreto Supremo de Emergencia Climática N°003-2022-MINAM, en el que también se ha designado al Ministerio de Energía y Minas como responsable del diseño de programas de promoción para el uso y producción de hidrógeno, y al Ministerio de Transportes y Comunicaciones como responsable de la promoción del ingreso de vehículos eléctricos, híbridos y accionados con hidrógeno verde.

Durante 2023 se promovió en el Congreso de la República la Ley de Fomento del Hidrógeno Verde, la cual se aprobó en segunda votación en el mes de febrero de 2024. Es en ese sentido que el sábado 23.02.24 el Congreso de la República promulgó la Ley de Fomento del Hidrógeno Verde (Ley N° 31992), que tiene por objeto fomentar la investigación, el desarrollo, la producción, la transformación, el almacenamiento, el acondicionamiento, el transporte, la distribución, la comercialización, la exportación y el uso del hidrógeno verde como combustible y como vector energético, en sus diferentes aplicaciones.

El Perú tiene un alto potencial para ser un productor y exportador de hidrógeno verde a precios competitivos por la abundancia y calidad de sus recursos solar y eólico. La existencia de un mercado interno a mediano plazo (minería, siderurgia, acero, transporte, etc) y del potencial exportador abre las oportunidades a diversificación económica de las regiones donde sería interesante desarrollar plantas de H2V.

Una visión a largo plazo, sustentada por el estudio publicado por H2 Perú en el 2021

Las energías renovables baratas están impulsando la competitividad del hidrógeno verde como un vector energético limpio y flexible



Fuente: Engie Impact

UNA OPORTUNIDAD PARA PERÚ

El desarrollo de la cadena de valor a través de la investigación, innovación y capacitación de proveedores representa una oportunidad de desarrollo socioeconómico en regiones del país.

El gas natural disponible en Perú, además de su rol preponderante en la transición energética, dejará infraestructura de transporte y almacenamiento que podrán ser convertidas.

El desarrollo de la cadena de valor a través de la investigación, innovación y capacitación de proveedores representa una oportunidad de desarrollo socioeconómico en regiones del país.

H2 Perú está convencida de que el desarrollo de esta nueva industria podrá aportar nuevos empleos. Según estimaciones, el desarrollo de una industria del H2V tiene el potencial de generar como mínimo:

2020 – 2030: 22 mil empleos
2030 – 2040: 87 mil empleos
2040 – 2050: 94 mil empleos

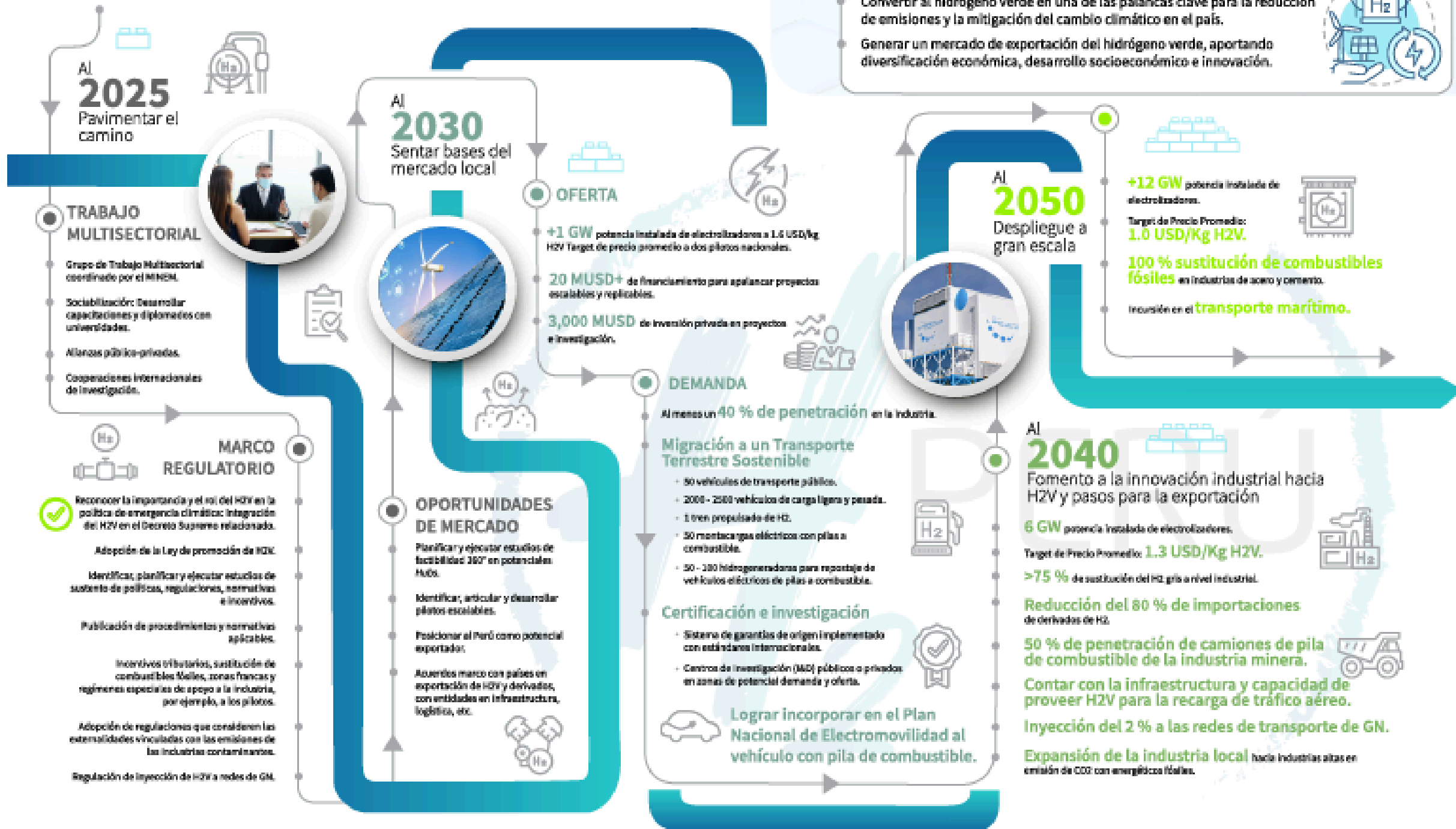
Además, contribuirá en la reducción de las emisiones de CO₂. Se estima que hasta 750 mil toneladas de CO₂ pueden ser abatidas anualmente para el año 2030. Por este motivo, H2 Perú ha publicado su propuesta de Ley de fomento del hidrógeno verde y hoja de ruta.



HOJA DE RUTA del Hidrógeno Verde en el Perú al 2050

VISIÓN PARA EL PERÚ 2050:

- Lograr un nivel alto de autosuficiencia en productos relacionados a H₂V, desarrollar la industria nacional y reemplazar dependencia de productos/insumos extranjeros.
- Convertir al hidrógeno verde en una de las palancas clave para la reducción de emisiones y la mitigación del cambio climático en el país.
- Generar un mercado de exportación del hidrógeno verde, aportando diversificación económica, desarrollo socioeconómico e innovación.



Al 2025
Pavimentar el camino

TRABAJO MULTISECTORIAL

- Grupo de Trabajo Multisectorial coordinado por el MINEM.
- Sociabilización: Desarrollar capacitaciones y diplomados con universidades.
- Alianzas público-privadas.
- Cooperaciones internacionales de investigación.

MARCO REGULATORIO

- Reconocer la importancia y el rol del H₂V en la política de emergencia climática: Integración del H₂V en el Decreto Supremo relacionado.
- Adopción de la Ley de promoción de H₂V.
- Identificar, planificar y ejecutar estudios de sustento de políticas, regulaciones, normativas e incentivos.
- Publicación de procedimientos y normativas aplicables.
- Incentivos tributarios, sustitución de combustibles fósiles, zonas francas y regímenes especiales de apoyo a la industria, por ejemplo, a los pilotos.
- Adopción de regulaciones que consideren las externalidades vinculadas con las emisiones de las industrias contaminantes.
- Regulación de inyección de H₂V a redes de GN.

Al 2030
Sentar bases del mercado local

OFERTA

- +1 GW potencia instalada de electrolizadores a 1.6 USD/kg H₂V. Target de precio promedio a dos pilotos nacionales.
- 20 MUSD+ de financiamiento para apalancar proyectos escalables y replicables.
- 3,000 MUSD de inversión privada en proyectos e investigación.

DEMANDA

Al menos un 40 % de penetración en la industria.

Migración a un Transporte Terrestre Sostenible

- 50 vehículos de transporte público.
- 2000 - 2500 vehículos de carga ligera y pesada.
- 1 tren propulsado de H₂.
- 50 montacargas eléctricos con pilas a combustible.
- 50 - 100 hidrogenadoras para repostaje de vehículos eléctricos de pilas a combustible.

Certificación e investigación

- Sistema de garantías de origen implementado con estándares internacionales.
- Centros de investigación (I+D) públicos o privados en zonas de potencial demanda y oferta.

Lograr incorporar en el Plan Nacional de Electromovilidad al vehículo con pila de combustible.

OPORTUNIDADES DE MERCADO

- Planificar y ejecutar estudios de factibilidad 360° en potenciales H₂V.
- Identificar, articular y desarrollar pilotos escalables.
- Posicionar al Perú como potencial exportador.
- Acuerdos marco con países en exportación de H₂V y derivados, con entidades en infraestructura, logística, etc.

Al 2050
Despliegue a gran escala

+12 GW potencia instalada de electrolizadores.

Target de Precio Promedio: 1.0 USD/Kg H₂V.

100 % sustitución de combustibles fósiles en industrias de acero y cemento.

Inclusión en el transporte marítimo.

Al 2040

Fomento a la innovación industrial hacia H₂V y pasos para la exportación

6 GW potencia instalada de electrolizadores.

Target de Precio Promedio: 1.3 USD/Kg H₂V.

>75 % de sustitución del H₂ gris a nivel industrial.

Reducción del 80 % de importaciones de derivados de H₂.

50 % de penetración de camiones de pila de combustible de la industria minera.

Contar con la infraestructura y capacidad de proveer H₂V para la recarga de tráfico aéreo.

Inyección del 2 % a las redes de transporte de GN.

Expansión de la industria local hacia industrias altas en emisión de CO₂ con energéticos fósiles.



Asociación Peruana
de Hidrógeno

 h2.pe

 [@H2 Perú](https://www.linkedin.com/company/h2-peru)

 [@h2_peru](https://twitter.com/h2_peru)

 contacto@h2.pe

¡Juntos, impulsamos la energía del futuro!