



Movilidad Con Hidrógeno

Contenido

- ¿Qué es el hidrógeno?
- ¿Cómo se produce el hidrogeno verde?
- Tipos de hidrógeno
- ¿Cómo se produce el hidrógeno?
- Aplicaciones en evolución
- Conceptos clave del H2 verde
- ¿Cómo se almacena el hidrógeno?
- ¿Qué aplicaciones tiene el hidrógeno?
- ¿Qué es y como funcionan las hidrogeneras?
- Los vehículos de Hidrogeno
- Colombia hacia la transición energética
- Conclusiones



¿QUÉ ES EL HIDRÓGENO?



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 y es estable en forma de molécula diatómica (H_2).

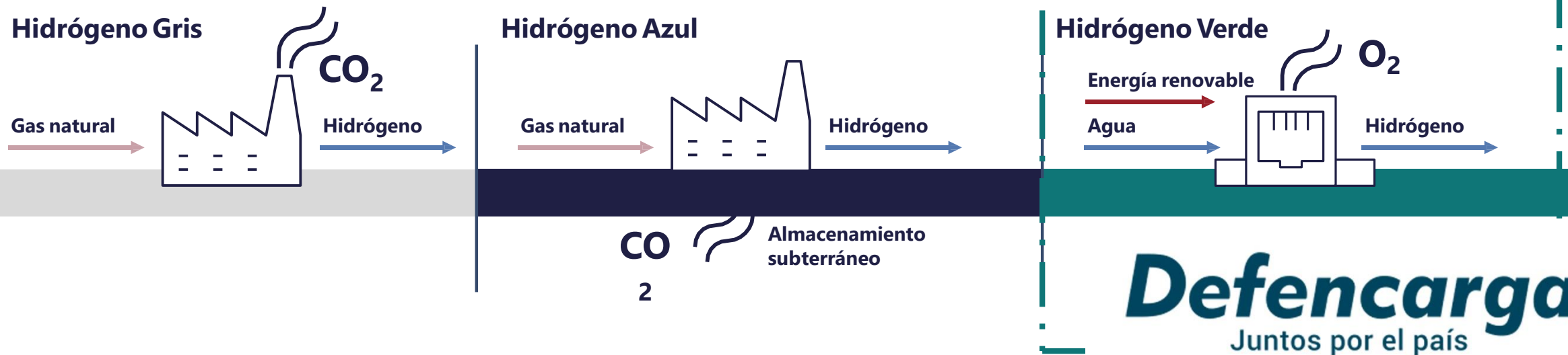
En condiciones normales se encuentra en estado gaseoso, y es insípido, incoloro e inodoro.

En la Tierra es muy abundante, constituye aproximadamente el 75 % de la materia del Universo, pero se encuentra combinado con otros elementos como el oxígeno formando moléculas de agua, o al carbono, formando compuestos orgánicos. Por tanto, no es un combustible que pueda tomarse directamente de la naturaleza, sino que es un vector energético (como la electricidad) y por ello se tiene que “fabricar.”

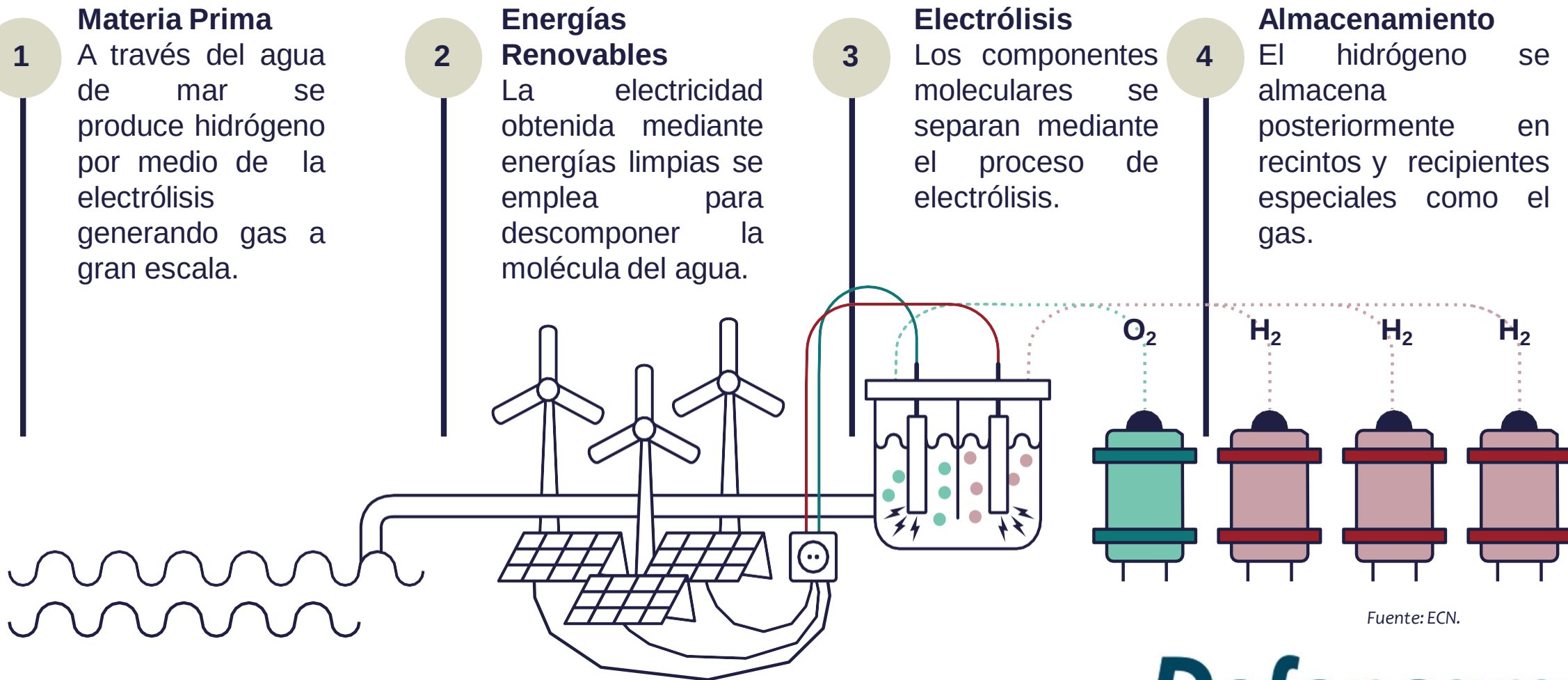
¿QUÉ ES EL HIDRÓGENO?



- El hidrógeno se puede obtener a partir del gas natural (llamado hidrógeno gris y azul) o del agua.
- La molécula de H_2 tiene alta densidad energética por unidad de masa (3 veces más que la gasolina y 120 veces más que las baterías de litio).



¿Cómo se produce el H2 verde?



Fuente: ECN.

Tipos de hidrógeno



Hidrógeno gris, verde y azul.
¿Sabe qué son y para qué sirven?

- ☐ **Hidrógeno gris:** Aquel que se obtiene a partir de combustibles fósiles, como el gas natural y el carbón.
- ☐ **Hidrógeno azul:** Aquel que se obtiene también a partir de combustibles fósiles, pero sin liberación de dióxido de carbono (CO₂).
- ☐ **Hidrógeno verde:** Aquel que se obtiene de fuentes no convencionales de energía renovable, como la biomasa, la energía eólica, la solar y el calor geotérmico, entre otras.

H₂

HIDRÓGENO NEGRO

se produce a partir de combustibles
no renovables

H₂

HIDRÓGENO MARRÓN

producido a partir de la
gasificación del carbón

H₂

HIDRÓGENO GRIS

producido a partir de gas natural

H₂

HIDRÓGENO AZUL

producido a partir de gas natural
con la tecnología CAC

H₂

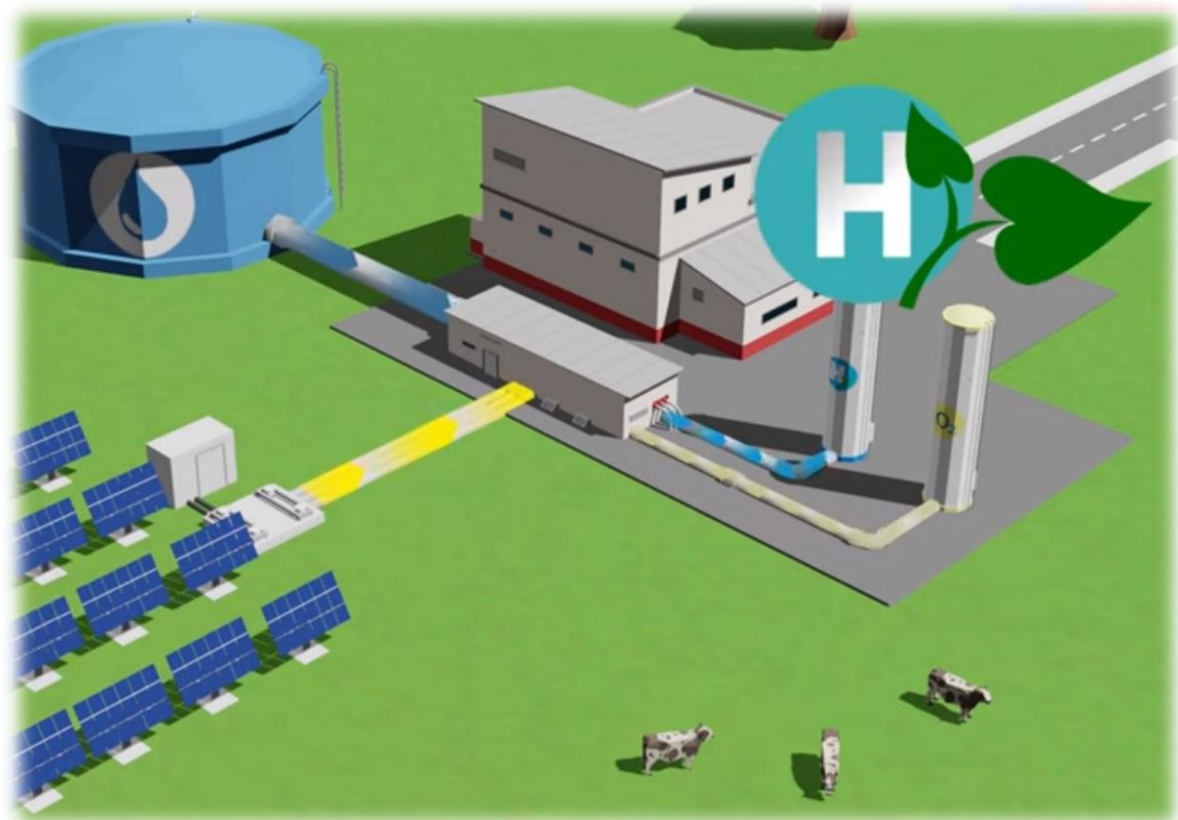
HIDRÓGENO VERDE

producido a partir de la electrólisis
con fuentes de energía renovables

Generan
emisiones de CO₂

Prácticamente
neutro en
emisiones de CO₂

Limpio de emisiones



Defencarga
Juntos por el país

¿CÓMO SE PRODUCE EL HIDRÓGENO?

Existen distintos métodos de producción de hidrógeno. Se puede producir a partir de distintas materias primas, distintas fuentes de energía y por distintos procedimientos.

Según sean la materia prima y la fuente energética utilizada para producirlo se podrá hablar de procesos 100% renovables, 100% fósiles o híbridos en un determinado porcentaje.



El hidrógeno puede ser producido localmente, en grandes instalaciones centrales o en pequeñas unidades distribuidas ubicadas en o cerca del punto de uso. Esto significa que todas las zonas, incluso áreas remotas, puedan convertirse en productores de energía.

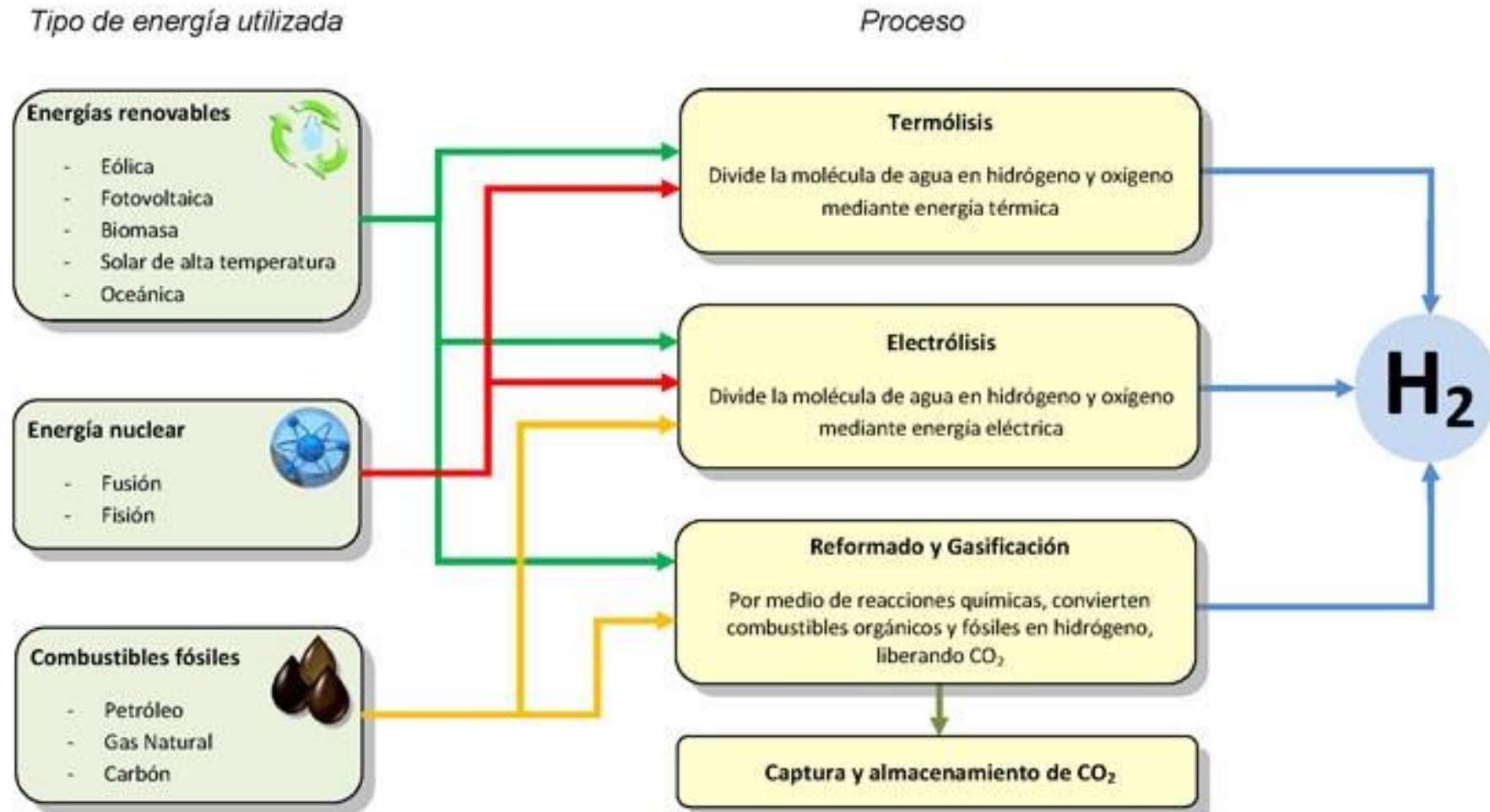
¿CÓMO SE PRODUCE EL HIDRÓGENO?

Cuando el hidrógeno es producido usando fuentes de energía renovables y se aprovecha para la alimentación eléctrica de las pilas de combustible de alta eficiencia, los beneficios medioambientales del hidrógeno son aún mayores. Además, el hidrógeno puede ser producido y almacenado utilizando los excedentes de energía producida por las energías renovables, como la solar, la eólica, la hidráulica.



Un kilogramo de hidrógeno puede liberar más energía que un kilogramo de cualquier otro combustible (casi el triple que la gasolina o el gas natural), y para liberar esa energía no emite nada de dióxido de carbono, tan sólo vapor de agua, por lo que el impacto ambiental es nulo.

¿CÓMO SE PRODUCE EL HIDRÓGENO?



Aplicaciones en evolución

Hoy: materia prima

Refinación

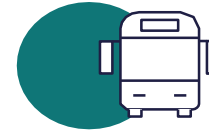


Químicos



70 Mton anuales

Nuevos: energía + materia prima



Transporte

Tren, buses, ferry, camiones, barcos.



Calor y potencia para edificios



Calor y potencia para industria



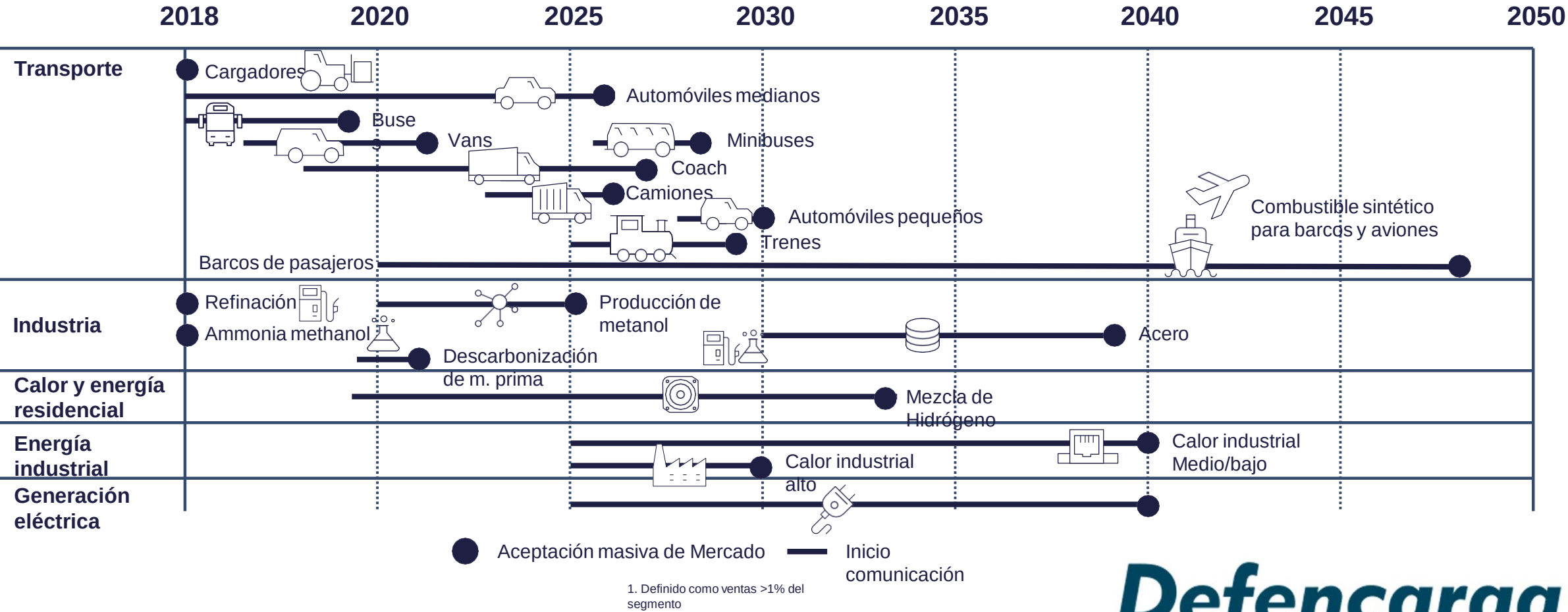
Materia prima para industria

Amoníaco, metanol, acero.

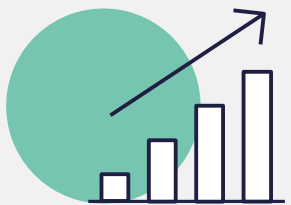
¿X.000? Mton anuales

Aplicaciones del hidrógeno están cerca de desarrollarse masivamente, transporte será la próxima oleada

(Fuente: McKinsey & Co)



Conceptos clave del H2 verde



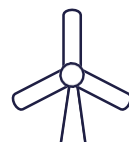
Significaría hasta 500 *billion* US\$ en inversión global al 2030

Se reemplazan importaciones por producción local



Requiere **relativamente poca agua**

Menos del 1% del agua que usa la minería podría reemplazar todo su consumo de diésel.



Costo depende principalmente de la **energía renovable**

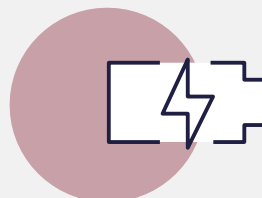
Entre 50 y 80% del costo del hidrógeno corresponde al suministro eléctrico



Igual o más seguro que otros combustibles usados actualmente



Solo emite **vapor de agua** en su uso



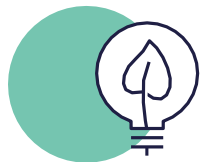
Mayor densidad energética que las baterías de litio

Complementariedad para otras soluciones limpias

Defencarga
Juntos por el país

El desarrollo del hidrógeno verde se está acelerando

(Fuente: McKinsey & Co)



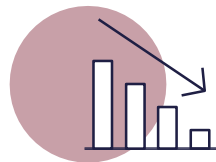
Limitaciones a las emisiones de carbono

185

Países ratificaron el acuerdo de París

0

Emisiones netas se necesitan al 2050 para limitar el calentamiento global a 1.5°.



Reducción de costos de ER* y electrólisis

-80%

Disminución de costos de energía solar desde 2010.

7,5-15 GW

Capacidad de electrólisis anunciada, objetivo de 2x40 GW en Europa al 2030.



Estrategias internacionales de incentivo

7 millones

Autos con celdas de hidrógeno al 2030 en China, Japón, EEUU y Corea.

8.500

Estaciones de carga de hidrógeno al 2030 en China, Japón, EEUU y Corea.

(*) ER: Energía Renovable

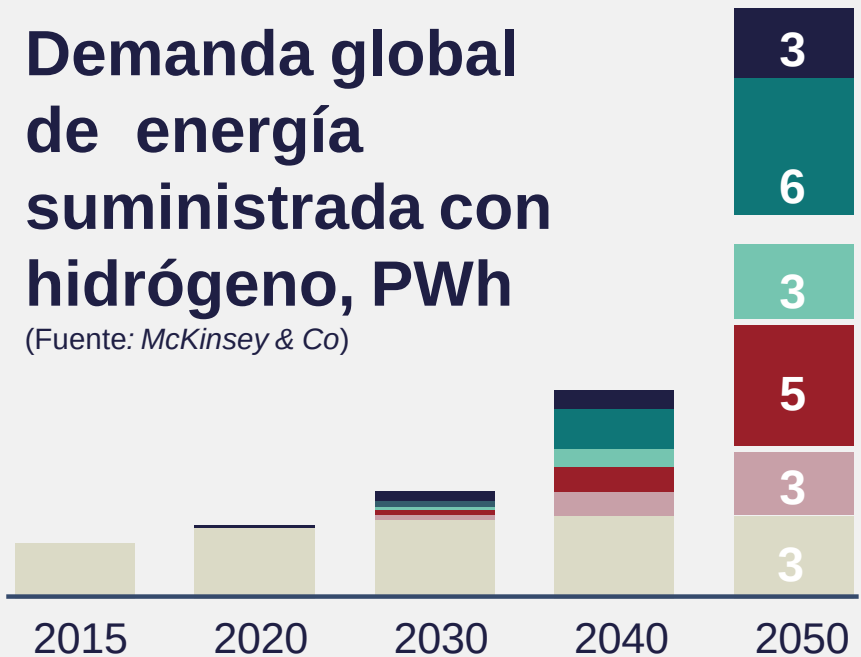
Defencarga
Juntos por el país

En un mundo descarbonizado, la demanda de hidrógeno podría crecer hasta 10 veces



Demanda global de energía suministrada con hidrógeno, PWh

(Fuente: McKinsey & Co)



Generación,
almacenamiento



Transporte



Calefacción
residencial y
energía



Industria



Nuevos usos



Usos existentes

Al 2050:

18%

demanda final
de energía

6 Gt

abatimiento
anual de CO₂

\$2.5tn

ventas anuales
(hidrógeno y
equipos)

30 m

creación de
empleos

Defencarga
Juntos por el país

¿CÓMO SE ALMACENA EL HIDRÓGENO?

Una de las aplicaciones más importantes del hidrógeno es su uso como almacenamiento de energía, éste es un punto clave para su introducción en el mercado y uno de los principales valores y ventajas que tiene como vector energético.

El hidrógeno se caracteriza por tener una alta densidad energética por unidad de masa pero su mayor problema es que ocupa mucho volumen.

Por esta razón existen diferentes formas de almacenamiento en diferente grado de desarrollo, entre ellos:



¿CÓMO SE ALMACENA EL HIDRÓGENO?

Almacenamiento a presión:

Normalmente se almacena a una presión entre 200-350 bar en tanques o cilindros de acero. Como la cantidad de hidrógeno almacenado depende de la presión-cuanto mayor es la presión, más gas hidrógeno se almacena-, hoy en día se está trabajando en el desarrollo de materiales, como la fibra de carbón o aluminio, que tengan la capacidad de soportar una presión de hasta 700 bar. Este aspecto es especialmente importante para la aplicación en transporte.



Almacenamiento líquido:

El hidrógeno pasa al estado líquido a una temperatura inferior a $-235\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se utilizan tanques especiales («criogénicos»), que es necesario enfriar para mantener las bajas temperaturas interiores que se requieren. Este sistema sólo es utilizado cuando se necesita maximizar la capacidad de almacenamiento en un espacio reducido (por ejemplo, en algunas aplicaciones de transporte).



¿CÓMO SE ALMACENA EL HIDRÓGENO?

Hidruros metálicos:



Diversos metales forman compuestos con el hidrógeno, conocidos como hidruros. La formación de estos compuestos es reversible, de forma que es posible volver fácilmente a tener el hidrógeno y el metal inicial. Este sistema ofrece una alta capacidad de almacenamiento y presenta diversas ventajas de seguridad y manipulación (almacenamiento sólido a presión y temperatura ambiente) frente a otros sistemas. Sus principales desventajas son el elevado peso de los equipos y su alto precio.

Nanotubos de carbono:

Son estructuras de grafito, en forma de hexágonos de carbono, que se disponen formando tubos de diámetro muy pequeño (nanotubos), dentro de los cuales puede almacenarse gran cantidad de hidrógeno. Los investigadores están desarrollando diversos procedimientos y, aunque aún hay disparidad en los resultados, todos coinciden en el gran potencial del sistema.



¿QUÉ APLICACIONES TIENE EL HIDRÓGENO?

El hidrógeno se ha utilizado con seguridad durante muchas décadas en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo las industrias de la alimentación, metal, vidrio y química. La industria mundial del hidrógeno está bien establecida y produce más de 50 millones de toneladas de hidrógeno al año.

Con respecto a la energía, el hidrógeno puede ser utilizado como combustible para el transporte, y para generar electricidad mediante pilas de combustible.

Un kilogramo de hidrógeno libera más energía que cualquier otro combustible (casi el triple de la gasolina o gas natural), y para liberar esa energía no emite dióxido de carbono, sólo vapor de agua, por lo que el impacto ambiental es nulo.

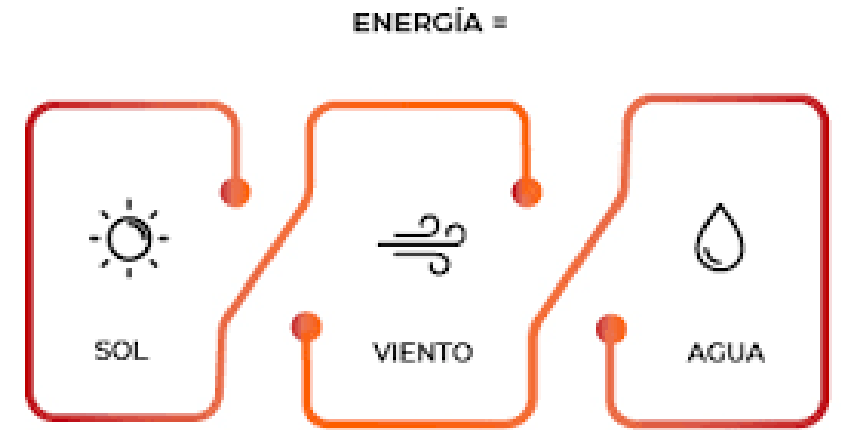
Un vehículo de motor de combustión interna de hidrógeno (MCI) utiliza un motor de combustión interna convencional modificado para la combustión de hidrógeno gaseoso. Los vehículos de MCI de hidrógeno son un 30% más eficientes comparados con los vehículos de gasolina, y funcionan bien en todas las condiciones climáticas, incluso a bajas temperaturas.

¿Qué es y cómo funcionan las hidrogeneras?

Las hidrogeneras o estaciones de hidrógeno son estaciones de servicio que surten combustible a vehículos de hidrógeno. Abastecen combustible al igual que lo hacen las gasolineras o las electrolineras. Los vehículos impulsados por hidrógeno poseen una autonomía mayor que los eléctricos y se recargan antes. Por estos motivos, empresas y gobiernos apuestan por esta energía en el sector del transporte de mercancías y pasajeros.

El repostaje en una hidrogenera sigue un proceso muy similar al del los combustibles convencionales, a diferencia de que el hidrógeno es suministrado a alta presión. Se detiene el vehículo ante el surtidor y se conecta el dispensador (a través de una pistola) a la conexión del vehículo de manera estanca. Puede accionarse con el gatillo de una pistola o girando una llave.

La capacidad máxima del tanque en un vehículo convencional es de unos 5 kilos y no suele tardarse más de 5 minutos en llenar este depósito. Al medirse en kilos, el precio se expresa en €/kg.



Los vehículos de hidrógeno

Los vehículos de hidrógeno son coches que funcionan con un motor eléctrico pero que se diferencian de los eléctricos convencionales por generar la electricidad a partir de la reacción química que se da entre el hidrógeno y el oxígeno en la pila de combustible (un tipo de batería especial que está completamente desarrollada desde hace años).

Su huella en el medio ambiente es invisible ya que solo emiten vapor de agua, su repostaje no dura más de cinco minutos y su autonomía es similar a la de los combustibles fósiles.

Estos vehículos cuentan con ventajas como las siguientes:

- Se reducen las emisiones al máximo.
- El repostaje es similar a otros combustibles.
- No es necesario conectarlos a una red.
- Cuentan con más autonomía.
- La dependencia de la batería es menor.
- Estos vehículos se recargan en estaciones de servicios con hidrógeno, conocidas como hidrogeneras.

Los vehículos de hidrógeno

Esta tecnología ha evolucionado mucho durante los últimos años e incluso ha conseguido captar la atención de varias marcas como Toyota, Hyundai, Peugeot, BMW o Land Rover que ya están desarrollando vehículos propulsados por hidrógeno y en algunos casos ya son una realidad.



Algunas de las mayores economías del mundo están adoptando con entusiasmo las pilas de combustible y los vehículos de hidrógeno en 2022 como forma de reducir sus emisiones de carbono y eliminarlas por completo algún día. A continuación, algunos ejemplos de iniciativas recientes de descarbonización en todo el mundo.

Japón está impulsando con fuerza una sociedad basada en el hidrógeno. El país creó su estrategia básica en 2017, y al año siguiente acogió la reunión ministerial de la energía del hidrógeno entre los gobiernos interesados. El Toyota Mirai es el primer vehículo eléctrico de pila de combustible (FCEV) disponible comercialmente en el mundo, y Japón cuenta actualmente con la mayor instalación del mundo para producir H₂ utilizando energía renovable: el Fukushima Hydrogen Energy Research Field (FH₂R).



Corea del Sur y Hyundai tienen la visión de alcanzar los 2,9 millones de FCEV “Vehículo de celda de combustible” en 2040. El consorcio HyNet del país tiene previsto construir 100 nuevas estaciones de repostaje de hidrógeno para el año que viene.

La estrategia nacional de Alemania cuenta con un plan de acción de 38 medidas que el país y la Unión Europea adoptarán para finales de 2023. El país cuenta actualmente con 90 estaciones de servicio de hidrógeno – la segunda red más grande después de las 135 de Japón – y hay más en curso.



El plan de China para una economía del hidrógeno incluye más de un millón de FCEV y 1.000 estaciones de repostaje de hidrógeno para 2030.



España ha aprobado en 2020 la “Hoja de Ruta del Hidrógeno: una apuesta por el hidrógeno renovable”. La Hoja de Ruta plantea objetivos nacionales de fomento del hidrógeno renovable a 2030 y, en base a los mismos, diseña una visión a 2050, cuando España habrá de alcanzar la neutralidad climática y contar con un sistema eléctrico 100% renovable. Un 25% del consumo de hidrógeno industrial será de origen renovable en 2030. En cuanto a movilidad, para 2030, se plantea una flota de al menos 150 autobuses; 5.000 vehículos ligeros y pesados; y 2 líneas de trenes comerciales propulsadas con hidrógeno renovable.

Vehículos livianos de pasajeros con celdas de combustible de hidrógeno

El hidrógeno para el transporte es una gran alternativa en vehículos eléctricos livianos de pasajeros, otorgándoles autonomías equivalentes a los vehículos convencionales. El principal desafío es poder bajarle los costos a los modelos.



Especificaciones técnicas Hyundai Nexo

- Autonomía de 756 km por carga de combustible.
- Capacidad de almacenamiento de 6,33 kg de H₂.
- Celdas de combustible de 95 kW.
- Velocidad máxima de 179 km/h.

Buses con celdas de combustible de hidrógeno

Los buses de transporte de pasajeros son un nicho para la tecnología de celdas de combustible de hidrógeno. Este tipo de operación requieren de mucha energía ya que recorren grandes distancias y están muchas horas en operación continua.



Fuel Cell Buses de Alameda Contra Costa Transit District

- Celdas de combustible de 120 kW.
- Autonomía de 350 – 390 km por carga completa de combustible.
- Longitud de 12 metros.
- Capacidad de almacenamiento de 40 kg H₂.
- Tiempo de carga de 7 minutos, aproximadamente.

Furgones de carga liviana con celdas de combustible de hidrógeno

El desarrollo del hidrógeno no deja fuera los vehículos comerciales y de reparto. La tecnología de FCEV permite operar sin problemas de autonomía distancias más largas, transportar cargas más pesadas y realizar más viajes al día.



Fuel Cell Furgones de DHL, Alemania

Especificaciones técnicas:

- Celdas de combustible de 26 kW.
- Autonomía de 500 km por carga de combustible.
- Capacidad de almacenamiento de 6 kg de H₂.
- Velocidad máxima de 120 km/h.

Camiones para carga pesada con celdas de combustible de hidrógeno

Los vehículos de alto tonelaje como camiones son los que, se espera, logren los mayores beneficios del uso de la energía del hidrógeno. Los camiones con las celdas de combustible podrían cumplir funciones similares a los camiones de combustión interna.



Fuel Cell Camiones de Hyundai

Especificaciones técnicas modelo actual:

- Dos sistemas de celdas de combustible de 95 kW en paralelo (190 kW en total).
- Autonomía de 400 km por carga de combustible
- Longitud de 9 metros
- Tiempo de carga de 9 minutos

Montacargas h2, un ejemplo de uso en otras categorías

Los montacargas o grúas horquilla, son vehículos de alta demanda operacional, que a pesar de su reducido tamaño tienen grandes requerimientos energéticos.



Resultados de la implementación de Walmart:

- Reducción de costos operacionales de \$260.000 [USD/año]
- Disminución de emisiones de gases efecto invernadero en 530 ton CO₂ al año
- Aumento de la eficiencia en los procesos productivos de un 60%

Colombia hacia la transición energética

La transición energética se ha convertido en el tema central de los debates sobre el futuro de la energía global; es por esto que Colombia, de la mano de sus empresas de hidrocarburos, ha comenzado un acelerado proceso en la implementación de los pilotos de hidrogeno.



Nuestros objetivos a 2030

Producción

Hidrógeno verde



1 – 3 GW

Capacidad de electrólisis.
Entre 1,5-4GW de FNCER.



1,7 USD/kg
LCOH verde

Hidrógeno azul



50 kt H₂ – 2,4 USD/kg
Producción de hidrógeno azul
*Plantas nuevas

Demanda

Transporte



1.500 – 2.000
Vehículos
ligeros de pila
de combustible



1.000 – 1.500
Vehículos
pesados de pila
de combustible



50 – 100
Hidrogeneras
de acceso
público

Industria



40% H₂ de bajas emisiones
(verde y azul) sobre el
consumo total de H₂ en la
industria

Colombia hacia la transición energética

Dentro de la hoja de ruta del hidrógeno, el Gobierno de Colombia espera que para 2030 se proyecte y desembolse aproximadamente US\$2.500 millones para inversiones que ayuden al desarrollo, generación y uso de este energético.



Dentro de los objetivos que se tienen trazados y que había anunciado el Ministro de Minas y Energía, Diego Mesa, está que se pueda cubrir la oferta y demanda al final de la década, “El hidrógeno verde complementará la transición energética de Colombia aprovechando las energías renovables, tanto convencionales como no convencionales, así como el salto histórico está dando el país en la rápida incorporación de energía eólica y solar”.

Defencarga
Juntos por el país

Colombia hacia la transición energética

De igual manera, el hidrógeno verde, con un potencial de más de tres gigavatios de solo en la Guajira, representa grandes oportunidades económicas y de desarrollo para Colombia en aplicaciones que van desde el uso de este vector, energético en procesos de refinación, transporte de gas, movilidad sostenible y producción de insumos agrícolas.

Adicionalmente, hay un gran potencial de exportación en el mediano y largo plazo que le permitiría a Colombia posicionarse en los mercados asiáticos, europeos y norteamericanos, aprovechando su ubicación privilegiada de acceso a los océanos Pacífico y Atlántico, y su cercanía al Canal de Panamá.



Además, se estima que a través del hidrógeno, Colombia podría desarrollar nuevas cadenas de valor que impulsarán la economía y crearán empleo de alta calidad, movilizando un estimado de US\$5.500 millones y la creación de cerca de 15.000 empleos durante la década entre 2020 y 2030.

Defencarga
Juntos por el país

Colombia hacia la transición energética

Conclusiones

En conclusión, el hidrógeno azul haría posible una descarbonización temprana de determinadas aplicaciones industriales, disponiendo de una ventana de oportunidad de corto-medio plazo. Resultaría una alternativa de bajas emisiones para la transición progresiva de los sectores mineros y gasistas del país a la vez que se aprovechan las grandes reservas de gas y carbón y el know-how experto de la industria colombiana. El hidrógeno azul serviría de base para iniciar la ampliación de la cadena de valor del hidrógeno en Colombia hasta el desarrollo competitivo a gran escala del hidrógeno verde.



Entre 2030 y 2040, se espera la coexistencia del hidrógeno azul y verde según el recurso natural disponible para su producción en cada región de Colombia. A partir de 2040, el hidrógeno verde se impondría como la alternativa más competitiva en todo el territorio colombiano. En cuanto a emisiones abatidas, la demanda energética abastecida por hidrógeno verde o azul representaría el 9,6% de la demanda energética total a 2050. Esto supondría un potencial de reducción de emisiones de 38 Mt de CO2 anuales respecto al valor de 2020 que ayudaría a Colombia en sus metas de descarbonización.

