

# HIDRÓGENO VERDE

Desarrollo de una propuesta  
de estrategia para impulsar  
el mercado en Chile

## Hidrógeno Verde – Oportunidad para Chile

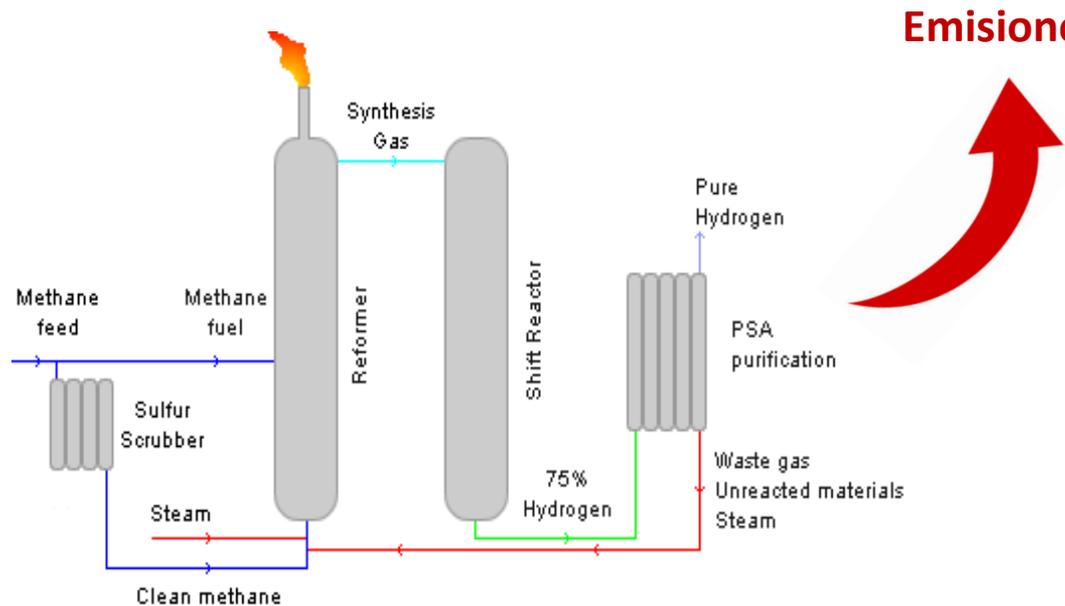


COMITÉ SOLAR  
E INNOVACIÓN ENERGÉTICA



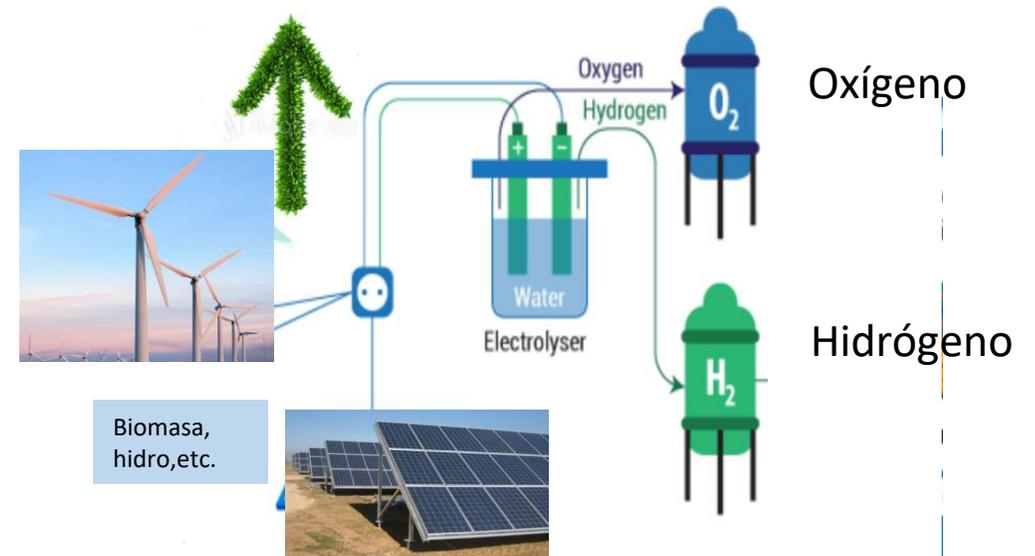
# Producción de H2

Hoy día, más del 90% del hidrógeno a nivel mundial se produce a través de combustibles fósiles (96%)



Solo un 4% aproximadamente se produce mediante **Electrólisis**

Sin emisiones CO2 (al ser basado 100% en ERNC)



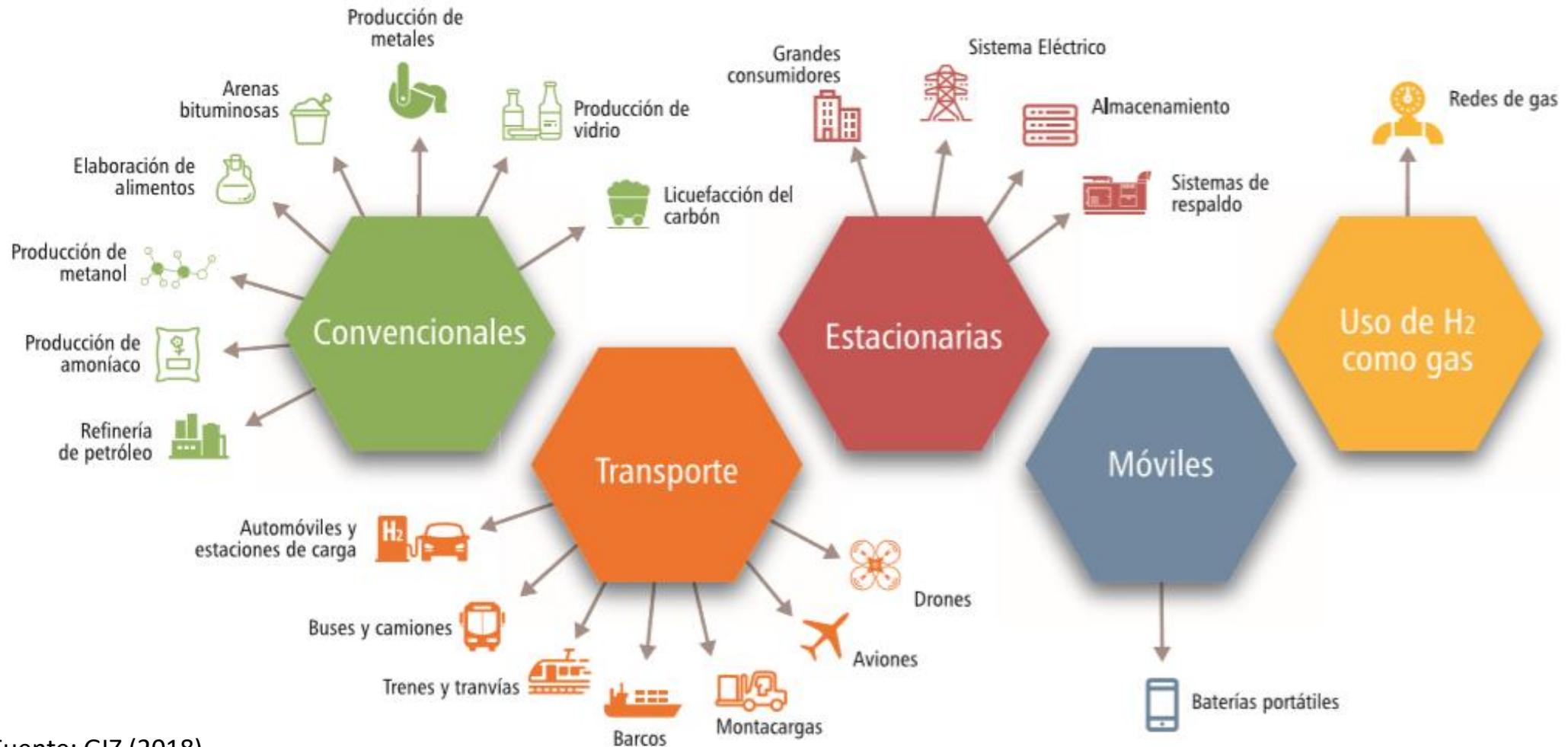
“Hidrógeno verde se refiere al hidrógeno generado por **energía renovable**”

(Basado en CertifHy, 2019)

Producción actual a nivel global: > 80 MMt/año aprox. (IRENA 2018)

# ¿Para qué sirve el hidrógeno?

## Principales Usos:

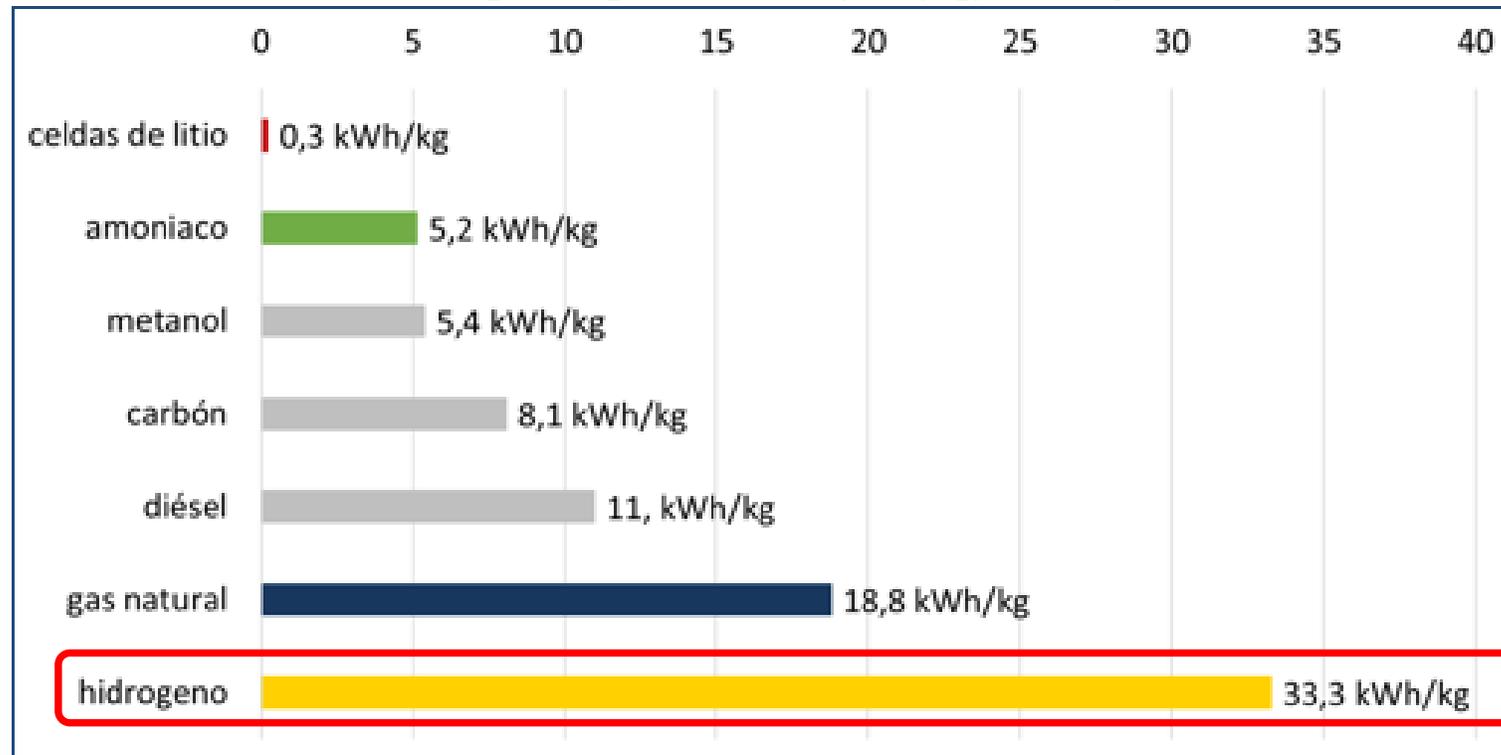


Fuente: GIZ (2018).

## Algunas ventajas del Hidrógeno Verde:

- Características físicas: Alto valor calorífico gravimétrico (3 veces más que el diésel)
- Reduce a 0 las emisiones de GEI

Ilustración 3 Densidades energéticas gravimétricas (kWh/kg) en comparación (poder calorífico inferior)

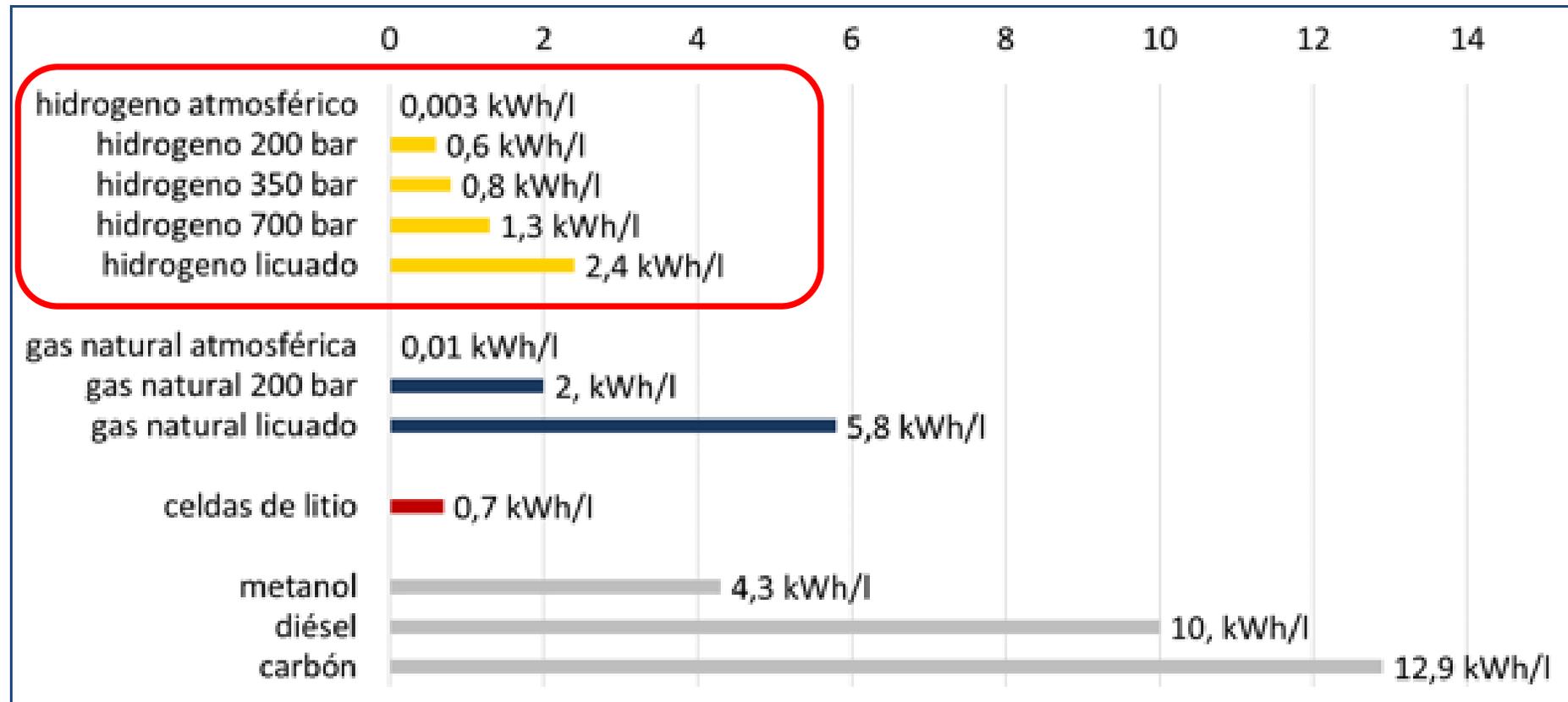


Fuentes: Lehmann 2014, p. 75; Fraunhofer ISI, 2015 p. 11.

## Algunas desventajas del hidrógeno verde:

- Bajo valor calorífico volumétrico
- Aún existe una brecha de precios con combustibles fósiles

Ilustración 4 Densidades energéticas volumétricas (kWh/l) en comparación (poder calorífico inferior)



Fuente: Lehmann 2014, p. 75; Fraunhofer ISI, 2015 p. 11.

OPINIÓN |

## Chile: a la vanguardia contra el cambio climático



La Tercera

recientemente anunció que alcanzará la neutralidad de carbono para el 2050

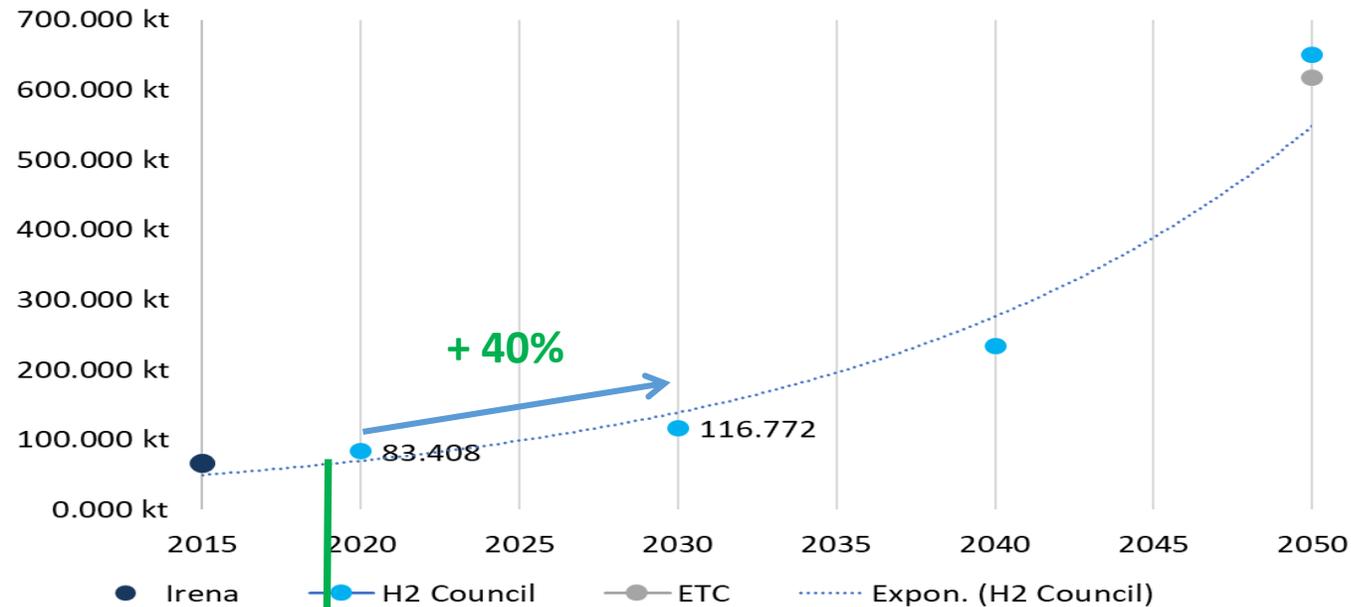


LA ACCIÓN CLIMÁTICA DEPENDE DE TODOS

EL TIEMPO DE ACTUAR  
ES AHORA

# H2: Tendencia mercado global

## Dimensionamiento de oportunidad de mercado internacional



Fuentes: IRENA 2018; Hydrogen Council 2017; ETC 2018.

En Chile: 58.500  
t H2/año

- **Demanda actual** de hidrógeno **mundial**: alrededor de **8 EJ**, equivalente a más de **66 MMt** (IRENA 2018)
- Según estimaciones del Hydrogen Council, esta **demanda crecerá un 40% hasta 2030**
- El Hydrogen Council prevee mercado global para el hidrógeno y tecnologías del hidrógeno con **ingresos** de más de **2.5 trillones USD/año** y **empleos** para **más de 30 millones de personas** (Hydrogen Council, 2017)

# Estrategias de otros países

A nivel mundial, varios países están desarrollando estrategias para aprovechar esta oportunidad de mercado de hidrógeno verde

**Francia:** producción de H2 verde para industria y tecnología complementaria para transporte

- 50.000 vehículos ligeros al 2028 y 1.000 hidrolineras
- 20%-40% de H2 verde en la industria al 2028

**Alemania:** foco en tecnologías de transporte (fuel cells) y almacenamiento energético (P2G)

**Japón:** „sociedad del H2“: aplicación en sector de movilidad; tecnologías para exportación; uso residencial e industrial:

- 900 estaciones de carga al 2030
- 800.000 vehículos
- 5,3 MM viviendas con calefacción a H2

**EE.UU. (California):** estrategia focalizada en transporte:

- 1 MM de vehículos al 2030 con H2
- 33% de estos, H2 verde

**Australia :** foco en producción de H2 verde para exportación

- Almacenamiento de H2 verde
- Descarbonización del sector transporte mediante fuel cells H2 verde

**Corea del Sur:** foco en fabricación de fuel cells, exportación y adaptación de tecnología en sector de transporte:

- 41.000 buses al 2040

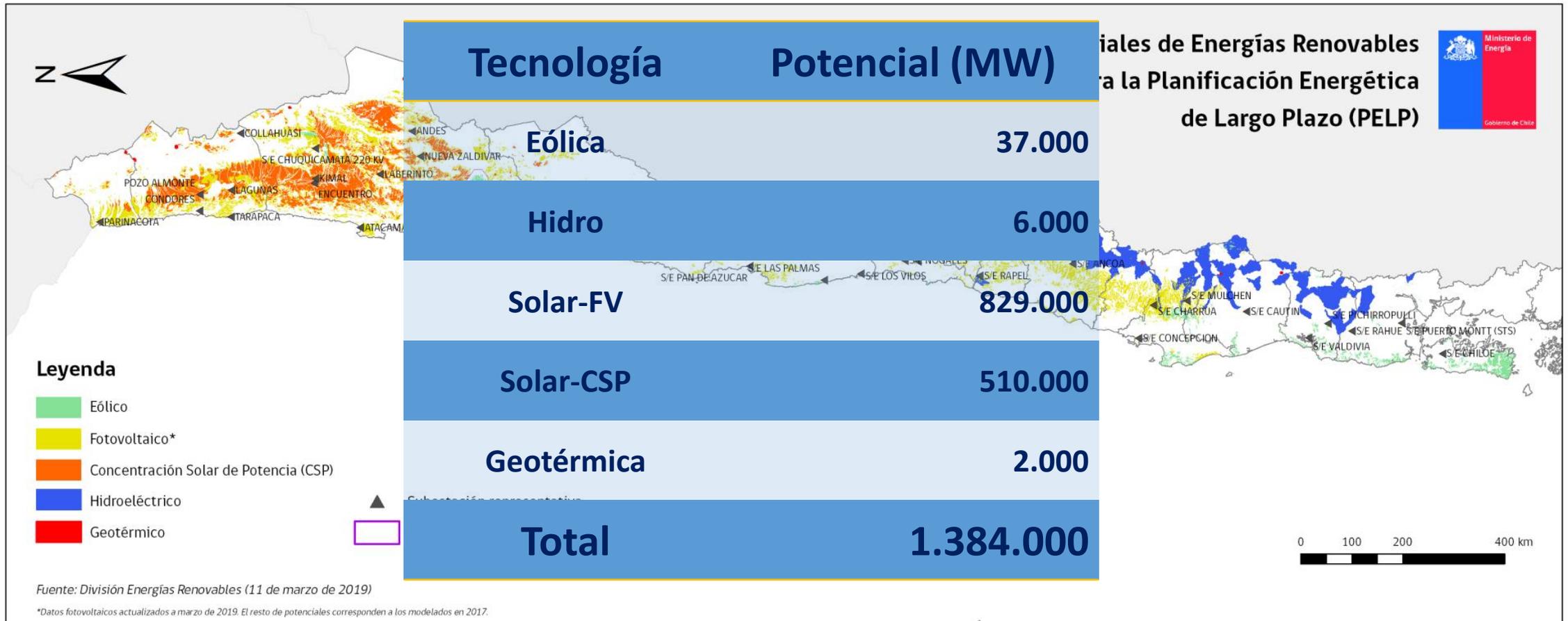
---

# ¿Por qué H2 verde en Chile?



# Energía Renovable en Chile

Chile es líder mundial en cuanto al potencial de Energía Renovable que puede servir para producir H2 verde. Potencial total asciende a 1.384.000 MW



Chile tiene un potencial solamente de **energía solar de 1.340 GW** (actualmente instalado: casi 2,4 GW)

- 25-30 GW adicionales para suplir demanda interna de electricidad al 2046 (*Fuentes: Ministerio de Energía, PELP 2017 y CEN 2019.*)
- 200 GW para suministrar el 30% de la demanda de América del Sur al 2030 (*Fuente: SERC Chile*)
- 2,5 GW = potencia necesaria para suministrar el 30% de la demanda de hidrógeno de Japón al 2030 (*Fuente: Comité Solar Universidad Sapienza de Roma, 2018.*)

**Con ésto, aún nos queda más del 80% del potencial solar de Chile disponible sin aprovechar!**



Fuente: Cerro Dominador



Fuente: El Romero



Viernes, 24 de mayo de 2019 | 14:50

## Hidrógeno verde: una oportunidad para la transformación productiva de Chile

Esto permitiría exportar la enorme capacidad solar del Desierto de Atacama con un fuerte impacto en el crecimiento de Chile. No ocurrirá sin coordinación público-privada.

(El Mercurio)

## „Hidrógeno es el petróleo del Futuro“

(Die ZEIT, Alemania)

**The green hydrogen revolution has started, and it won't be stopped**  
*La revolución del hidrógeno verde comenzó y no será detenida*

(World Economic Forum)

**PRODUCIDO CON ENERGÍAS RENOVABLES:**

## Hidrógeno cero emisiones despierta alto interés en la industria chilena

Chile puede ser un protagonista en la producción de hidrógeno verde con energías renovables, lo que conviene a este elemento en un atractivo producto de exportación que podría ser sustentable y, al mismo tiempo, tener precios competitivos como para generar un polo de desarrollo dentro y fuera del país.

(El Mercurio)

### Economía

Jueves 06 septiembre de 2018 | Publicado a las 17:49

## Hidrógeno verde: La otra revolución de la energía en Chile

(Radio Bío Bío)

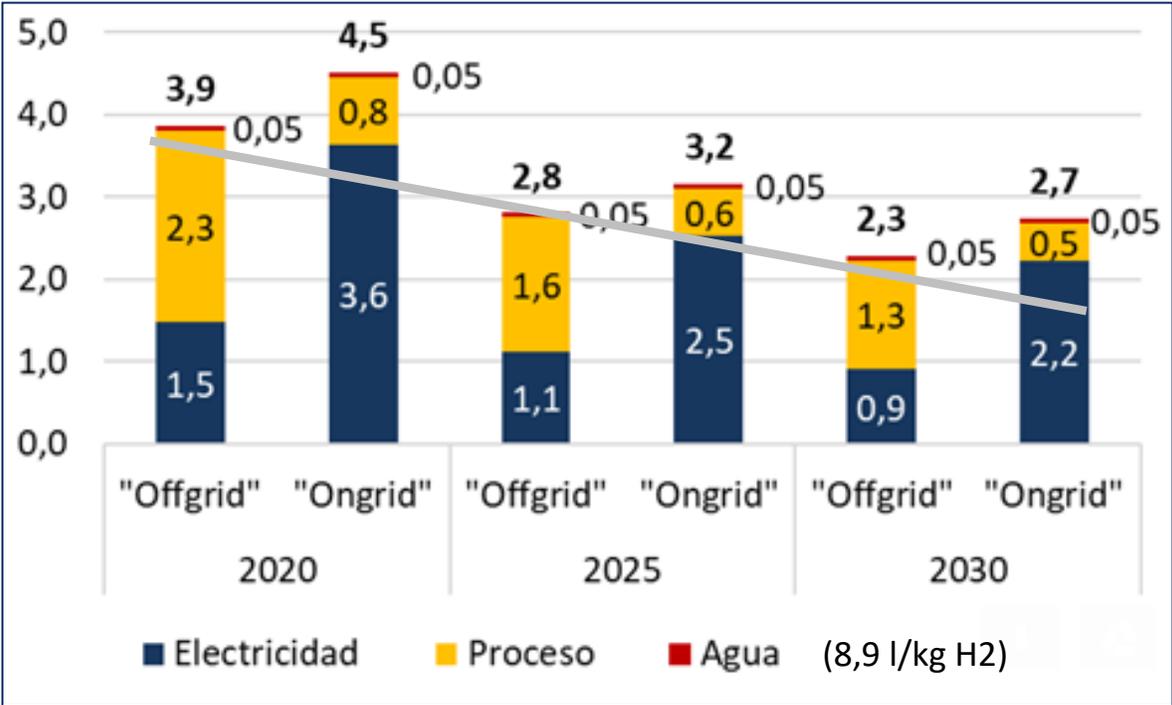
---

# ¿Cuáles son los costos de producción de H2 verde en Chile?



## Precios de producción de hidrógeno verde calculados para Chile:

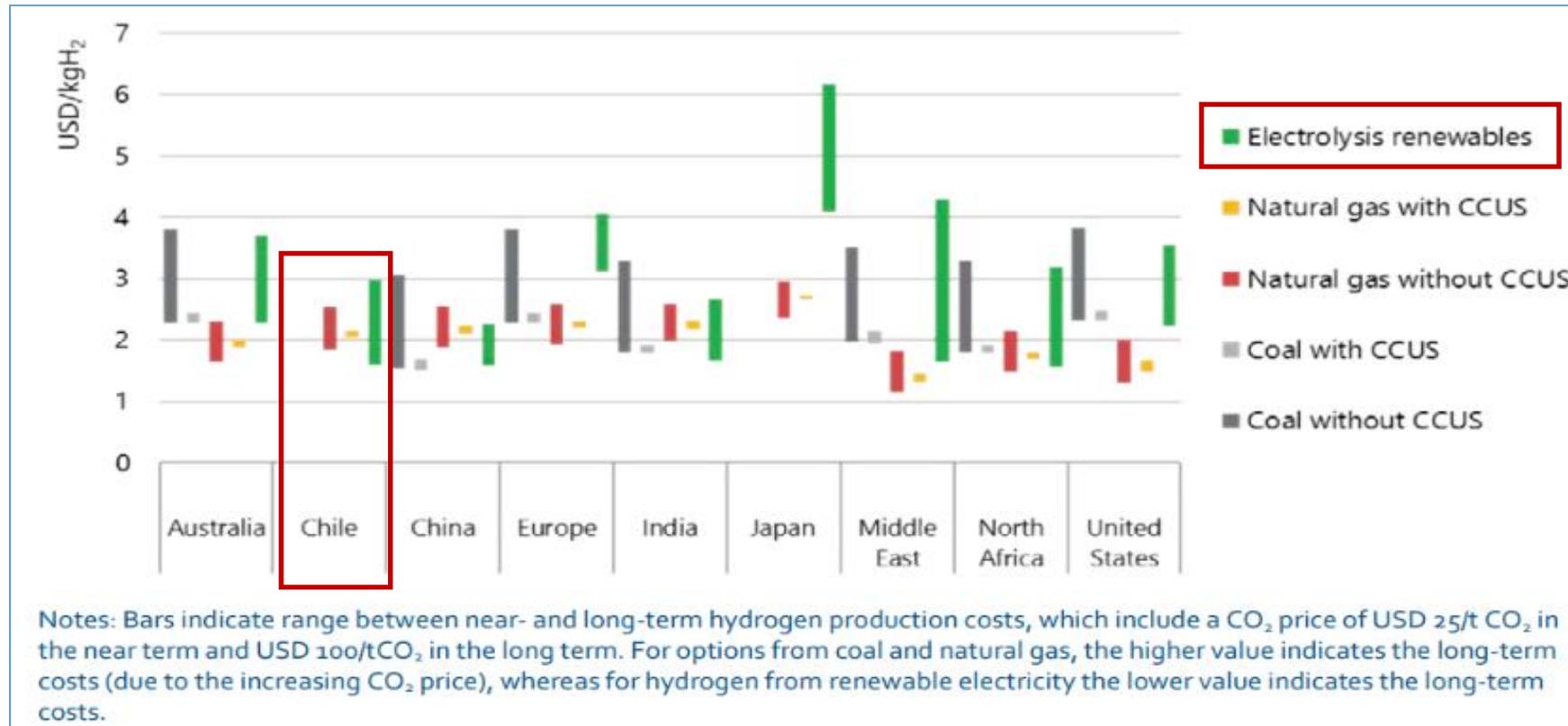
USD/kg



Se proyectan **reducciones del costo de producción** de hidrógeno verde significativas hasta 2030, tanto en caso de plantas de producción conectadas a la red como no-conectadas.

Fuente: Diagnóstico de consultoría, estimaciones conservadoras incluyendo costo de desalinización de agua.

## Costos de producción de hidrógeno en comparación (en verde: producción mediante electrólisis con electricidad renovable)

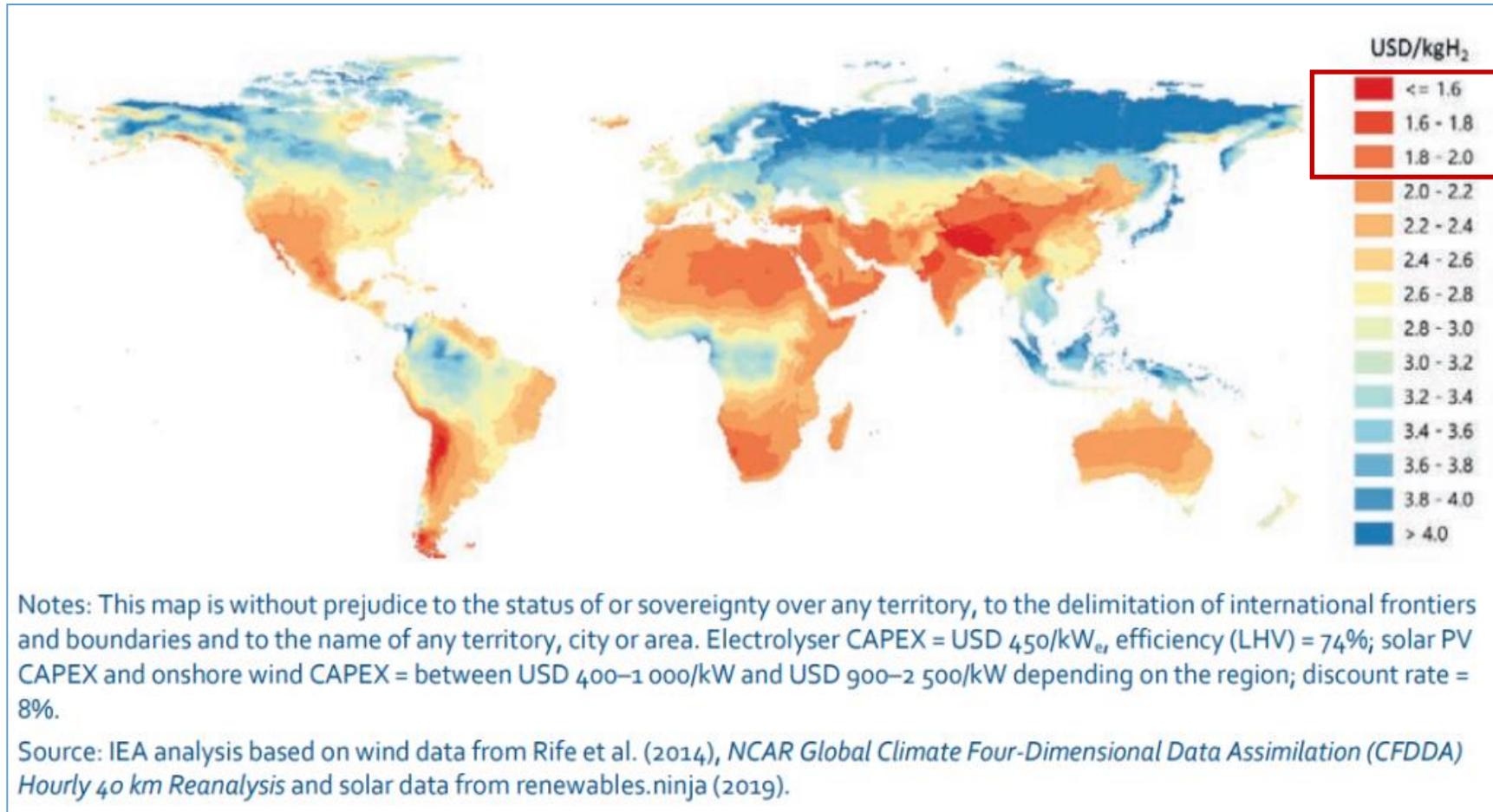


Fuente: IEA (2019).

➤ A mediano-largo plazo, **costos de producción de H<sub>2</sub> verde** mediante electrólisis en **Chile** están entre **los más competitivos**

➤ Costos de producción de H<sub>2</sub> verde **serán más bajos que métodos de producción basados en GN (con o sin CCS)**

## Costos de hidrógeno producido en plantas híbridas de energía solar fotovoltaica y eólica a largo plazo



# Contexto: Ventaja comparativa

Reciente estudio de la IEA calculó costo de producción de H2 a condiciones óptimas más bajo alcanzable de 2.1 USD/kg basado en simulaciones de planta híbrida FV-eólica en Taltal:

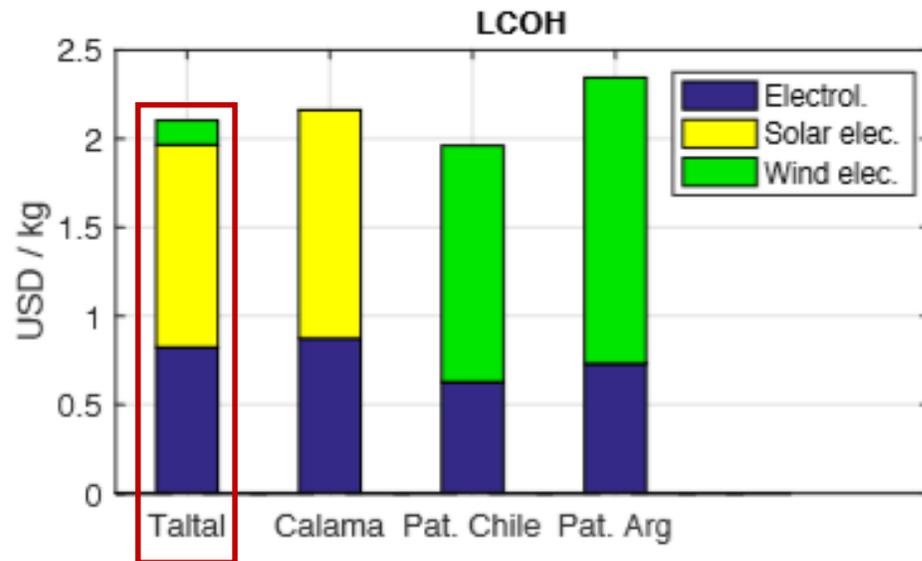


Fig. 9: Optimal LCOH for hybrid H<sub>2</sub> plants in our four locations. Each for the considered unit.

Fuente: IEA (2019).

	Taltal	Calama	Pat. Chile	Pat. Arg.
Capacity factor solar (%)	33.9	32.9	15.1	22.5
Capacity factor wind (%)	43.8	35.6	51.8	52.7
LCOE solar (USD/MWh)	25.9	26.7	58.4	48.4
LCOE wind (USD/MWh)	35.8	44.1	28	33.8
Capacity solar a <sub>s</sub> *	1.21	1.27	0	0
Capacity wind a <sub>w</sub> *	0.082	0	1.19	1.18
Hybrid load CF* (%)	44.3	41.4	61.5	62.2
curt* (%)	0.58	1.3	0.35	0.18
hybridisation cost reduction (%)	0.21	0	0	0
LCOH* (USD/kg)	2.1	2.16	1.96	2.35

Table 6: Summary of optimal parameters for hybrid H<sub>2</sub> plants

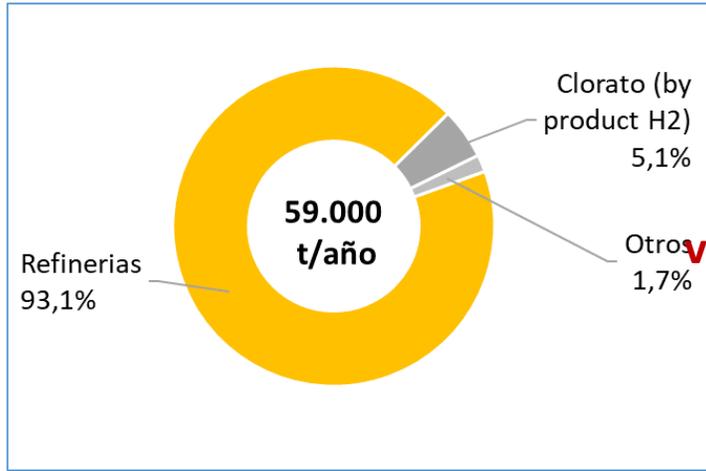
---

**¿Cuál es la oportunidad de mercado relacionada al H2 verde en Chile?**



# Oportunidad de mercado H2 verde

## 2019 Mercado nacional

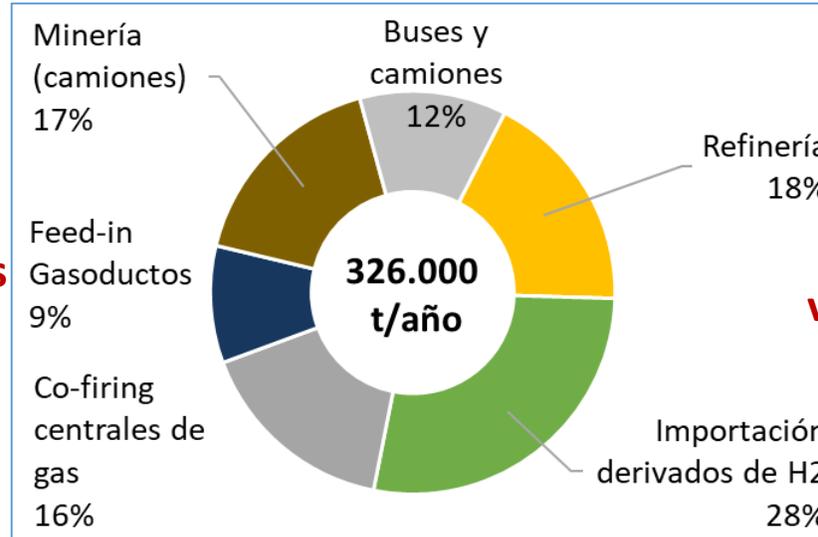


Valor mercado H2: **123 MMUSD/año**

Instalación FV 2019: **2,4 GWp (SEN)**

2019: asumiendo costo de 2,1 USD/kgH2 convencional

## 2030/35 Potencial mercado nacional

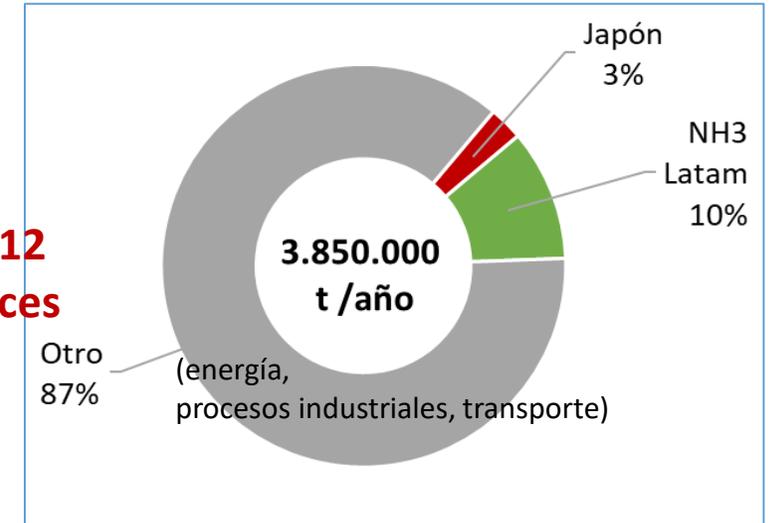


Valor mercado H2: 684 - **749 MM USD/año**

Instalación capacidad FV adicional: **7,1 GWp**  
Inversión FV: **4,7 mil MMUSD**

Capacidad electrolizadores requerida: **4,1 GW**  
Inversión: **1,9 mil MM USD**

## 2030/35 Potencial mercado internacional a capturar por Chile



Valor mercado H2: 8.081 - 8.851 MM USD/año

Instalación capacidad FV adicional: **84,4 GWp**  
Inversión FV: **55 mil MMUSD**

Capacidad electrolizadores requerida: **48,8 GW**  
Inversión: **23 mil MM USD**

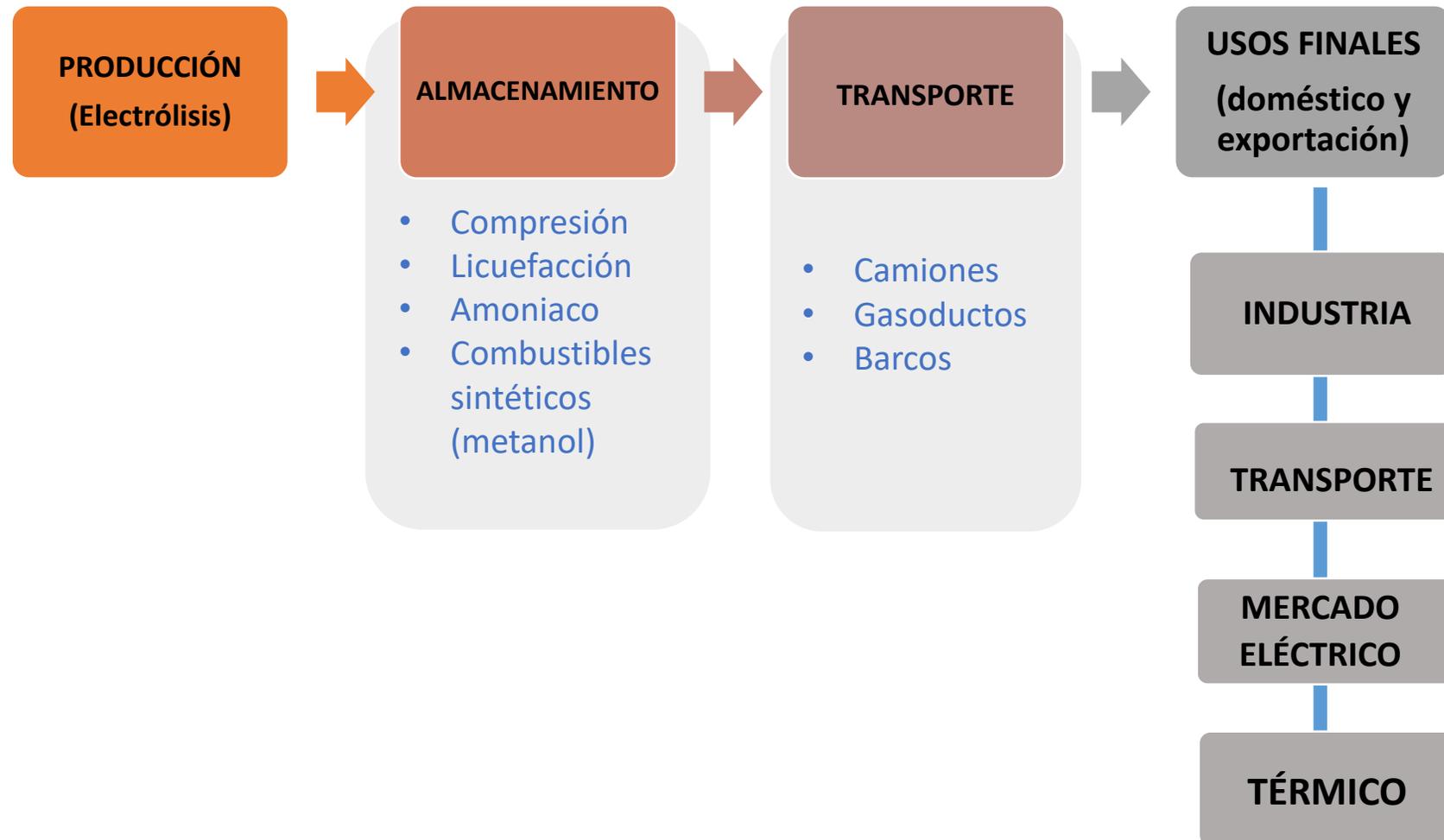
2030: Asumiendo costo de 2,1-2,3 USD/kgH2 verde // CAPEX FV de 657 USD/kWp // CAPEX electrolizadores de 472 USD/kW

---

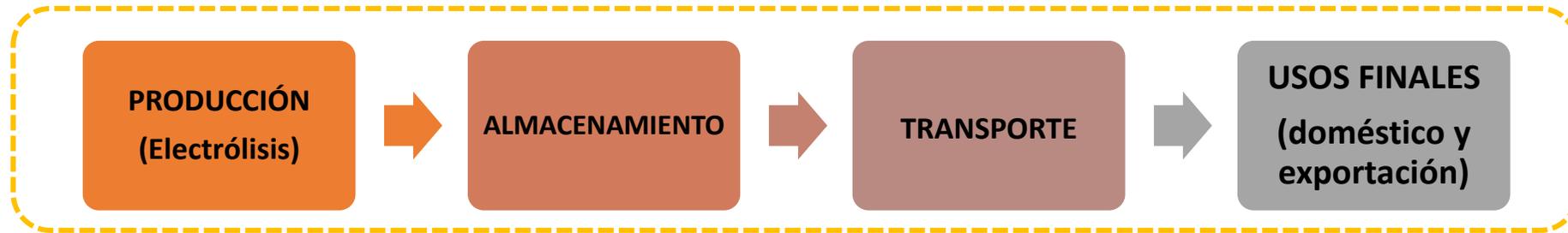
**¿Qué brechas existen a lo largo de la cadena de valor de H2 verde en Chile?**



**Chile tiene una gran oportunidad de mercado.  
Para aprovecharla, hay que superar algunos obstáculos**



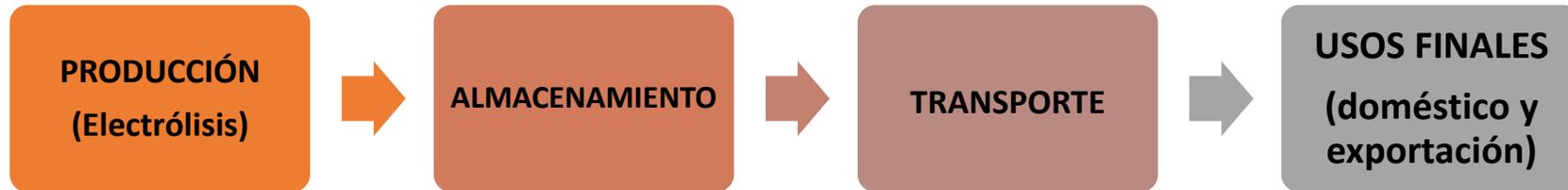
# CADENA DE VALOR DE H2 VERDE



## Brechas transversales (a lo largo de cadena de valor):

- Falta de información para lograr el entendimiento del potencial del hidrógeno como vector energético
- Falta de Capital Humano capacitado (ingeniería, técnicos en manejo de H2)
- Falta de regulación específica sobre H2 (comercial, seguridad y funcionamiento) en cuanto a calidad y requisitos mínimos de seguridad para instalaciones y operaciones.
- Desafíos técnicos en los sectores de aplicación (energía, transporte y materias primas)

# Principales BRECHAS – etapa de producción



- Producción H2 verde aún no competitiva económicamente con producción H2 convencional – medioambientalmente sí.
- Falta de proyectos demostrativos de escala industrial en Chile (demostrar factibilidad técnica y económica)
- Producción de H2 verde on-grid: factor de emisión de la red eléctrica define carácter “verde” de producción

- Falta de análisis técnico, económico y comercial de opciones de almacenamiento nivel nacional
- Falta de definición de % permitidos de inyección H2 a red de GN
- Falta de proyectos demostrativos y pilotos de escala industrial de almacenamiento para uso en sistemas eléctricos

- Costos transporte H2 > costos transporte GN (métodos de transporte requeridos: compresión y tanques de alta presión para H2 gasificado; altos costos licuefacción H2)
- Transporte de H2 como amoníaco, metanol u otro requieren procesos de transformación en puertos de origen y destino; costos aumentan con las distancias
- Barcos de transporte de hidrógeno intercontinentales aún en desarrollo

# Principales BRECHAS – transporte





---

**The TIME FOR ACTION is NOW!**

**Muchas gracias**

Nuria Hartmann, In-Data & CDT

