

CONGRESO BIENAL



Chile 2023



Hidrógeno verde en Chile:

Requerimientos hídricos y desafíos del sector

FELIPE A. LARRAÍN, PH.D.

DIRECTOR ASOCIADO DE INVESTIGACIÓN

CENTRO DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA, UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ



CENTRA



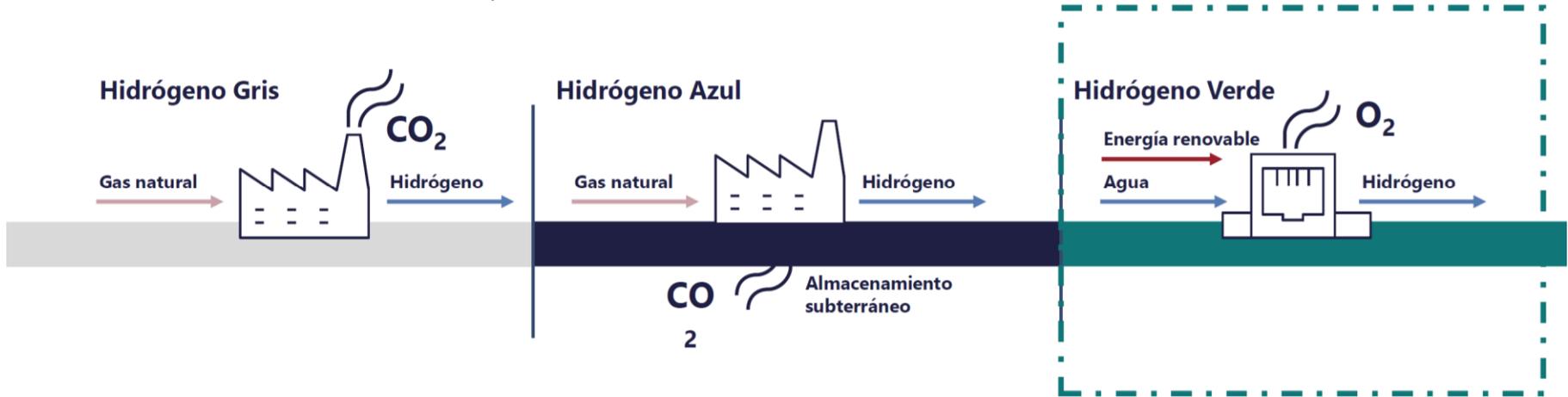
UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

AGENDA

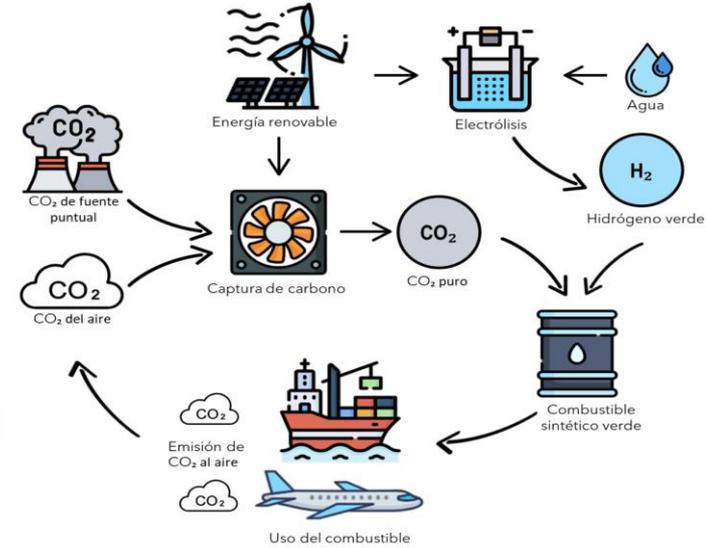
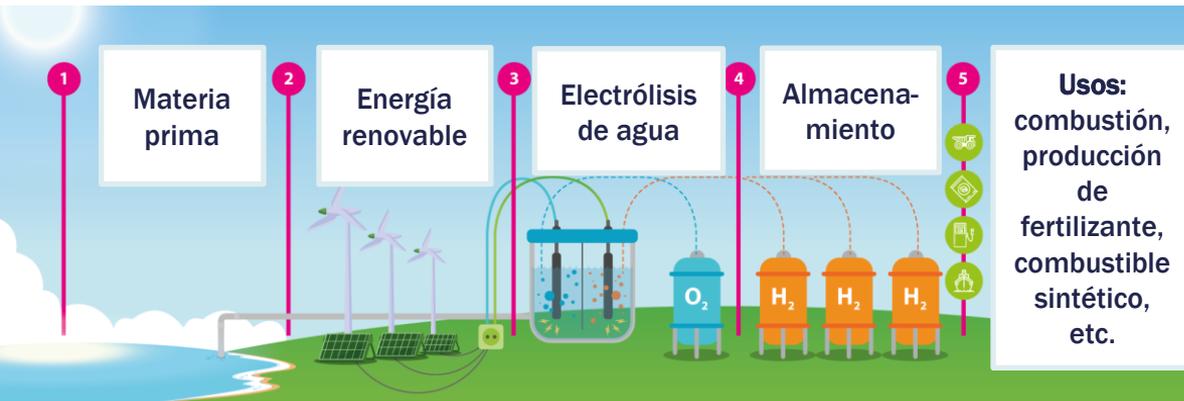
1. **Introducción:** hidrógeno verde para reducir la intensidad de carbono de sectores productivos
2. **Estrategia nacional de hidrógeno verde:** Chile en el contexto internacional
3. **Análisis sobre requerimientos hídricos y desafíos del sector:**

¿Compite la industria del hidrógeno verde con la demanda de agua para uso agrícola o potable?
¿Cuánta agua necesitaremos para habilitar la industria del hidrógeno verde en Chile?
¿Cuál es el impacto del costo del agua en el costo del hidrógeno verde?

HIDRÓGENO SEGÚN SU ORIGEN



CADENA DE VALOR Y APLICACIONES DEL H2 VERDE



HIDRÓGENO VERSUS OTROS ENERGÉTICOS



Energético	Densidad [kg/m ³]	Ebullición	Poder calorífico inferior [kWh/kg]	Densidad energética [MJ/l]
Hidrógeno	0,084 (25 °C, 1 atm)	-253,0 °C (1 atm)	33,3	8,0
Amoniaco	0,730 (25 °C, 1 atm)	-33,3 °C (1 atm)	5,2	12,7
Metano	0,657 (25 °C, 1 atm)	-182,0 °C (1 atm)	13,9	7,2
Metanol	791 (25 °C, 1 atm)	64,7 °C (1 atm)	5,0	15,9
Gasolina	760 (25 °C, 1 atm)	85 °C (1 atm)	12,4	32,0



EL BOOM EN CHILE Y LA NARRATIVA DE MCKINSEY



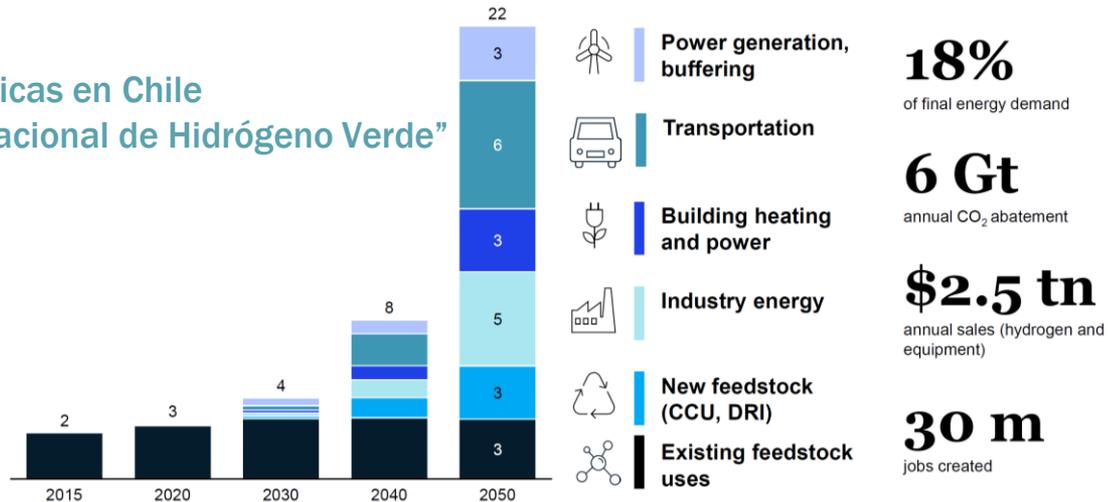
2018: Se funda la "Asociación Chilena del Hidrógeno" (Gremial H2Chile)

2019: Sebastián Piñera vuelve de China preguntando sobre H2V

2020:

McKinsey & Company lanza mesas técnicas en Chile

Juan Carlos Jobet lanza la "Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde"



18%
of final energy demand

6 Gt
annual CO₂ abatement

\$2.5 tn
annual sales (hydrogen and equipment)

30 m
jobs created

Demanda global suministrada con hidrógeno en PWh



UAI
UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

ALADYR

COSTO NIVELADO DE H2 VERDE Y ESTRATEGIA NACIONAL



Costo nivelado de hidrógeno verde (USD/kg H₂)

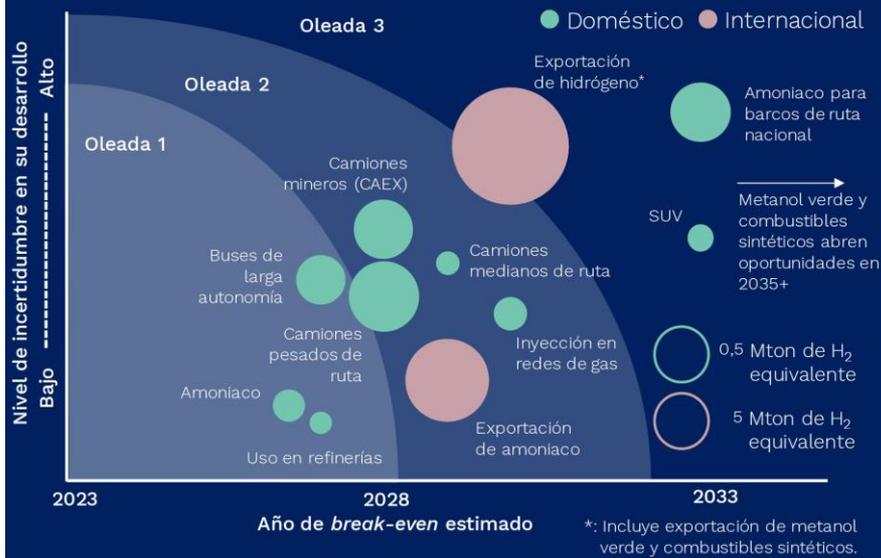
Fuente McKinsey & Company.



Desarrollo proyectado de aplicaciones del hidrógeno verde

Nivel de incertidumbre, tamaño de mercado y año de *break-even* de algunas de las aplicaciones del hidrógeno en Chile. No considera precio al carbono.

Fuente McKinsey & Company.



UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

ALADYR

VISIÓN SEGÚN ESTRATEGIA NACIONAL (AMBICIÓN)



PRODUCCIÓN ANUAL H ₂ (*)	REQUERIMIENTO ANUAL H ₂ O (9, 11, 18 lt/kg) (**)
100,000 t de H ₂ verde en al menos 2 polos de desarrollo a 2025.	900,000 m ³ / 1,100,000 m ³ / 1,800,000 m ³
485,000 t de H ₂ verde incluyendo exportaciones a 2030.	4,365,000 m ³ / 5,335,000 m ³ / 8,730,000 m ³
11,000,000 t de H ₂ verde incluyendo exportaciones a 2040.	99,000,000 m ³ / 121,000,000 m ³ / 198,000,000 m ³
19,000,000 t de H ₂ verde incluyendo exportaciones a 2050.	171,000,000 m ³ / 209,000,000 m ³ / 342,000,000 m ³

(*) Exportaciones a Europa, China, Japón/Corea, EEUU y LATAM.

(**) Requerimiento estequiométrico, Siemens Silyzer 300 kW (PEM), Cummins HySTAT 500 kW (Alcalino)



UAI
UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

ALADYR

COMPARACIÓN V/S DESALACIÓN OPERATIVA EN CHILE



Tabla 1. Plantas de tratamiento de agua potable basadas en desalación, según lo informado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (16/10/2023). Caudal anual supone disponibilidad del 95% de las instalaciones.

REGIÓN	OBRA	CONSTRUCCIÓN	CAUDAL (lt/s)	CAUDAL (m ³ /año)
ANTOFAGASTA	Desaladora de Antofagasta	2003	1056	31.636.915
ATACAMA	PTOI PDAM	2021	450	13.481.640
ANTOFAGASTA	Planta desaladora Tocopilla	2020	75	2.246.940
VALPARAISO	Planta desaladora	2018	22	659.102
COQUIMBO	Desaladora Pichidanguí 1	2022	11	329.551
ANTOFAGASTA	Tercer módulo desaladora Tal Tal	2020	11	329.551
COQUIMBO	Desaladora Pichidanguí 2	2022	11	329.551
ANTOFAGASTA	Desaladora de Tal Tal	2007	5	149.796
ANTOFAGASTA	Segunda desaladora Tal Tal	2012	5	149.796



UAI
UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ



COSTO DEL AGUA DESALADA y LCOH: ESTIMACIÓN



Especificación técnica

Variable	Cantidad	Unidad
Capacidad	500,0	kW
Uso de agua	17,8	lt/kg H2
Uso espacio	180	m ² /MW
Operación	80,000	h
Factor de p.	96	%
Eficiencia	60,6	%
Pureza	99,999	%

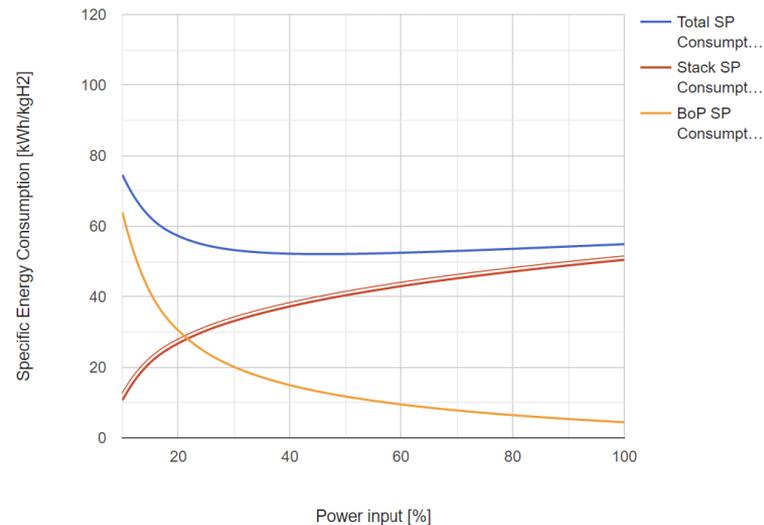
CAPEX

Variable	Cantidad	Unidad
Stacks + BOP	2400	USD/kW
Instalación	Inc./	USD/kW
Desarrollo	Inc./	USD/kW
Energía	Variable	USD/MWh
O&M	15	USD/kW-año
Agua	3	USD/m ³
Terrenos	100	UF/ha

OPEX

Financieros 20 años
10% tasa dcto.

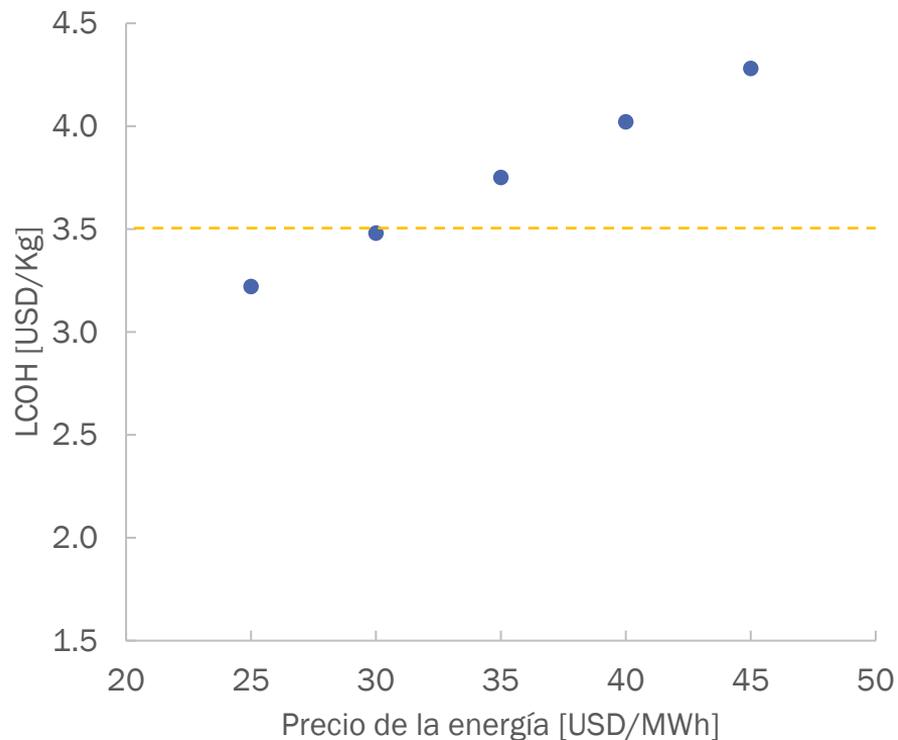
ALK Cummins HySTAT Series Specific Energy Consumption



UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

ALADYR

COSTO DEL AGUA DESALADA y LCOH: RESULTADOS



LCOH = 3,48 USD/kg

CAPEX

1.41

Energy

1.6

O&M

0.1

Water

0.04

Land

0.0

Replacements

0.33

OPEX = 4,9 MMUSD / año

(energía 78,3%, repuestos 15,3%, O&M 4,4%, agua 2%)



UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

ALADYR

ESTADO DE SITUACIÓN Y DESAFÍOS DEL SECTOR (1/3)



MERCADO



- Quiebre de stock de electrolizadores: incremento de precio. Se espera una baja al 2030, lo que permitiría alcanzar 1,5 usd/kg en 2035 en Chile (está por verse).
- Fabricantes colocan pedidos de +100 MW en lista de espera de 18 meses. Menor capacidad tiene todavía menos prioridad.
- Electrolizadores Chinos compiten en precio con alcalinos a precio equivalente a la mitad de un PEM.
- Todo proyecto se sustenta en contrato con *offtaker*, todavía no hay mercado.



UAI
UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

ALADYR

ESTADO DE SITUACIÓN Y DESAFÍOS DEL SECTOR (2/3)



SITUACIÓN GEOPOLÍTICA

- Las guerras han forzado a grandes compañías del sector (ENEL, ENGIE, etc.) a buscar alternativas de suministro energético renovable.
- Últimos convenios: Alemania – Canadá, hidrógeno criogénico para el 2024. Demanda “ansiosa” incrementa presión sobre gobiernos (contratos a 25 años).
- Última COP: 700 MUSD para financiamiento en Chile (Banco Mundial, BID).
- + 225 MUSD para desarrollo de hidrógeno verde de la UE (junio de 2023)



UAI
UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

ALADYR

ESTADO DE SITUACIÓN Y DESAFÍOS DEL SECTOR (3/3)



ENTORNO REGULATORIO



- No existe normativa: los proyectos de hidrógeno verde se tramitan como “proyecto especial” con la SEC.
- El sinnúmero de permisos necesarios (SEA, sectoriales, territoriales, concesión, terreno, construcción, conexión a la red, etc.) y la dificultad para obtenerlos en plazos razonables genera incertidumbre. Hay guías de proyectos, pero la experiencia ha sido mala. Ejemplo emblemático: Proyecto “Faro del Sur”



UAI
UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

ALADYR