

Economía del H2V: Casos y aplicaciones.

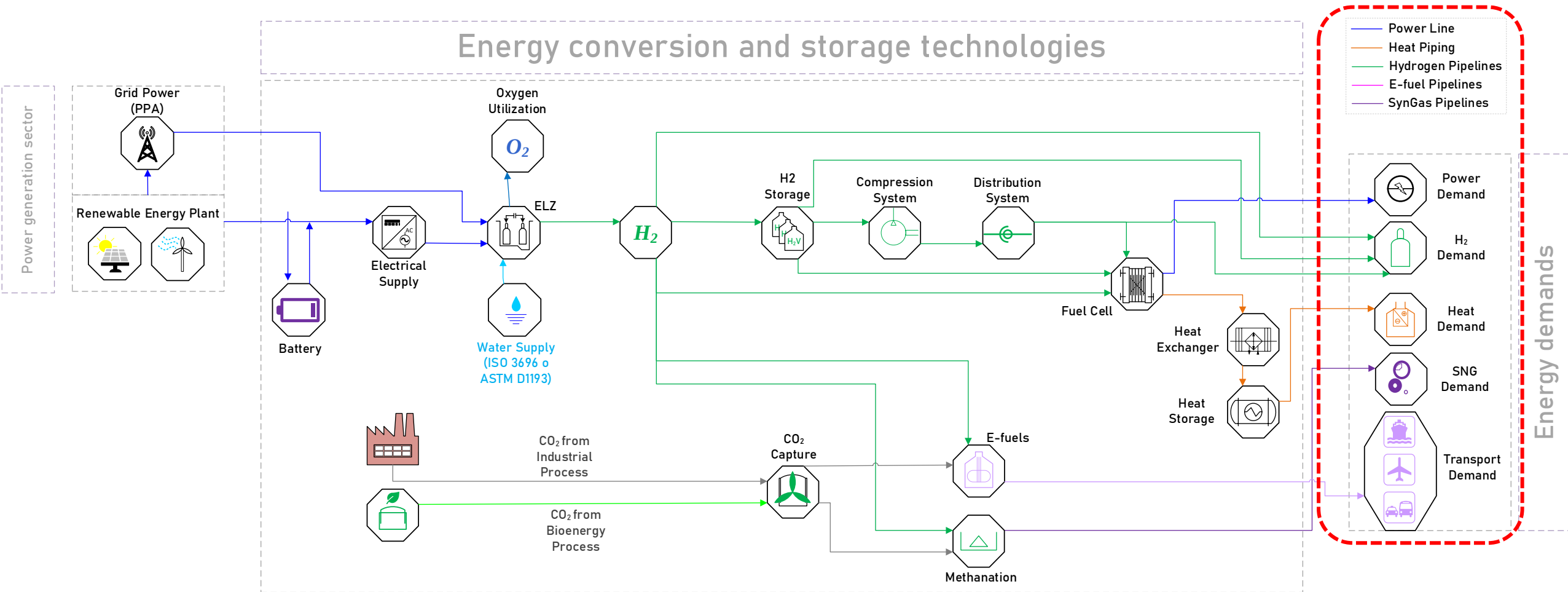
Profesor: Dr. Yunesky Masip
Escuela de Ingeniería Mecánica
PUCV



CADENA DE VALOR DEL H2V



Cadena de Valor del H2V





Generalidades

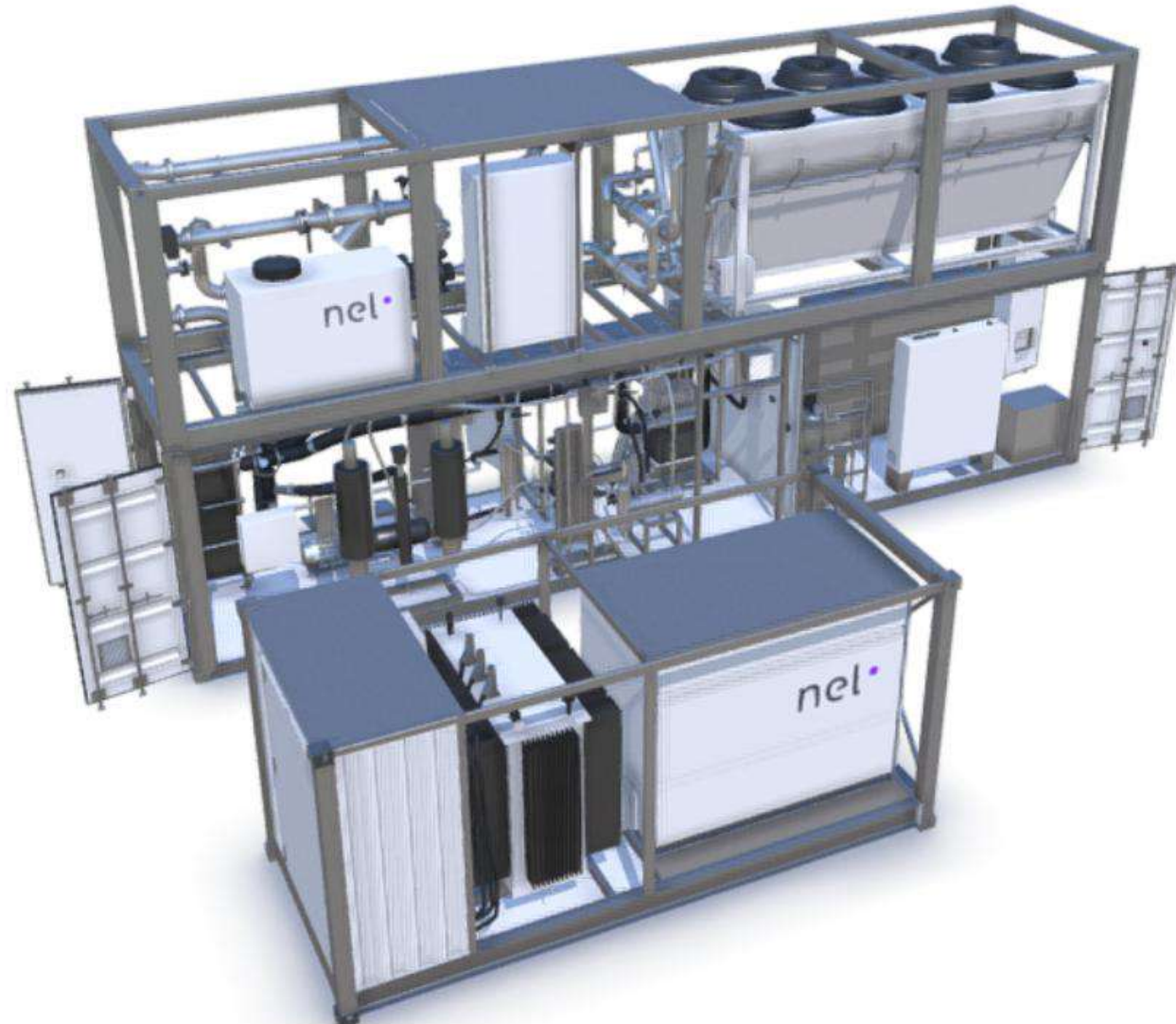
Producción

Usos

Mercado

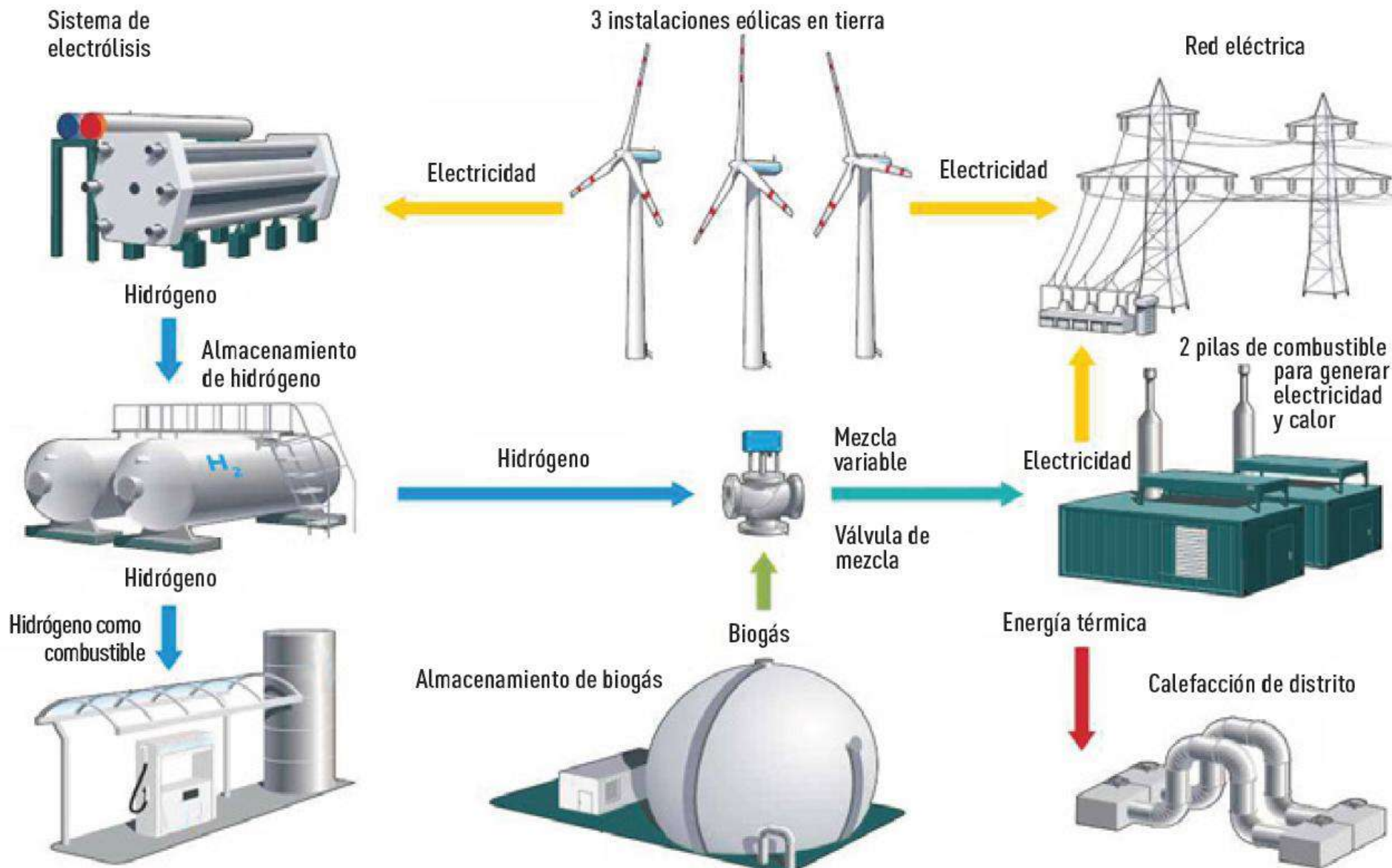
Casos

CASOS A NIVEL MUNDIAL



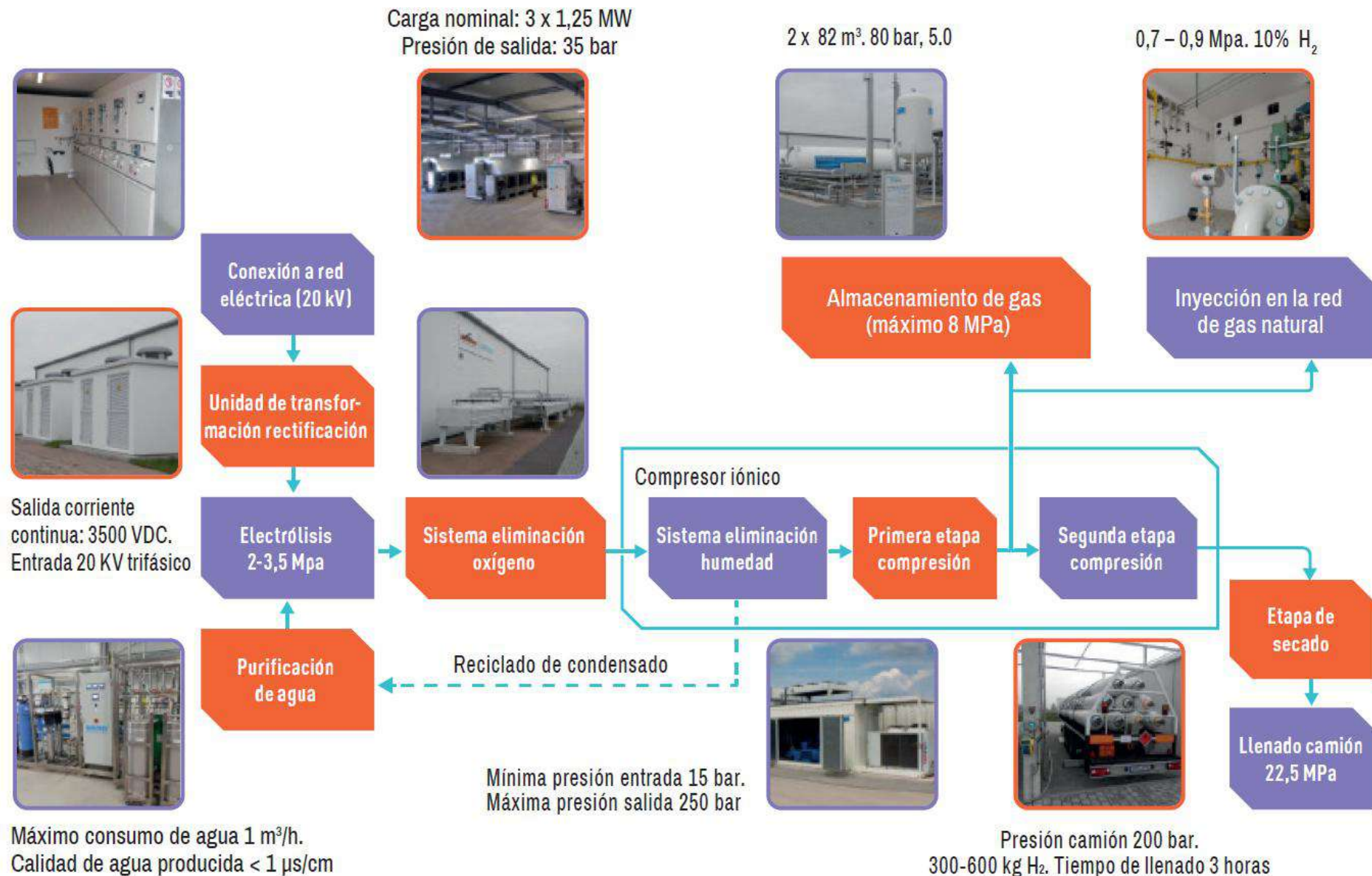
Sistema de hidrógeno implementado en la planta de

Inversión de 21 millones de euros



CASOS A NIVEL MUNDIAL

Planta de energía eólica de *Mainz*, tiene una potencia instalada de **10 MW** eléctricos, a la que se asocia una planta de **electrólisis de 6 MW**, que es capaz de producir hasta **120 kg_{H2}/h**.





- ✓ Inaugurada en Wunsiedel una planta de generación de hidrógeno con una capacidad eléctrica de 8,75MW
- ✓ Instalación para generar 1.350 toneladas de hidrógeno al año y reducir las emisiones de CO₂ en unas 13.500 toneladas



Aplicaciones de Fuel Cell de hidrógeno en puertos



¿POR QUÉ PUERTOS?

- ▶ **Consumo de Energía- 37% sector transporte, 4% Puertos^(a)**
- ▶ **Contaminación - 17% emisiones de CO₂, a partir de equipos manipulación de carga en puertos^(b)**
- ▶ **Iniciativas para descarbonización**
 - Necesidad de considerar nuevas tecnologías y combustibles alternativos para lograr los objetivos de reducción de emisiones
- ▶ **Puertos son un lugar ideal para el transporte impulsado por hidrógeno**
 - Numerosos usos de los equipos relacionados con el transporte en un espacio centralizado o localizado
 - Tienen potencial para la producción y adopción de hidrógeno a gran escala
 - Es un sector estratégico para oportunidades de mercado, asociaciones y financiamiento de proyecto

(a) <https://energiaabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>

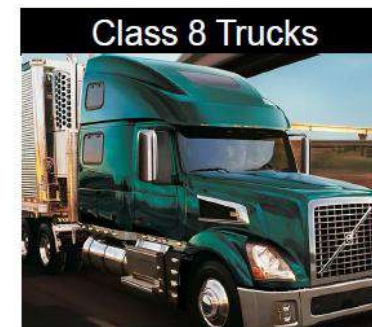
(b) <https://www.epa.gov/greenvehicles/fast-facts-transportation-greenhouse-gas-emissions>

POSIBLES CONSUMIDORES

- Grúas en general
- Grúa pórtico (RTG)
- Montacarga o grúas horquillas
- Manipuladores de contenedores
- Apiladores de contenedores (Container Reach Stackers)
- Yard Tractors
- Camiones

Características atractivas par uso del H2

- Gran % de los activos del puerto
- Uso intensivo
- Intensidad energética alta
- Incapacidad para pausar operaciones para cargar baterías



Estimado consumo equipo terminal portuario kg/día H2



RTG Crane
45 kg/día



Forklift
5 kg/día



Straddle Carrier
46 kg/día



Container Handler
56[L] 25[E] kg/día



Reach Stacker
33 kg/día



Yard Tractor
21 kg/día

PRINCIPALES BARRERAS PARA EL USO DEL H2

Razón 1: Disponibilidad del H₂- Debe tener los medios para producir o abastecerse del hidrógeno

Razón 2: Economía:

- Piloto: Para un yard tractor a H₂ que usa 20 kg/día, se requiere un reabastecimiento móvil con hidrógeno gaseoso y capacidad de compresión.
- Gran escala: el hidrógeno se escala favorablemente (ver más abajo):

Port Operation - 5 Days per Week						
Daily Hydrogen Usage	kg/day	250	500	1,000	2,500	5,000
H ₂ Molecule	\$/kg	\$4.50	\$4.50	\$4.50	\$4.50	\$4.50
All-In H ₂ Cost	\$/kg	\$8.73	\$6.99	\$6.34	\$6.06	\$5.88
Diesel Equivalent	\$/gallon	\$3.49	\$2.79	\$2.54	\$2.43	\$2.35

Port Operation - 7 Days per Week						
Daily Hydrogen Usage	kg/day	250	500	1,000	2,500	5,000
H ₂ Molecule	\$/kg	\$4.50	\$4.50	\$4.50	\$4.50	\$4.50
All-In H ₂ Cost	\$/kg	\$7.54	\$6.29	\$5.82	\$5.62	\$5.49
Diesel Equivalent	\$/gallon	\$3.02	\$2.51	\$2.33	\$2.25	\$2.20



Los modelos de puertos de hidrógeno más viables por:



Ecosistema costero integrado de H2 con producción local de H2 o importaciones de H2 utilizado para descarbonizar las actividades portuarias, industriales, corredores de transporte cercanos y bunkering de buques alimentados con H2. Este modelo puede ser adoptado por los grandes puertos de mercancías importadas o similares.



Clúster industrial costero alimentado con H2 con producción local de H2 pero sin importaciones de H2 y utilizado para descarbonizar las actividades portuarias, industriales y corredores de transporte cercanos.



Centro de abastecimiento de H2 con producción y almacenamiento local de H2 destinado exclusivamente al abastecimiento de combustible de buques. Este modelo puede ser utilizado por centros existentes ubicados en rutas de envío y con industrias limitadas cercanas.



Puerto descarbonizado alimentado con H2 con producción local de H2 utilizado para descarbonizar las actividades portuarias y abastecer de combustible a buques alimentados con H2 (bastante pequeños). Este modelo está previsto para puertos pequeños y medianos, con actividades industriales y marítimas locales limitadas y el Puerto de València ya ha comenzado a utilizar este modelo.

Electromovilidad en el Futuro cercano



¿Por qué FCEV? Ventaja de la Fuel Cell en comparación con las baterías



DIESEL

35,000lb Unladed Weight
45,000lb Payload



500 Mile Range



Refuel in
5-10 Minutes



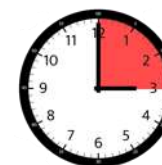
BEV

36,000lb Unladed Weight
<44,000lb Payload



125 Mile Range

Rango limitado
Repostaje más prolongado



Recharge in
3 Hours



BEV

45,400lb Unladed Weight
<34,600lb Payload



500 Mile Range

¡Carga útil significativamente reducida!



Recharge in
11 Hours



FCEV

35,000lb Unladed Weight
45,000lb Payload



150 Mile Range



Refuel in
3-5 Minutes



FCEV

37,400lb Unladed Weight
42,600lb Payload



500 Mile Range



Refuel in
10-15 Minutes

Per 100,000 miles...
BEV Charging = 2000 hours
FCEV Refueling = 45.5 hours

Un camión con celda de combustible de hidrógeno se puede repostar tan rápido como su homólogo diésel, lo que permite una utilización de activos mucho mayor que una solución BEV

¡Las pilas de combustible de hidrógeno permiten la electrificación de camiones preservando la autonomía Y la carga útil!



Generalidades

Producción

Usos

Mercado

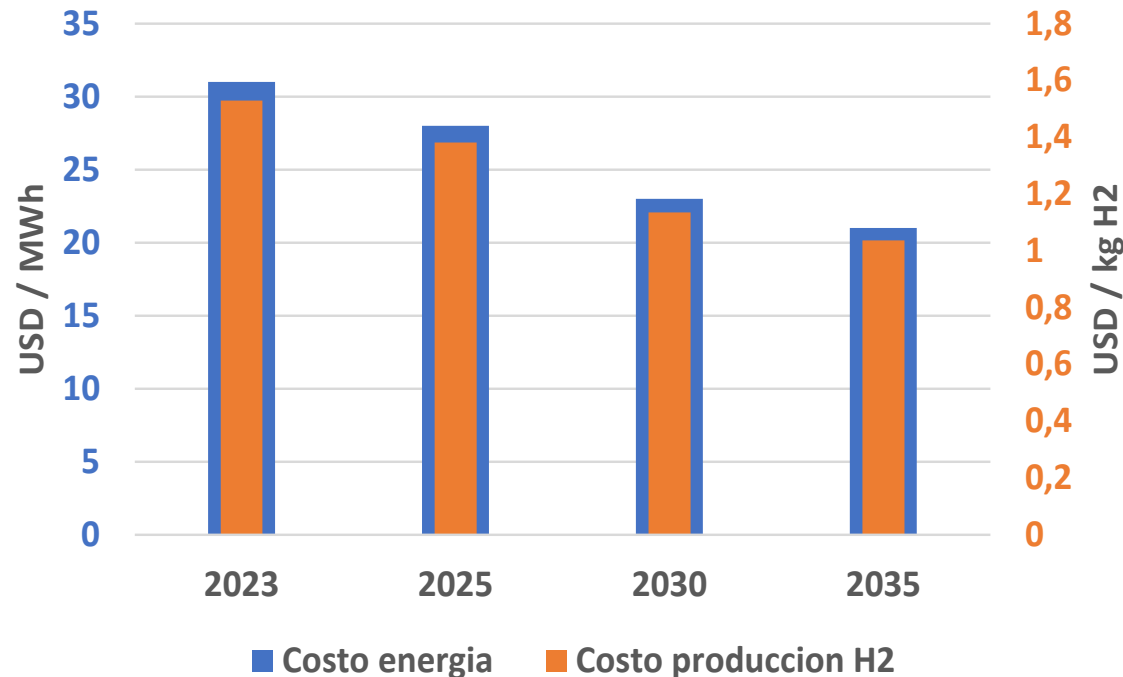
Casos

Fuentes de Energía Renovable



Fotovoltaico

- Tecnología madura
- Escalas: unidades 150 – 500 W
- Costo inversión: 760 – 960 USD /kW
- Costo operación in-situ: 33 USD/kWh



**33%
disminución al
2035**

Fuentes:

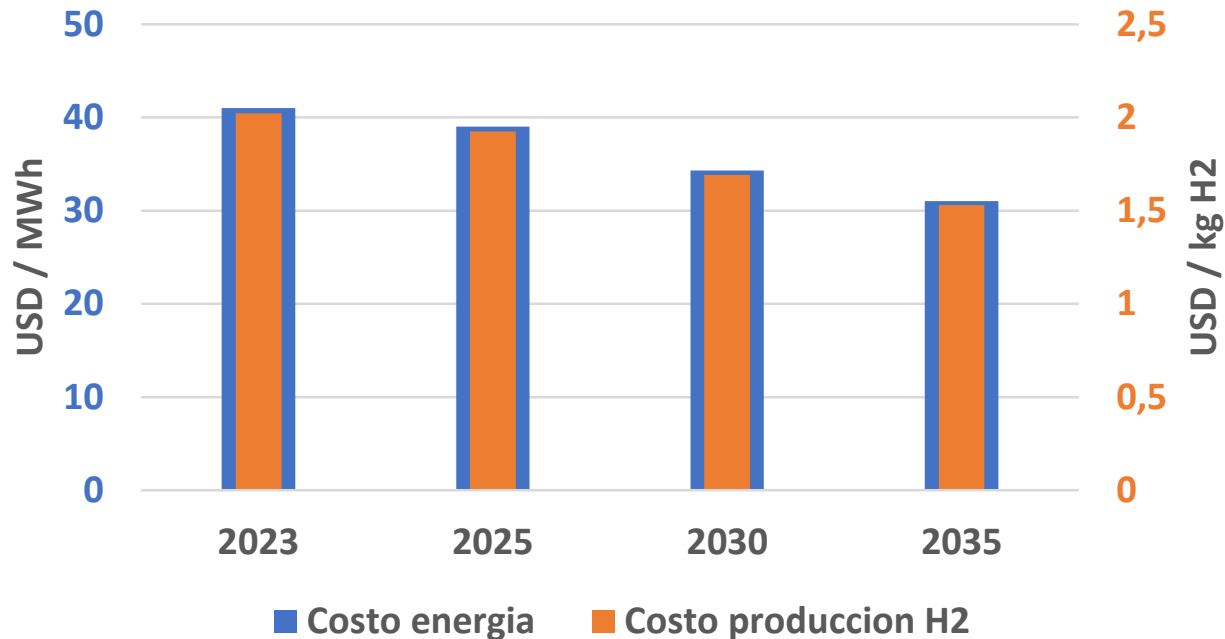
Ministerio de energía. PELP, Informe de costos ERNC 2024

Fuentes de Energía Renovable



Eólico

- Tecnología madura
- Escalas: unidades 1 – 8 MW
- Costo inversión (140m): 1100 USD/kW
- Costo operación in-situ (140m): 41 USD/kWh



**25%
disminución al
2035**

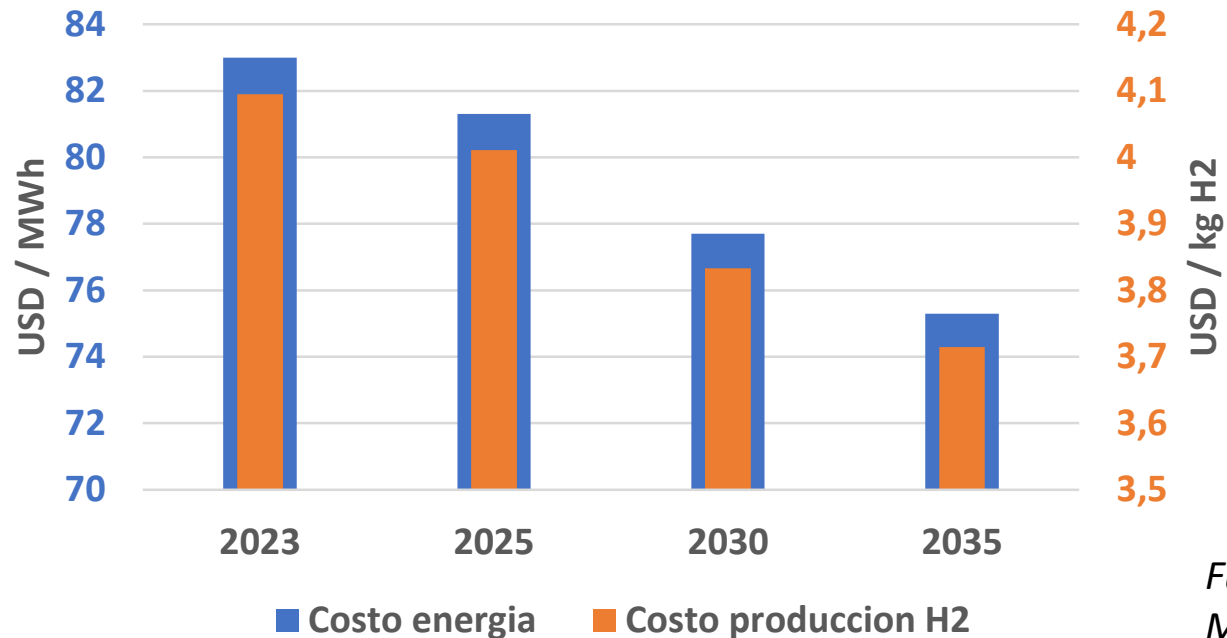
Fuentes:
Ministerio de energía. PELP, Informe de costos ERNC 2024

Fuentes de Energía Renovable



Geotermico

- Tecnología: en desarrollo
- Escalas: ?
- Costo inversión: 6000 USD /kW
- Costo operación in-situ: 83 USD/kWh



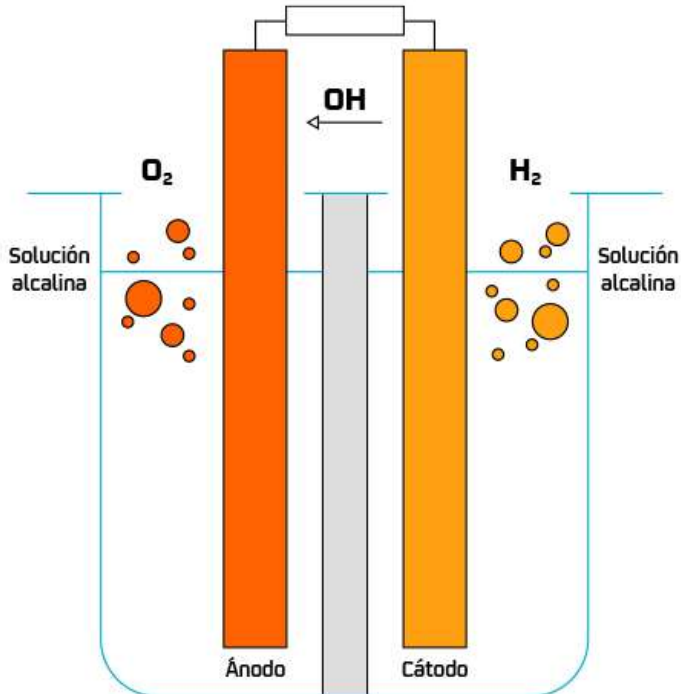
**10%
disminución al
2035**

Fuentes:

Ministerio de energía. PELP, Informe de costos ERNC 2024

Electrolizador

Tipos



Alcalinos (AE)

Tecnología madura

Costos bajos

Larga vida

Baja densidad
corriente

Mas espacio

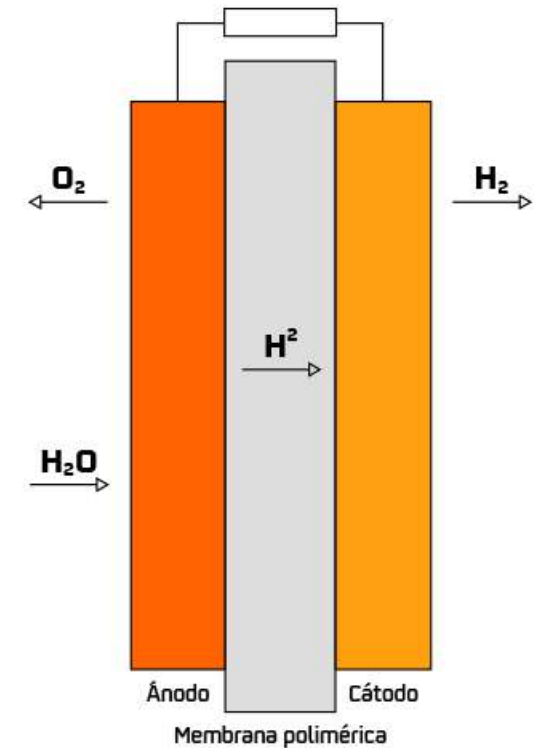
Protones (PEM)

Mayor densidad
corriente

Menos espacio

Tecnología en
desarrollo

Costo alto



Electrolizador

Proveedores - Escala



2,4 kW
(1 kgH2/día)

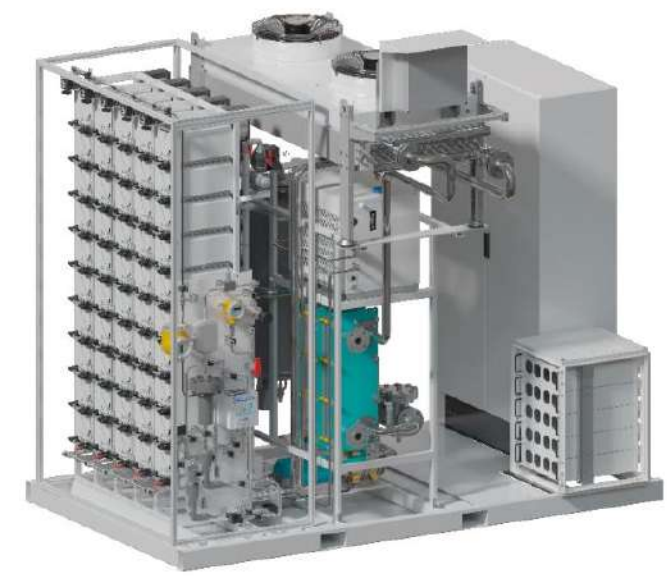
Enapter

120 kW
(54 kgH2/día)

1,25 MW
(480 kgH2/día)

Siemens

17,5 MW
(6700 kgH2/día)

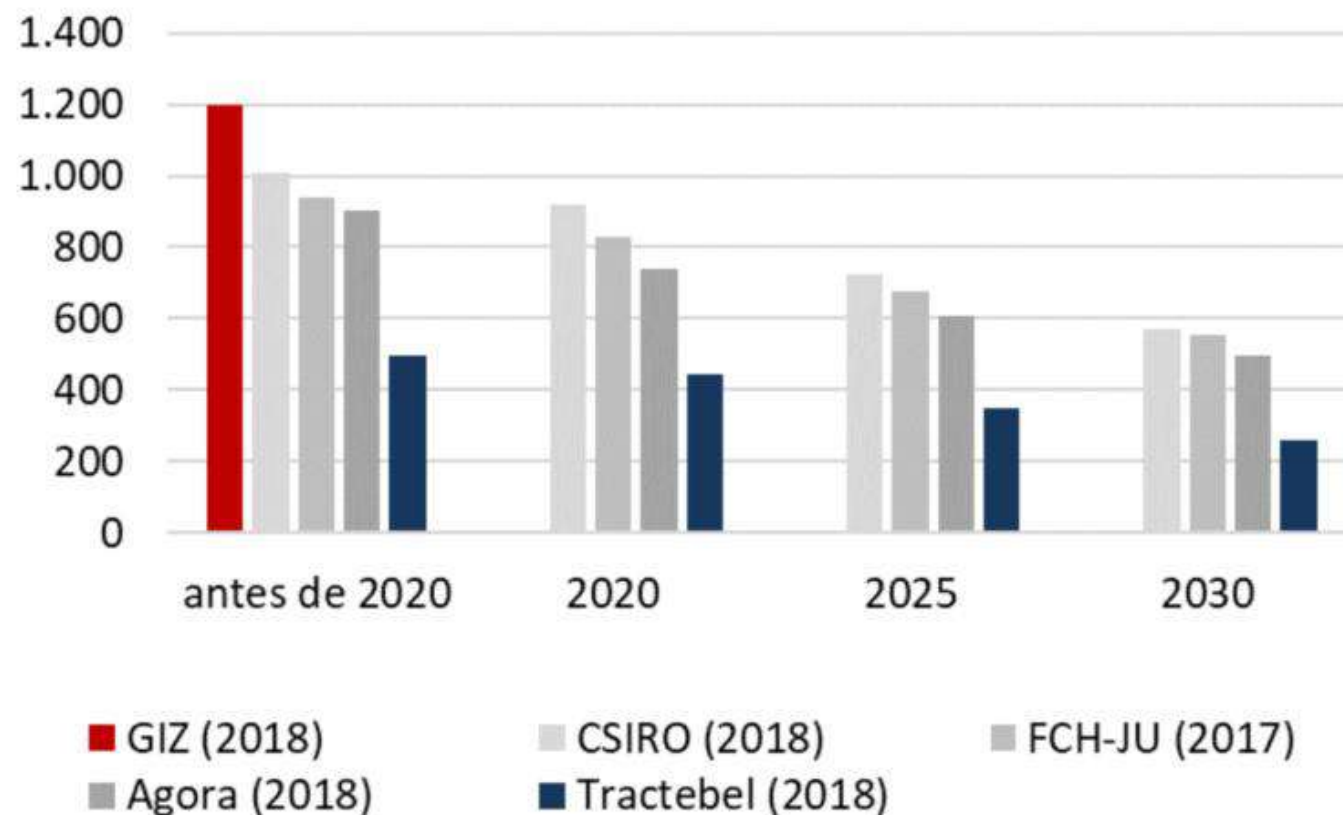


Fuentes:
360 Quadrants; Enapter; Siemens

Electrolizador

Costos Inversión

USD/kW



500 - 900 USD / kW

50% promedio
disminución al 2030

Fuentes:
InData, Informe mercado H2V Chile 2023
Center of Global energy Policy. Columbia SIPA

Depuración agua

Calidad y Cantidad

Parámetro	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV
Conductividad eléctrica Max. ($\mu\text{S}/\text{cm}$ @ 25°C)	0,056	1,0	4,0	5,0
Resistividad eléctrica Min. ($\text{M}\Omega\text{-cm}$ @ 25°C)	18,2	1,0	0,25	0,2
pH a 25°C	–	–	–	5,0 – 8,0
TOC máx. ($\mu\text{g}/\text{L}$)	10	50	200	Sin límite
Sodio máx. ($\mu\text{g}/\text{L}$)	1	5	10	50
Sílice max. ($\mu\text{g}/\text{L}$)	3	3	500	Sin límite
Cloro max. ($\mu\text{g}/\text{L}$)	1	5	10	50

9 - 10 L H₂O /kg H₂

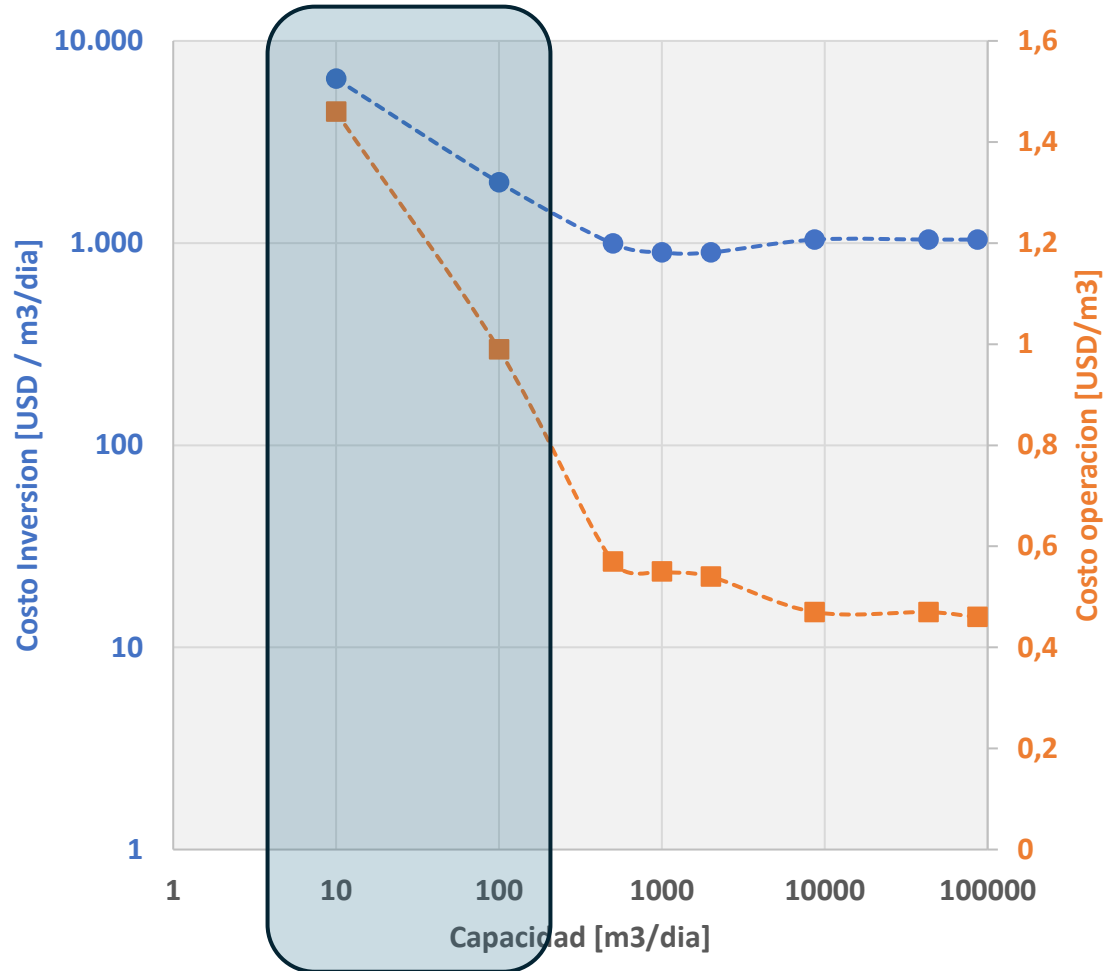
**Osmosis Reversa
Desde Agua dulce**

**Osmosis Reversa +
Electro-desionización
Desde Agua de mar**

*Fuentes:
Norma ASTM D1193.
Catalogos Enapter*

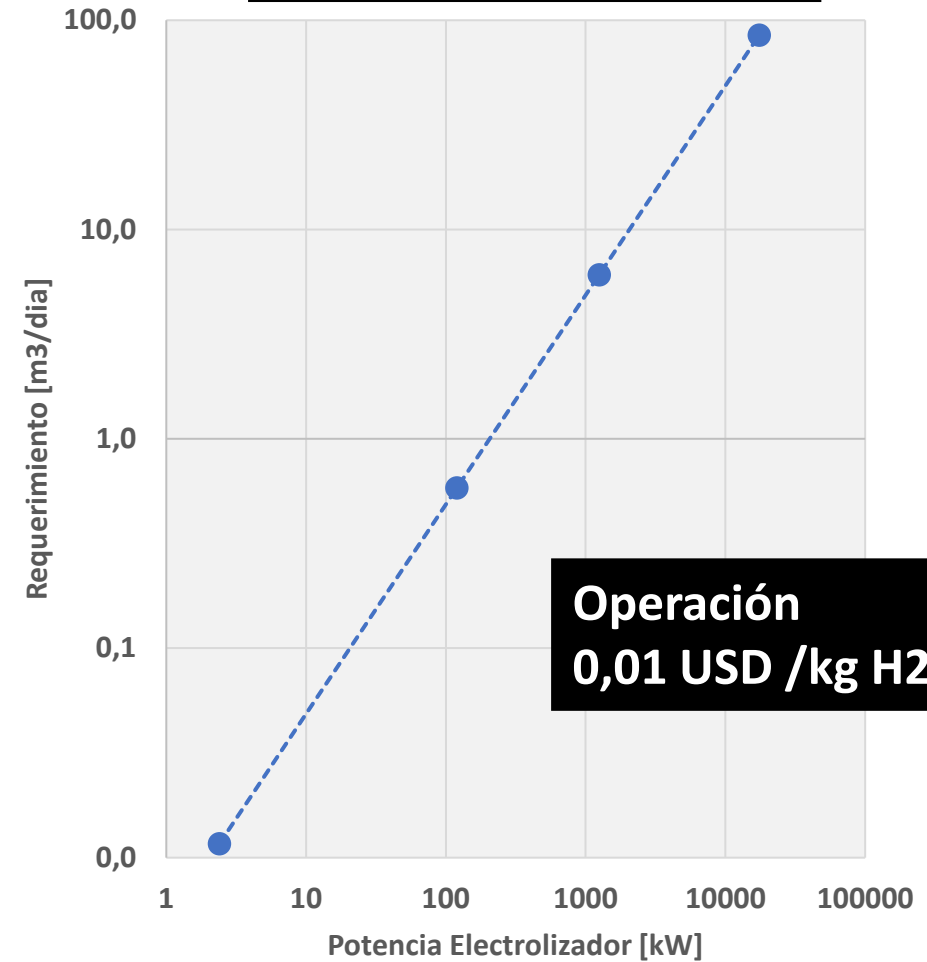
Depuración agua

Escala y Costos



Fuente: Aladyr

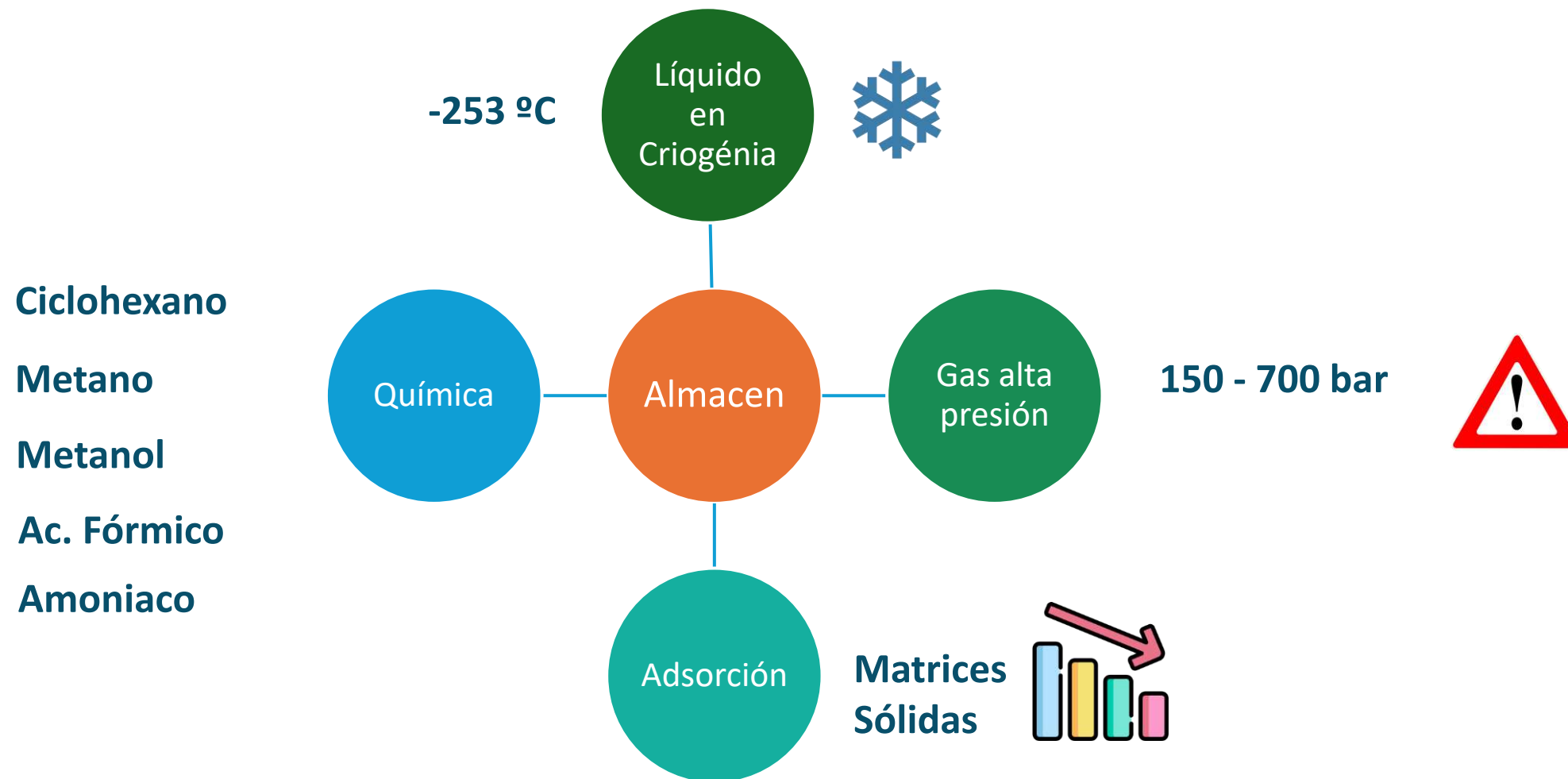
Inversión
10 - 30 USD /kW



Operación
0,01 USD /kg H2

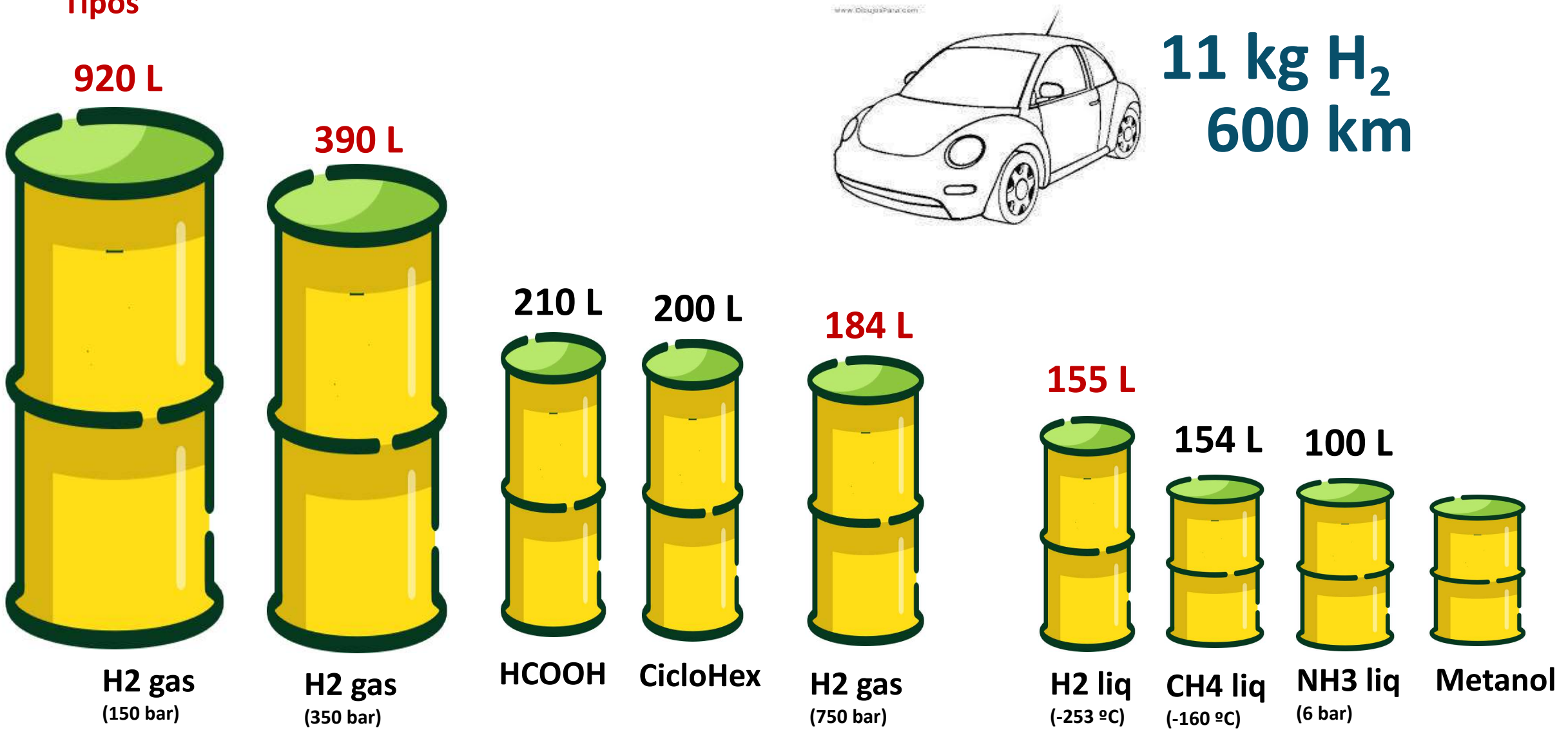
Almacenamiento

Tipos



Almacenamiento

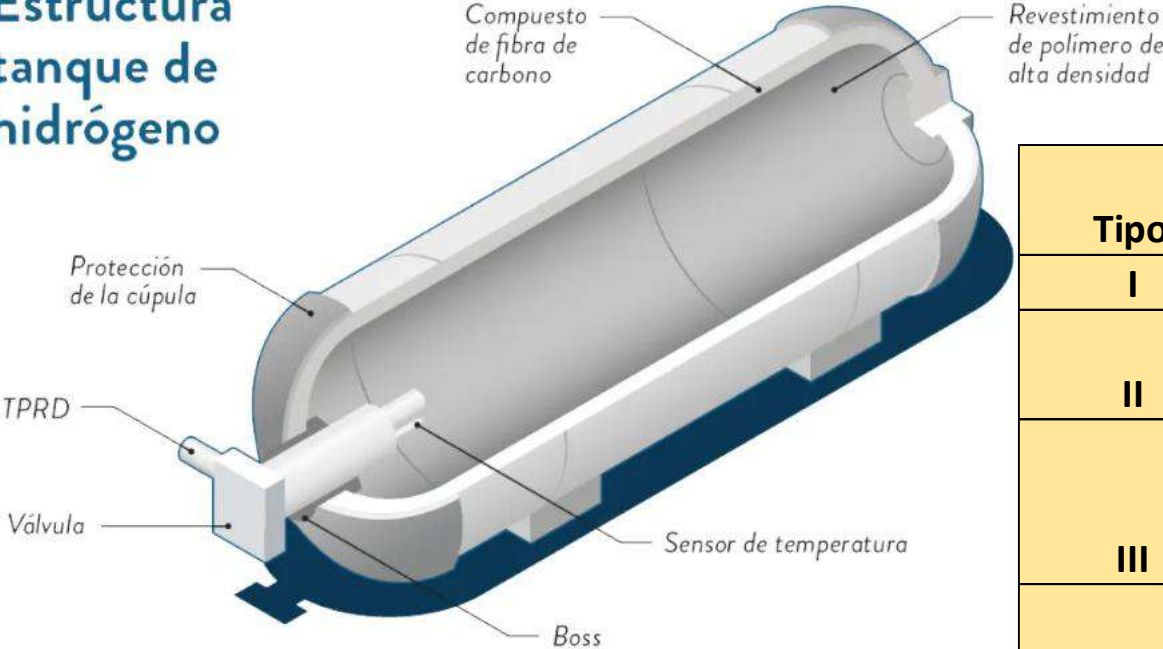
Tipos



Almacenamiento

Gaseoso

Estructura tanque de hidrógeno



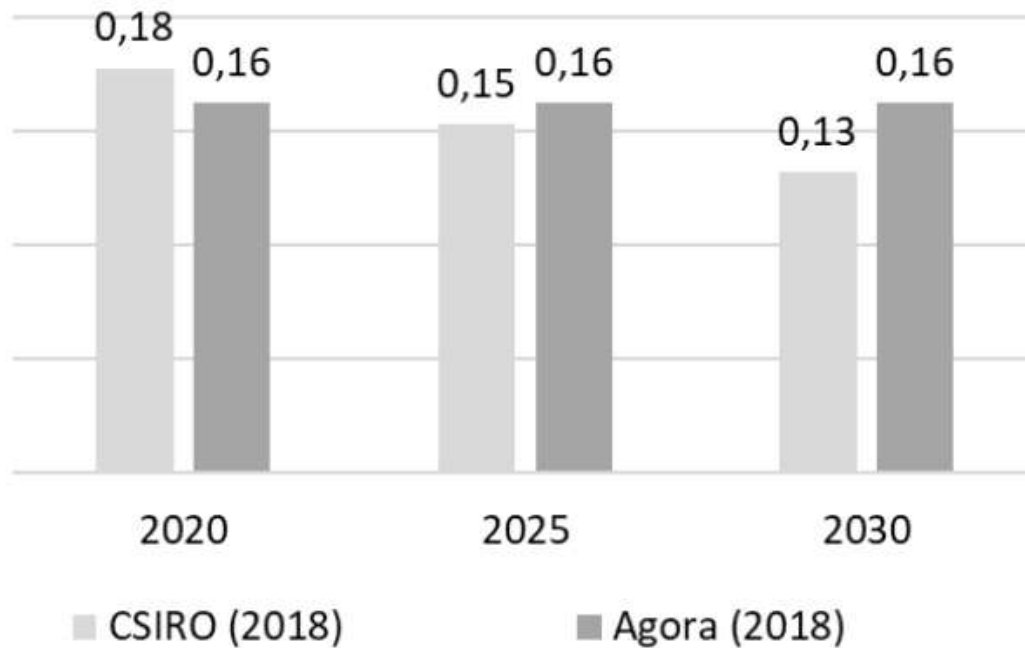
Tipo	Max Presión (bar)	Material	Costo USD/Kg
I	300	100% acero o aluminio	6
II	200	Aluminio recubierto parcialmente con capa fibra de vidrio	14
III	700	Aluminio recubierto completamente con fibra de vidrio o carbono	30
IV	700	Fibra de carbono con revestimiento polimérico	30
V	1000	100% fibra de carbono	30

Fuente: hin, H.K.; Ha, S.K. A Review on the Cost Analysis of Hydrogen Gas Storage Tanks for Fuel Cell Vehicles. Energies 2023, 16, 5233. <https://doi.org/10.3390/en16135233>

Almacenamiento

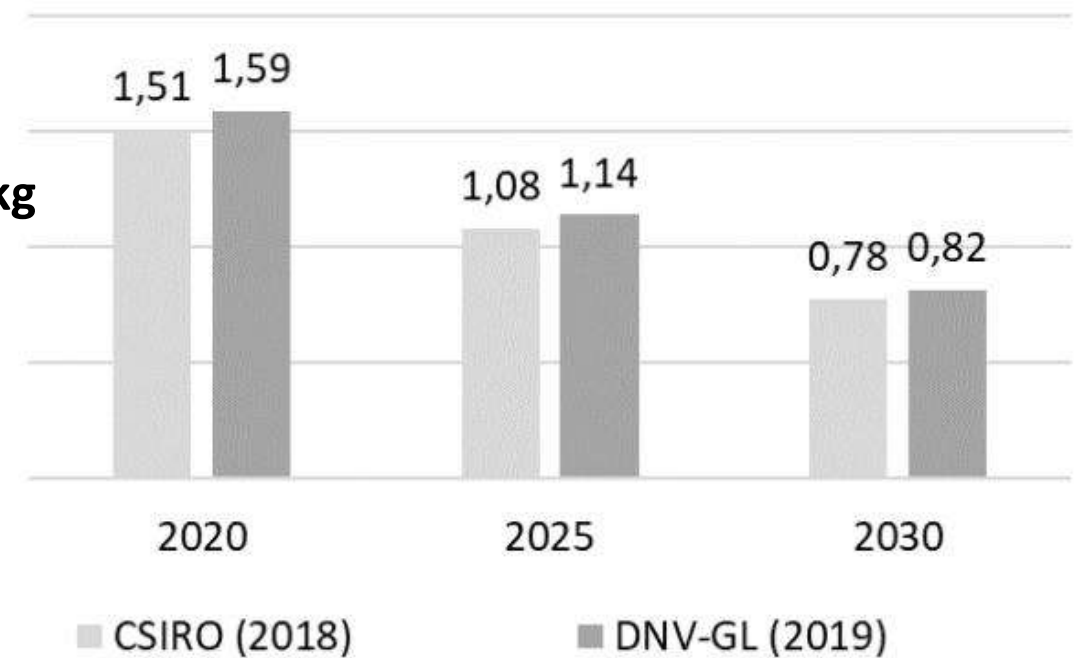
Costos

Compresión H₂ gas 150 bar, 20 °C



Liquefacción H₂ – 253 °C, 1 bar

USD/kg

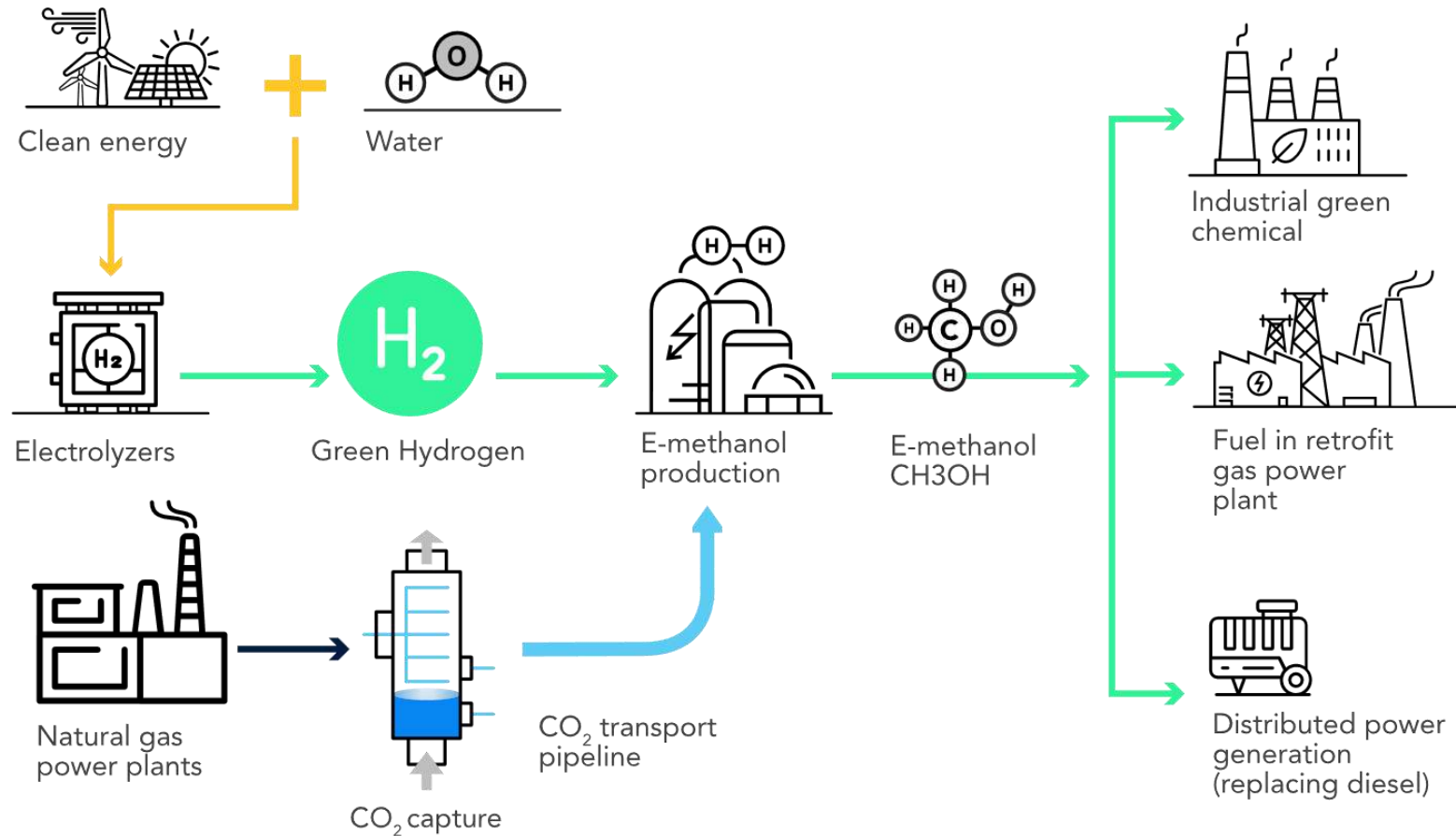


Fuentes:

InData, Informe mercado H₂V Chile 2023

Almacenamiento

Químico: Metanol



**Costo Adicional
2,9 USD / kg H₂
2021**



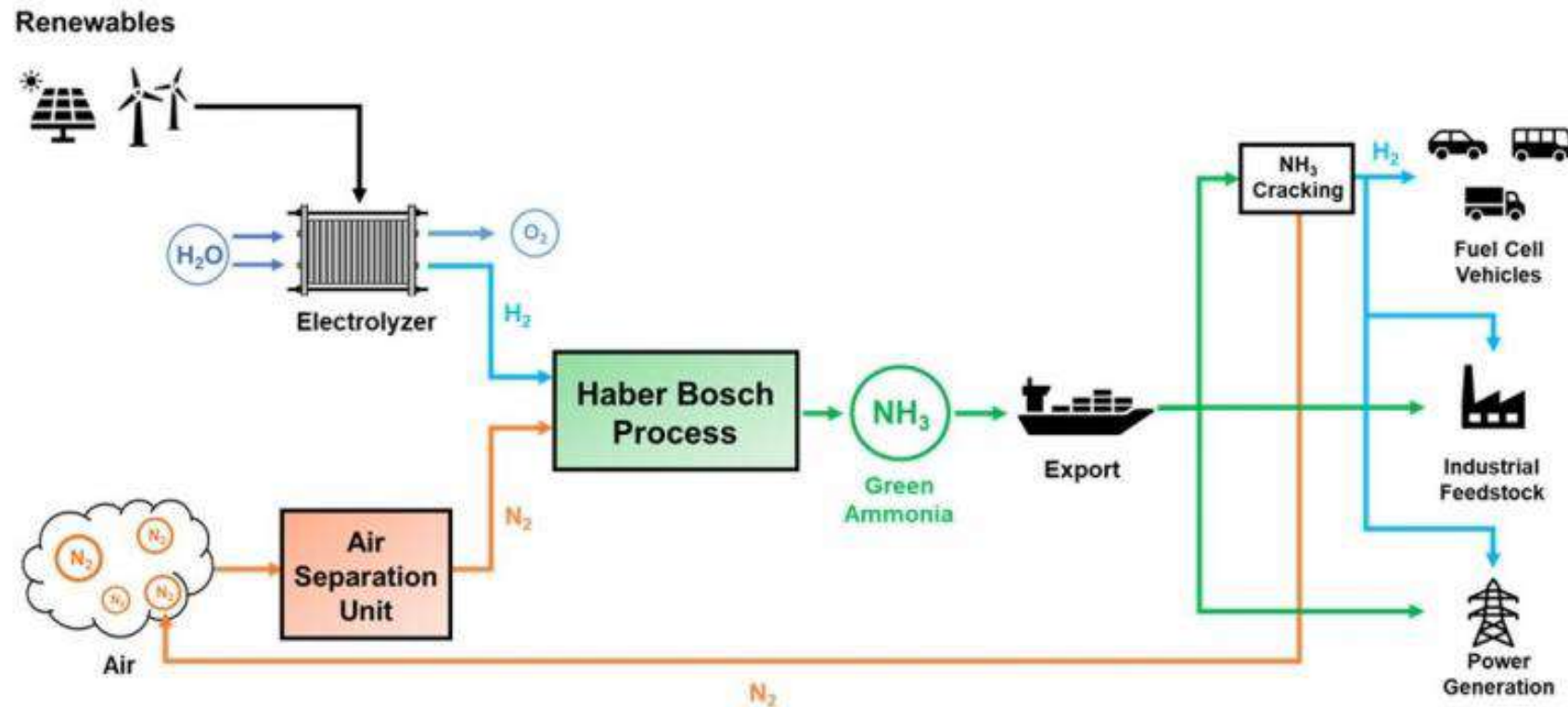
**Costo Adicional
2,3 USD / kg H₂
2030**

Fuentes:

InData, Informe mercado H₂V Chile 2023

Almacenamiento

Químico: Amoniaco



Costo Adicional
1,6 USD / kg H₂
2021



Costo Adicional
1,2 USD / kg H₂
2030

Fuentes:
InData, Informe mercado H2V Chile 2023



Generalidades

Producción

Usos

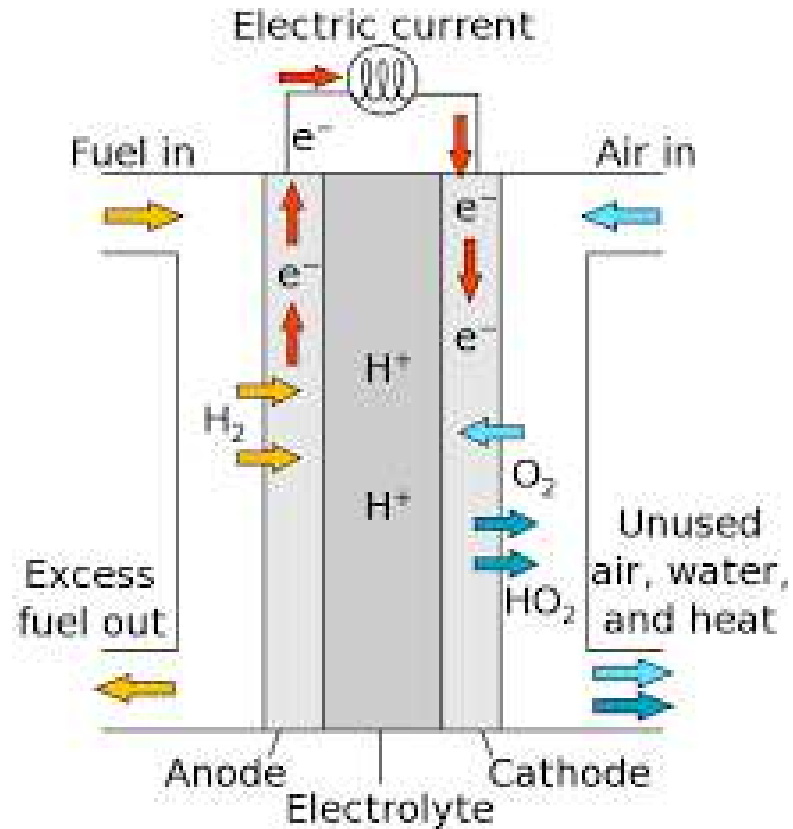
Mercado

Casos

H₂O

Generación de Energía

Fuel Cell: Estacionarias

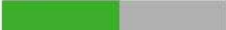


1 MW
Superficie: 12 x 2,4 m
(Container)

Fuentes:
Plug, Megawatt-Scale Fuel Cell Power Generation System

Generación de Energía

Fuel Cell: Power to Power

Fuel Cell Type	Operating Temperature	BOL Electrical Efficiency (LHV)	Typical Applications	Comments
Polymer Electrolyte Membrane (PEM)	<120°C	55% 	• Stationary application • Transportation	Low-temperature operation allows them to start quickly (less warm-up time)
Phosphoric Acid (PAFC)	150 - 200°C	40% 	• Distributed generation • Transportation	Low-temperature More tolerant of impurities in fossil fuels that have been reformed into hydrogen than PEM cells.
Molten Carbonate (MCFC)	600 - 700°C	50% 	• Electric Utility • Distributed Generation	High temperature-type fuel cell.
Solid Oxide (SOFC)	700 - 850°C	64% 	• Electric Utility • Distributed Generation • Transportation	The high-power generation efficiency is more possible for the high temperature-type fuel cell than for the low-temperature type.

Superficie
10 MW – 4000 m²

Descontaminación
< Material Particulado

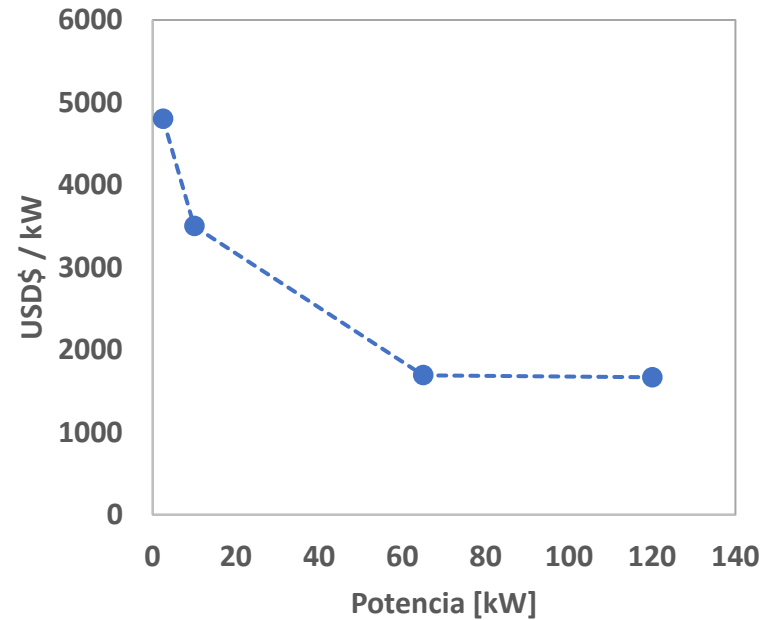
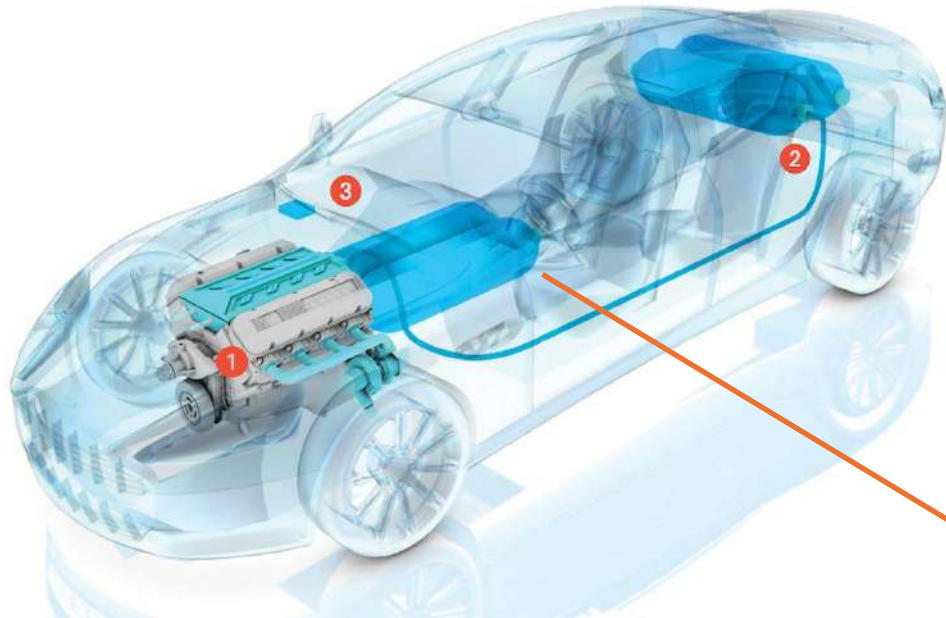
Costo Inversión
800 – 1500 USD / kW

Costo Operación
0,15 USD / kWh

Consumo
0,5 kg H₂ / kWh

Generación de Energía

Fuel Cell - Electromovilidad



15 – 125 kW
0,9 - 7,3 kg H₂ / h

Costo Inversión
1500– 5000 USD / kW



Fuentes:
Horizontal education
Plug, Progen fuel cell

Generalidades

Producción

Usos

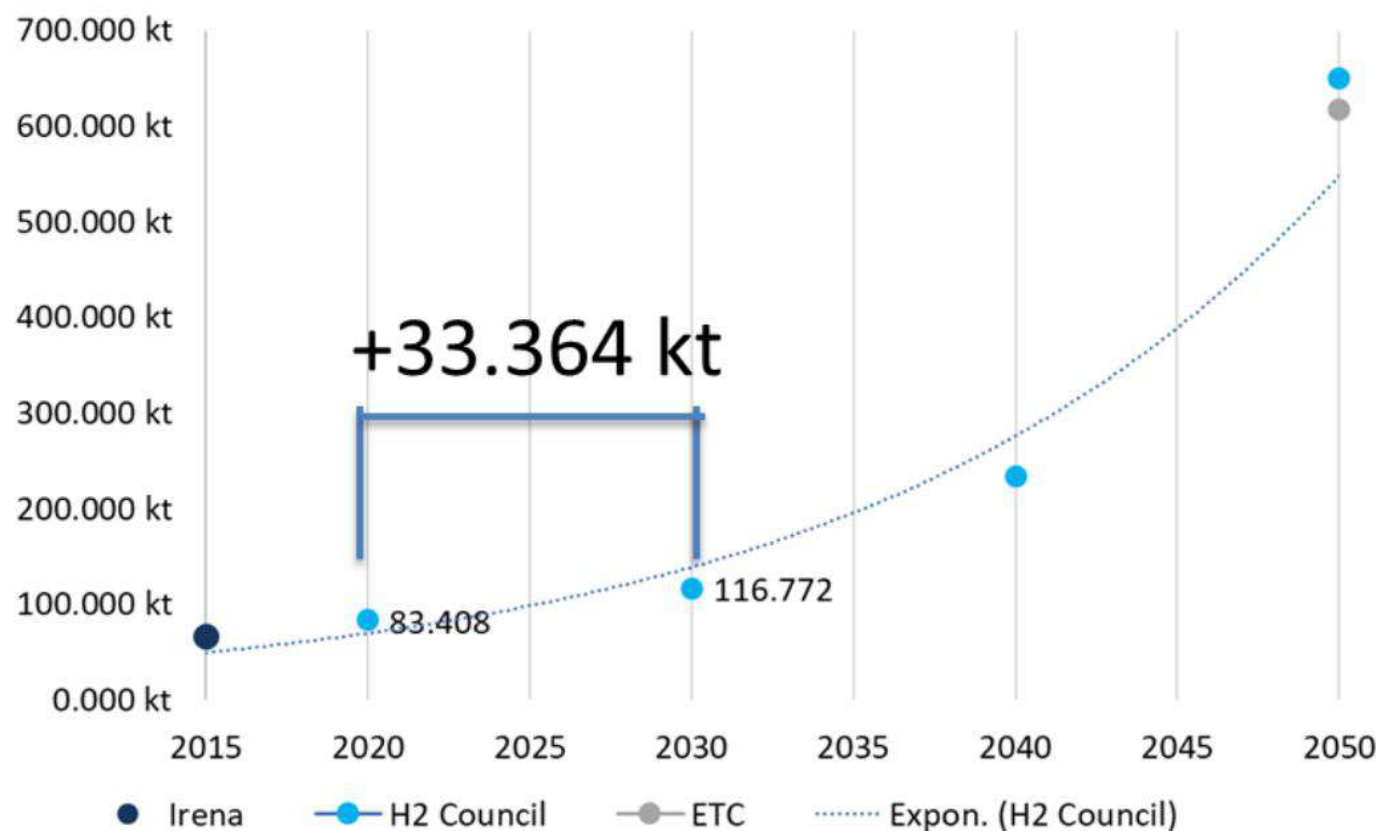
Mercado

Casos

H₂

Proyección Mercado H2V

Global



**+40 %
en 2030**

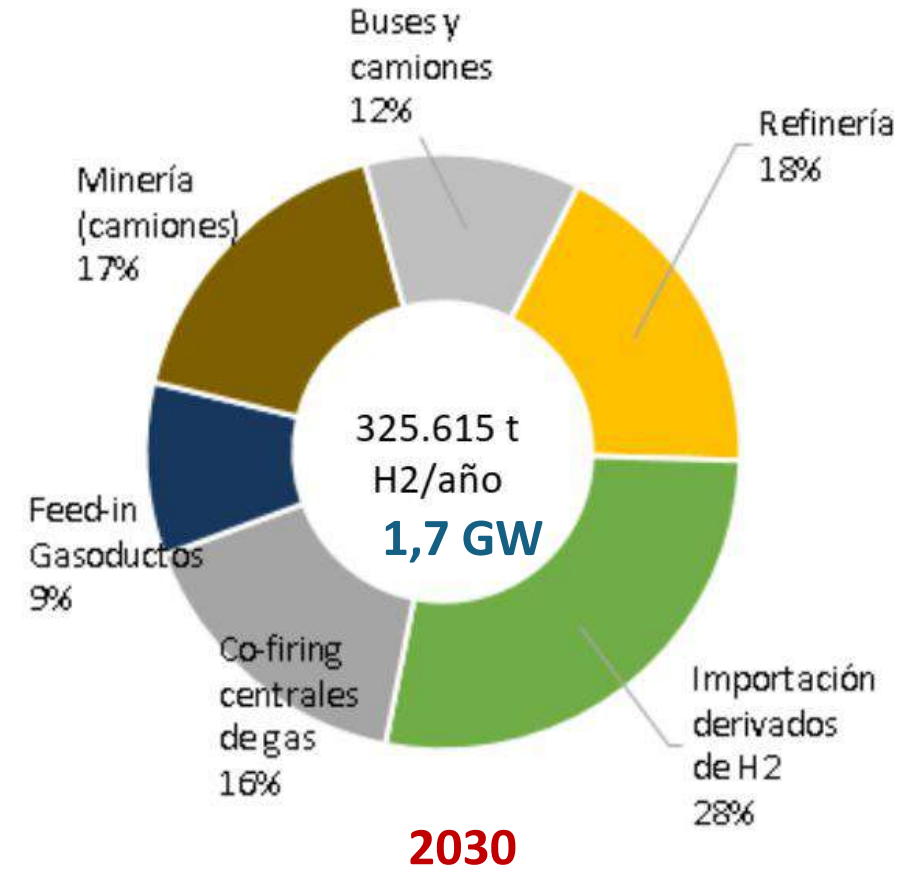
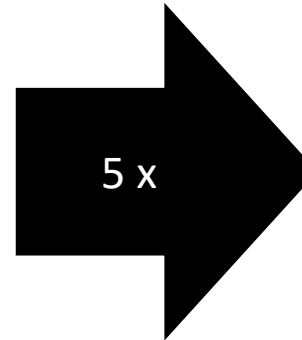
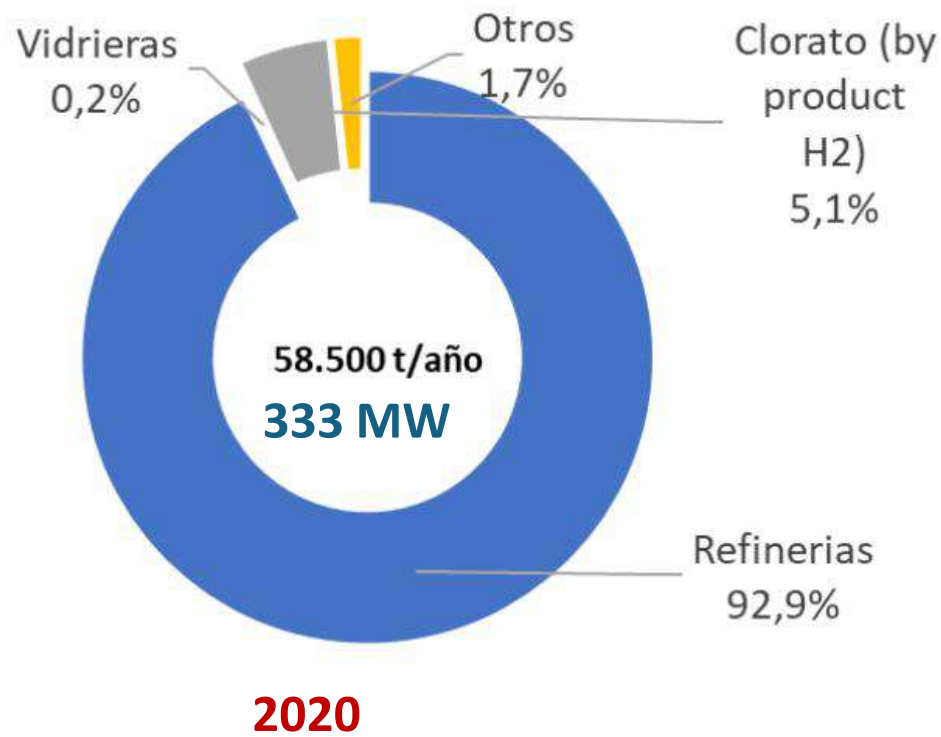
**+150 %
en 2040**

Fuentes:

InData, Informe mercado H2V Chile 2023

Proyección Mercado H2V

Chile: Demanda y penetración

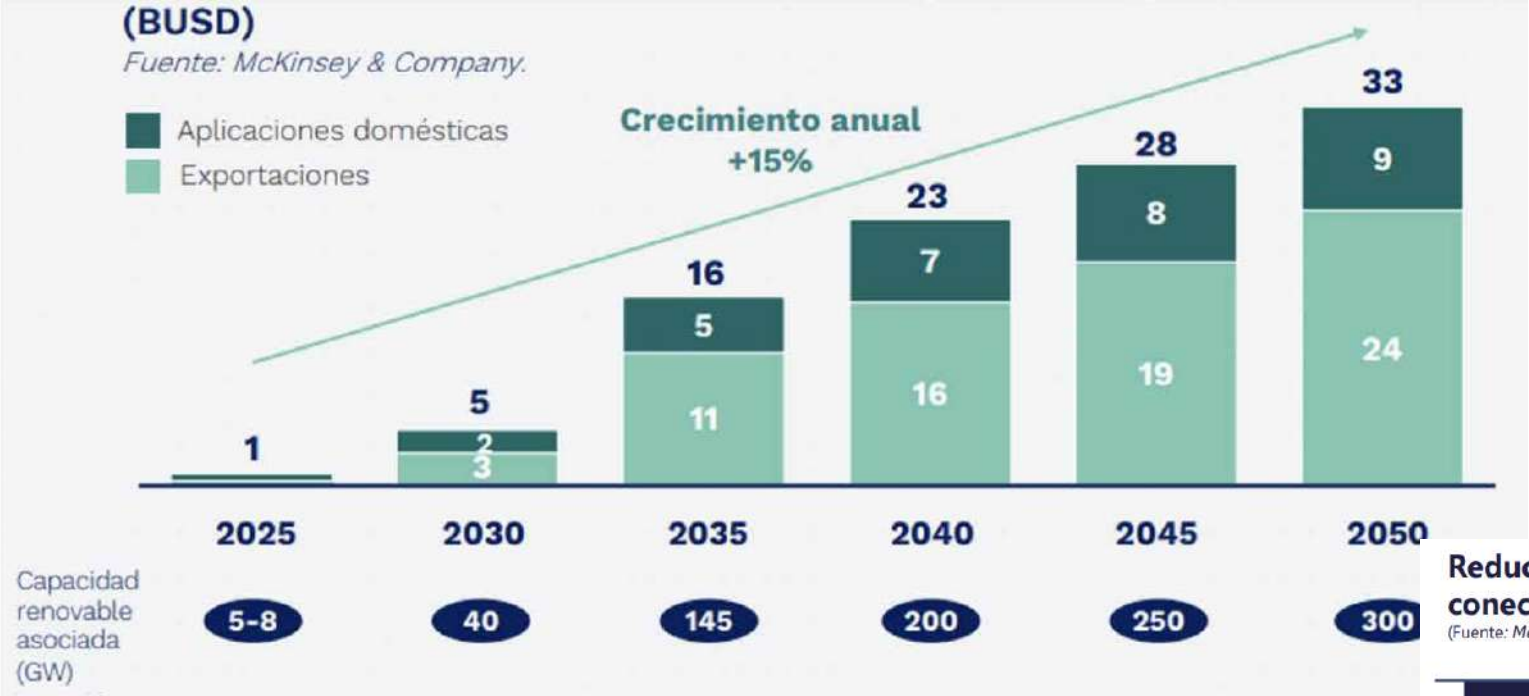


Fuentes:

InData, Informe mercado H2V Chile 2023

Proyección Mercado H2V

Chile: Producción y costo



15x
en 2030

100x
en 2050

Reducción de costos para H₂ con electrólisis conectada directo a planta solar o eólica en Chile
(Fuente: McKinsey & Co)



Fuentes:
InData, Informe mercado H2V Chile 2023
Estrategia Nacional H2V, Ministerior Minería 2020

Generalidades

Producción

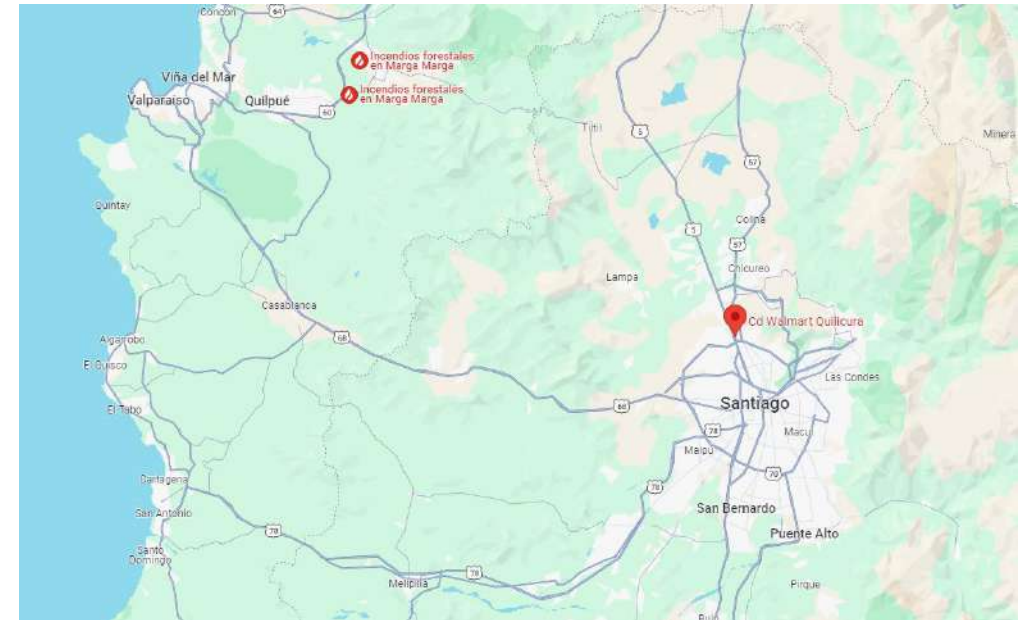
Usos

Mercado

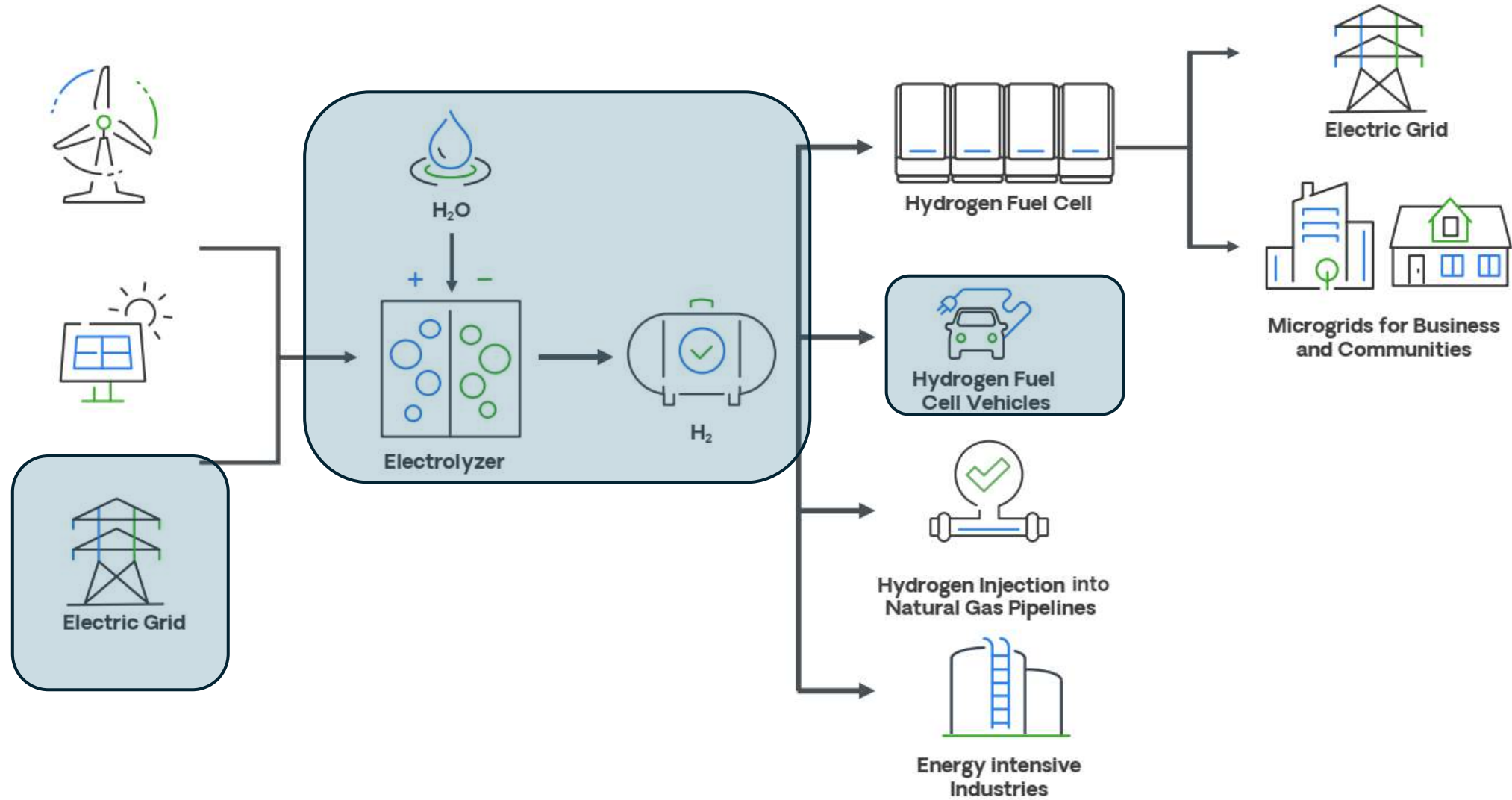
Casos

H₂

Casos: Engie - Walmart



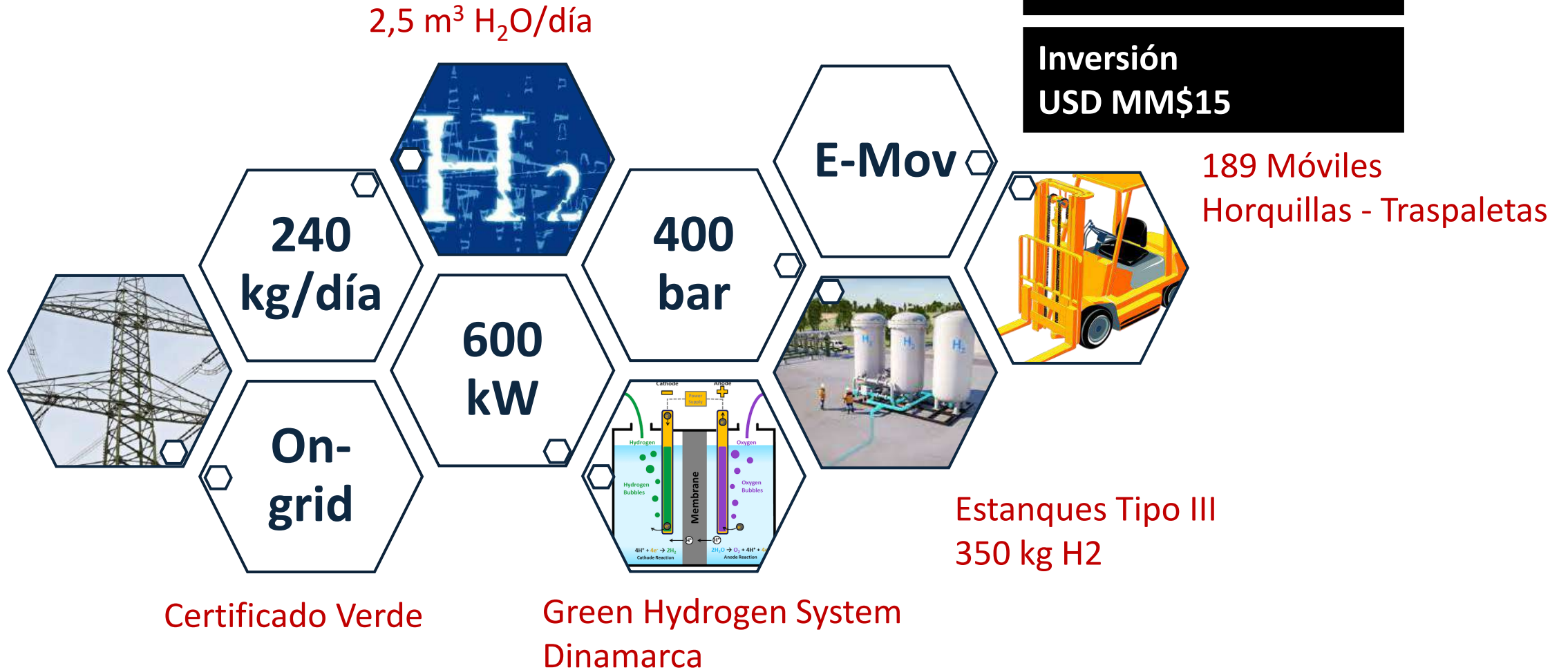
Casos: Engie - Walmart



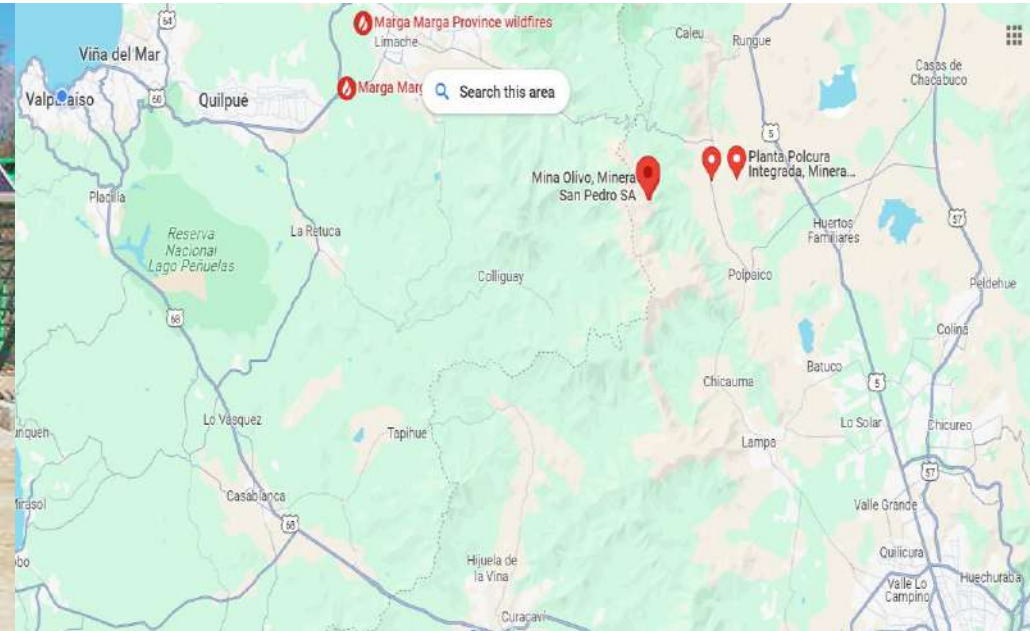
Casos: Engie - Walmart

Plazo
Diseño-Construcción
4 años

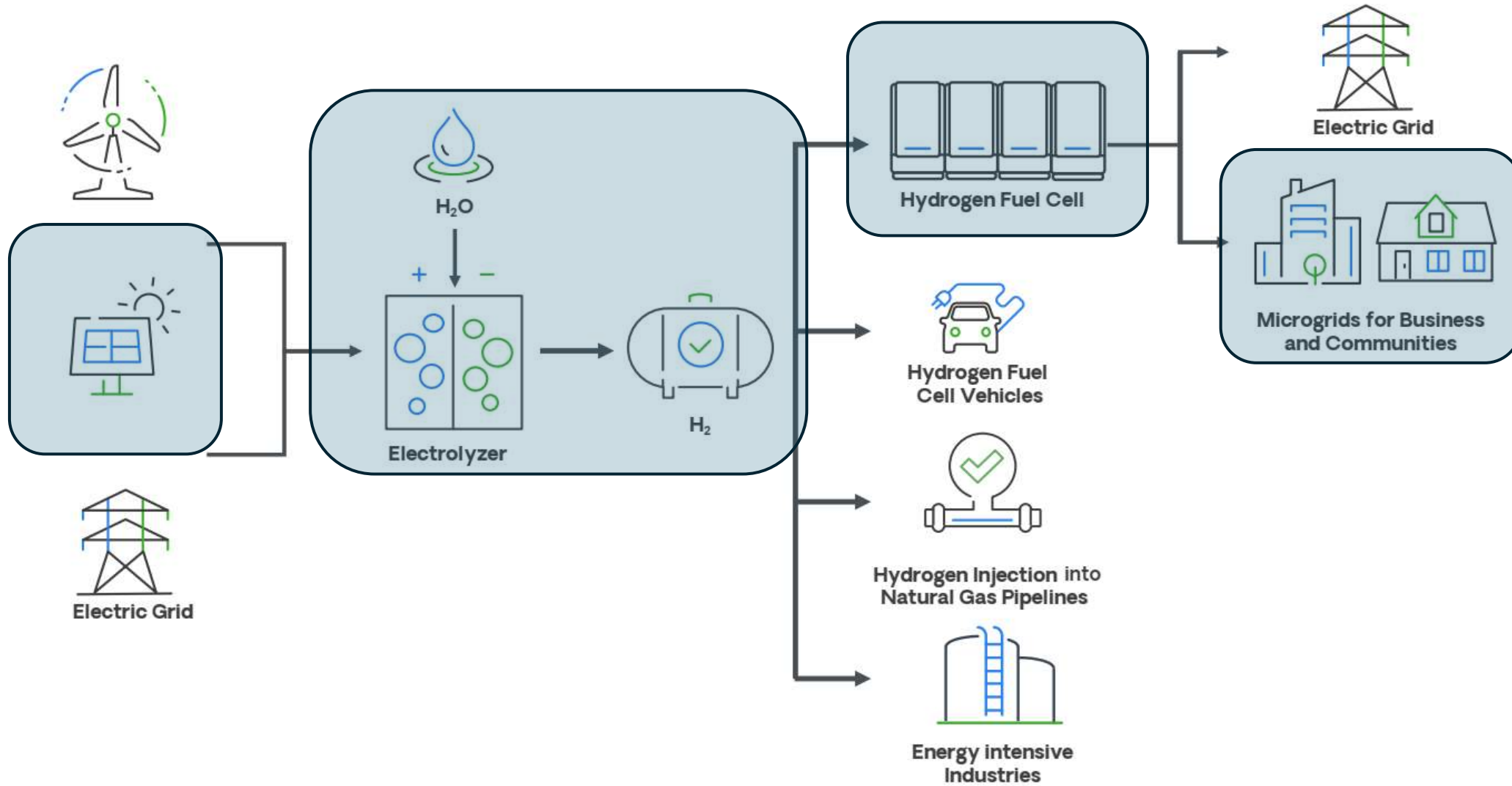
Inversión
USD MM\$15



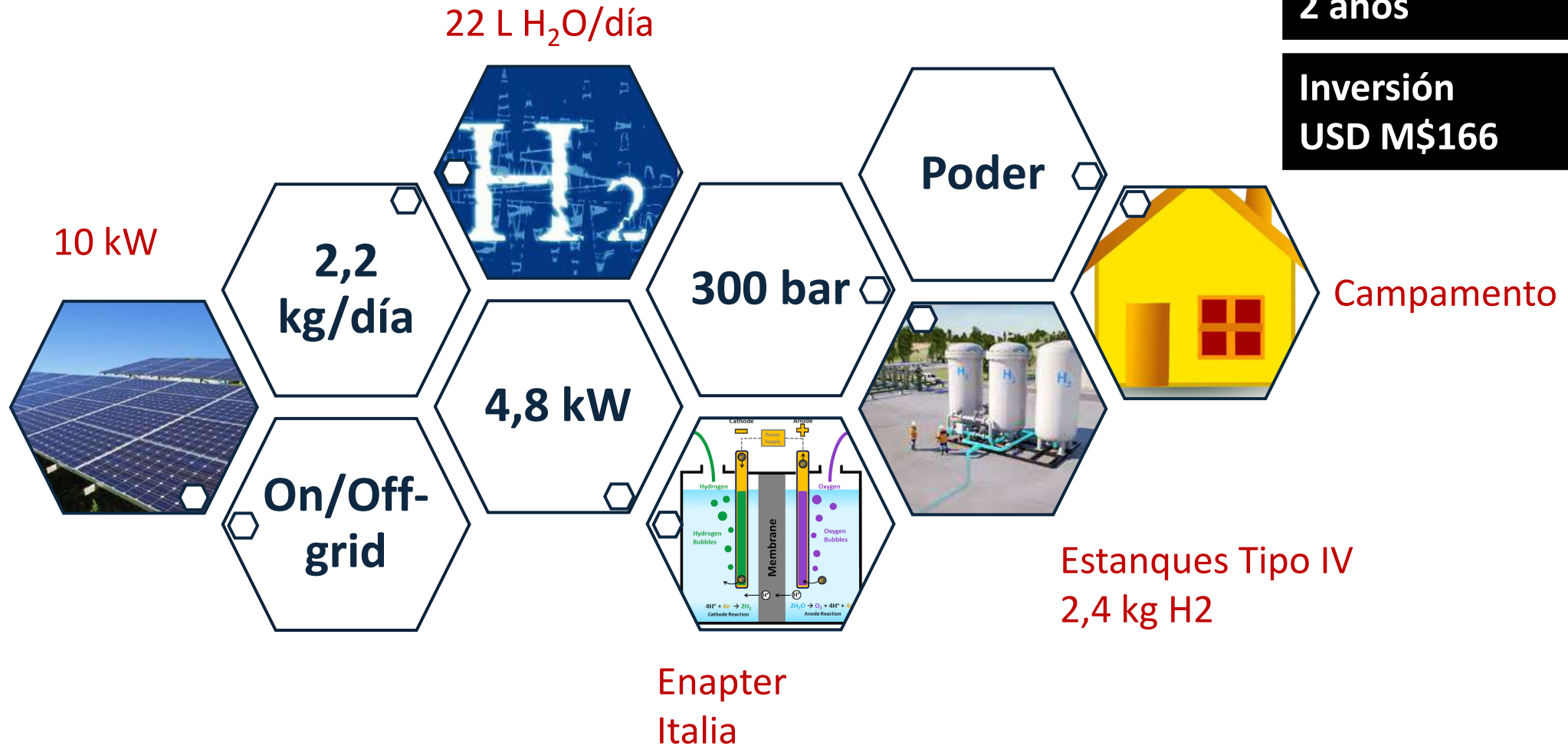
Casos: Minera San Pedro



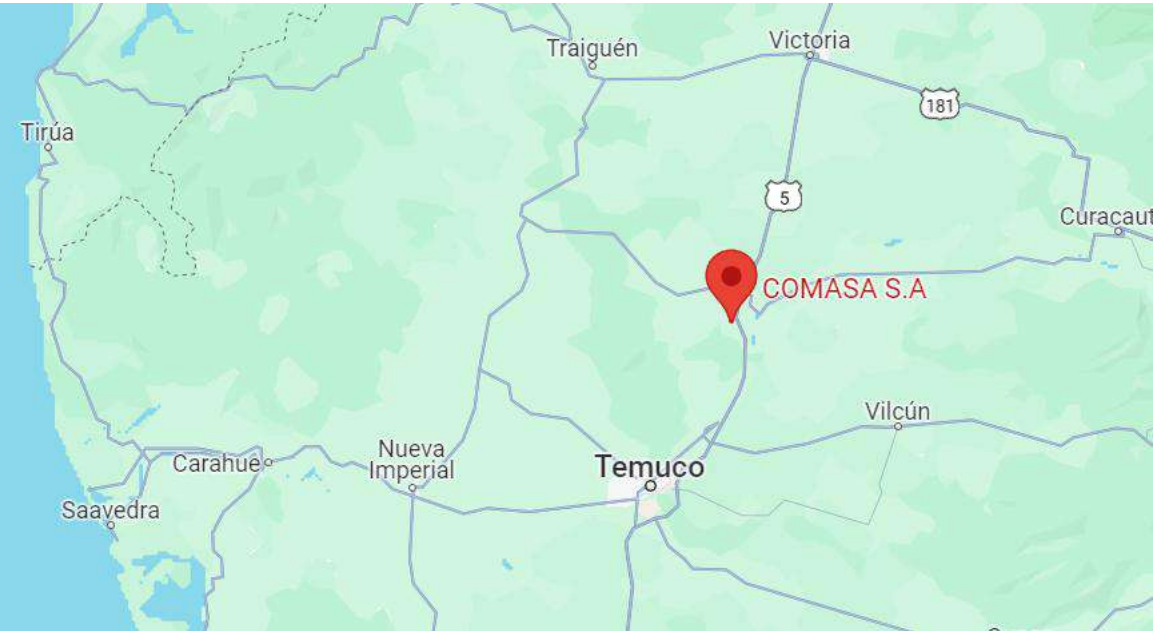
Casos: Minera San Pedro



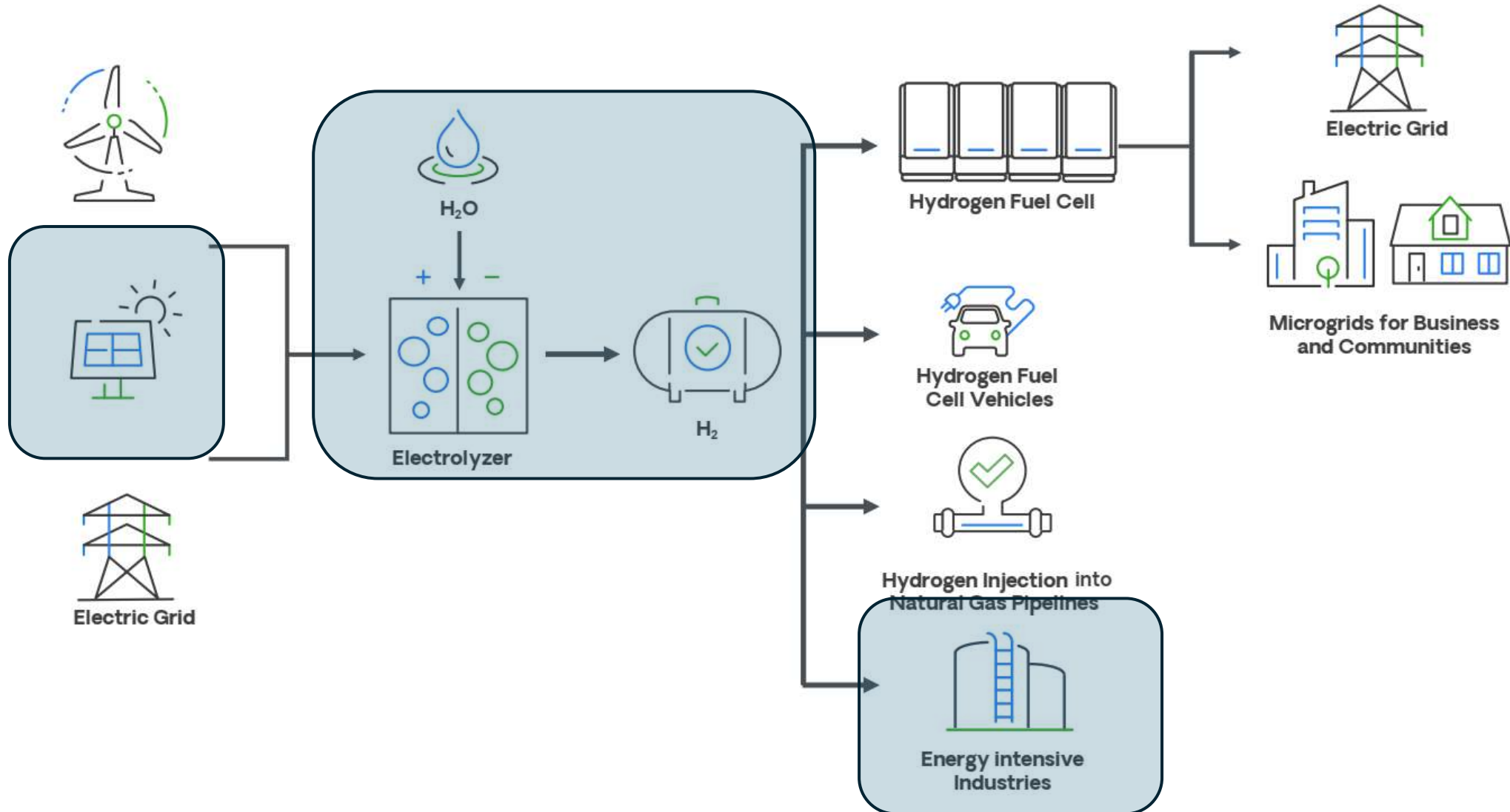
Casos: Minera San Pedro



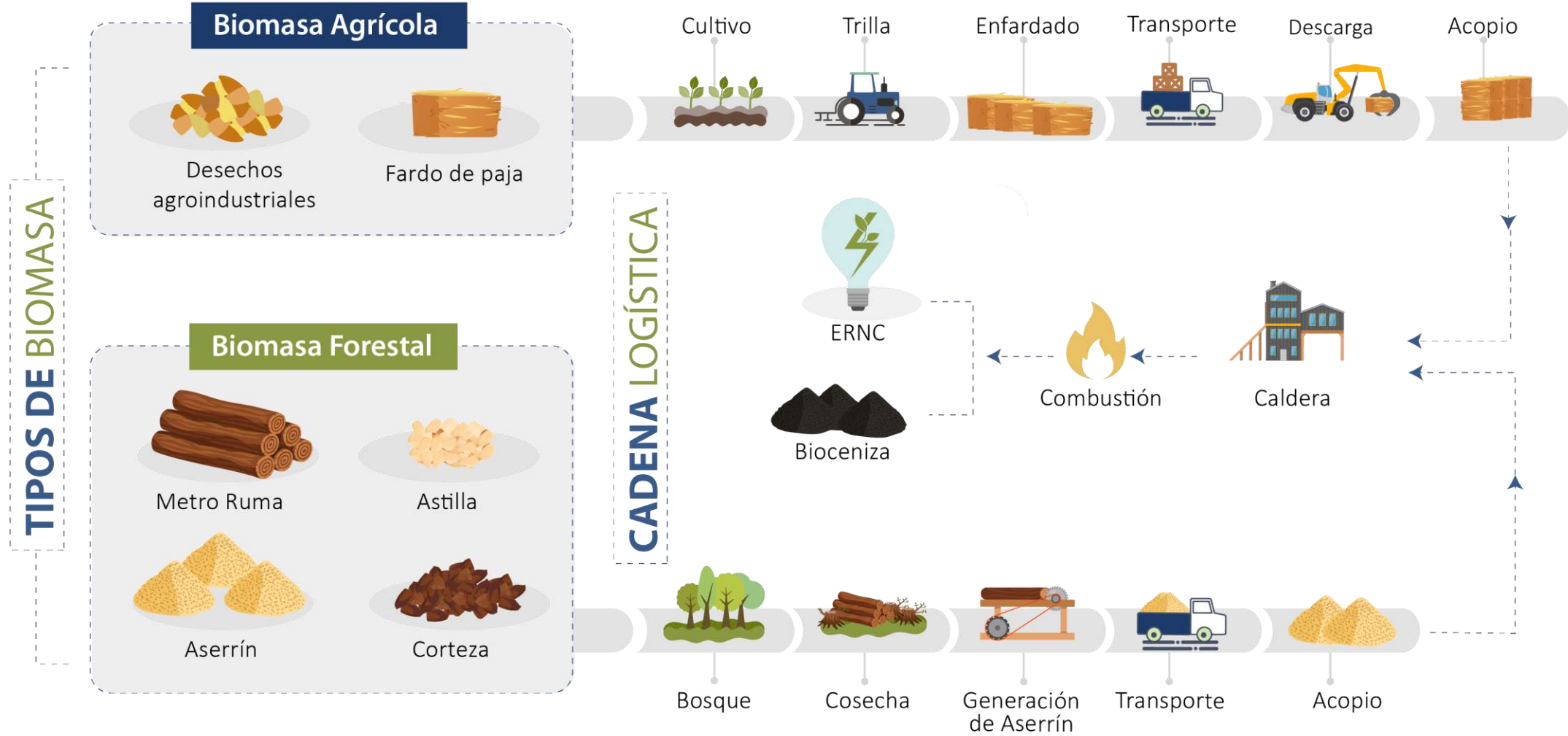
Casos: Comasa



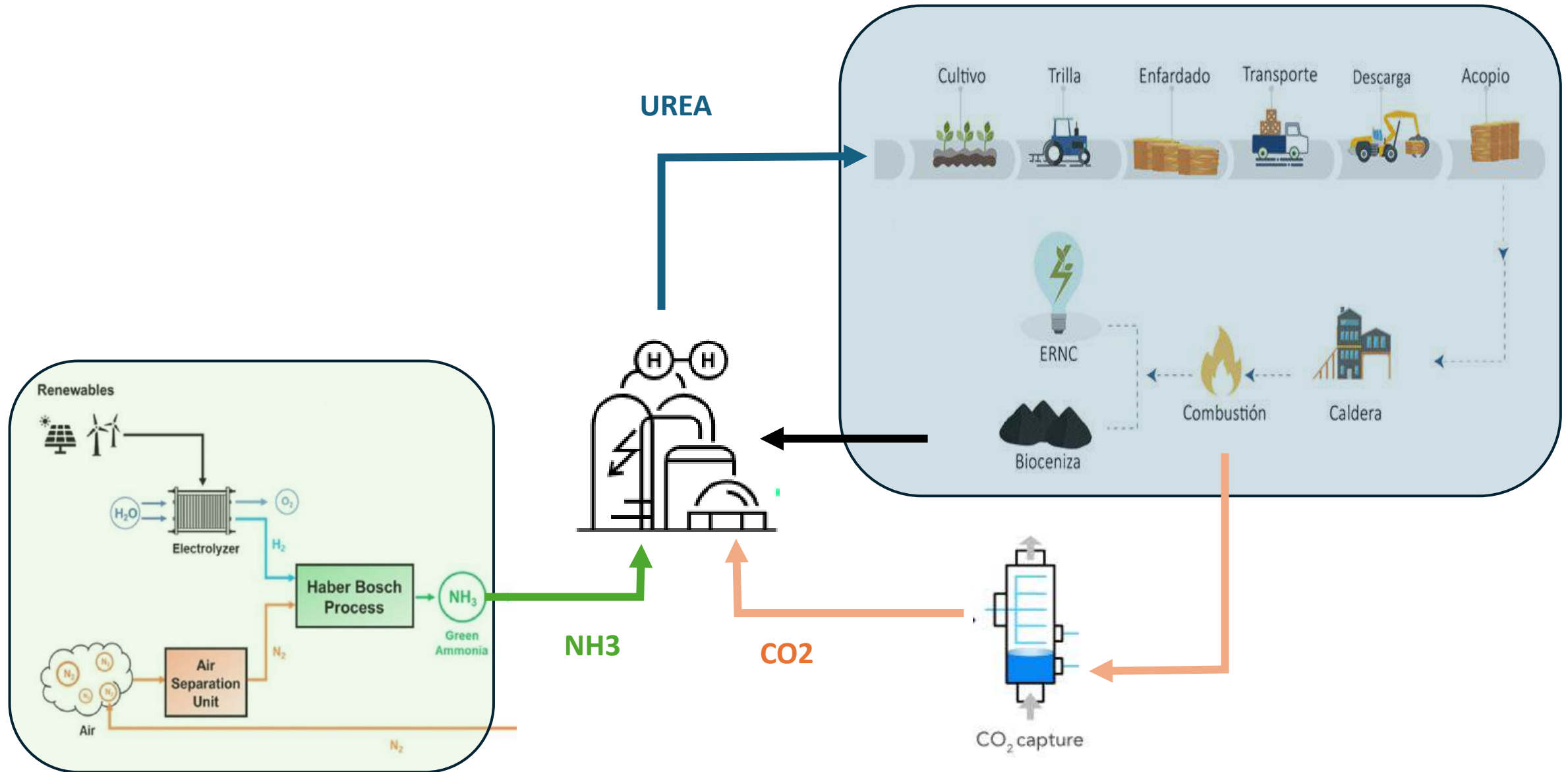
Casos: Comasa



Casos: Comasa



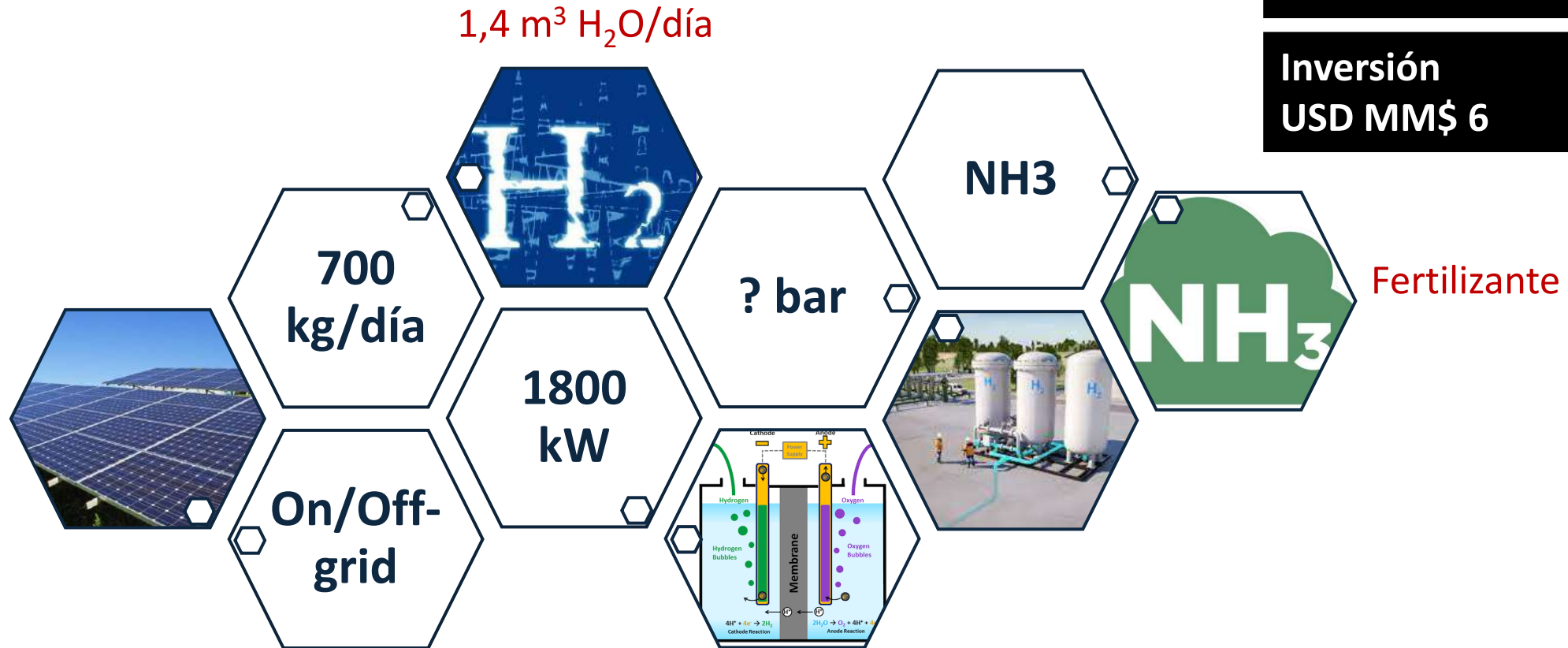
Casos: Comasa



Casos: Comasa

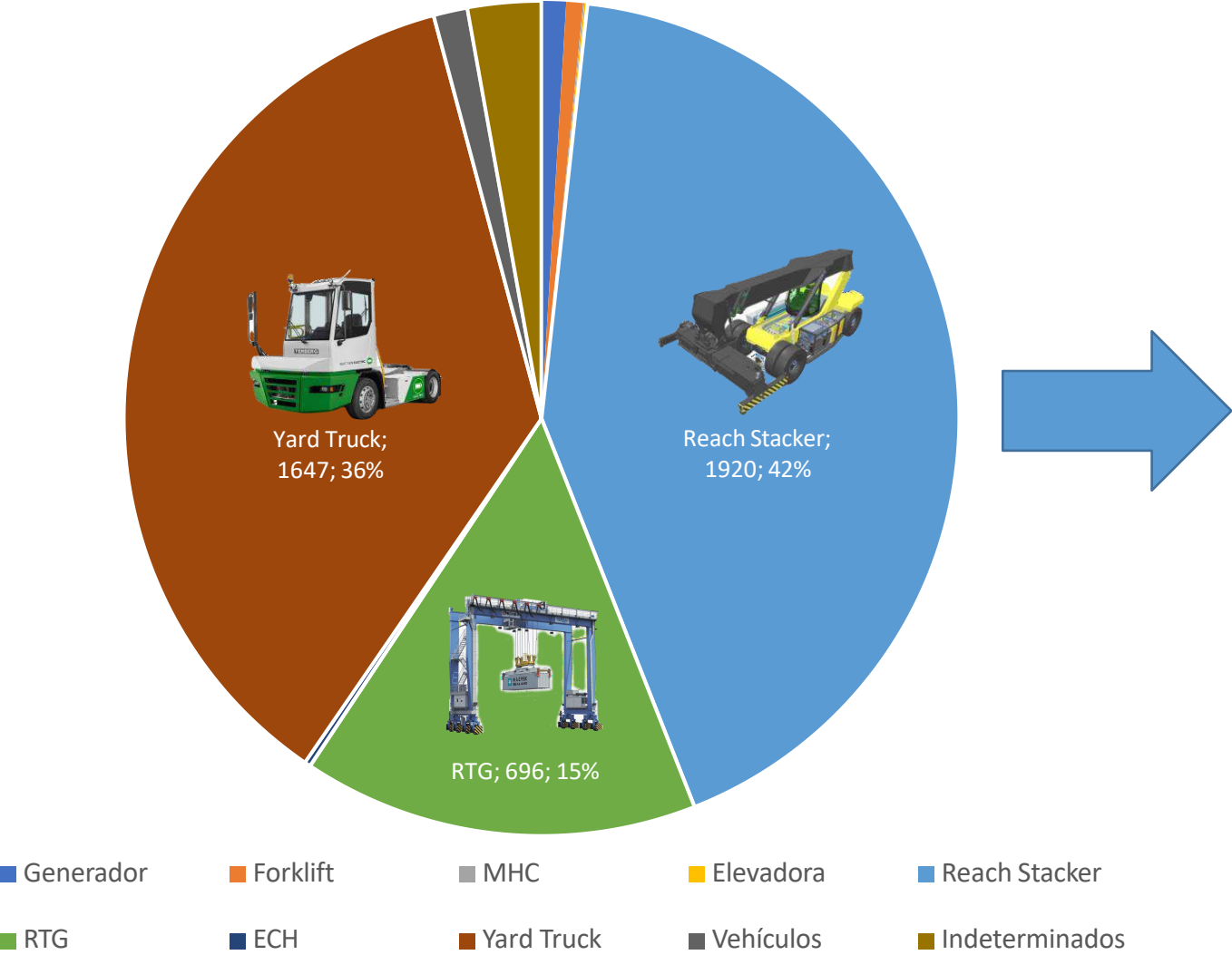
Plazo
Diseño-Construcción
4 años

Inversión
USD MM\$ 6



Distribución por familia del consumo diésel [m³]

Consumo Diésel del Puerto X [m³]



Reach Stacker (42%)

- 1.920 [m³] de diésel anual
- 5.185 [ton] de CO₂ anual

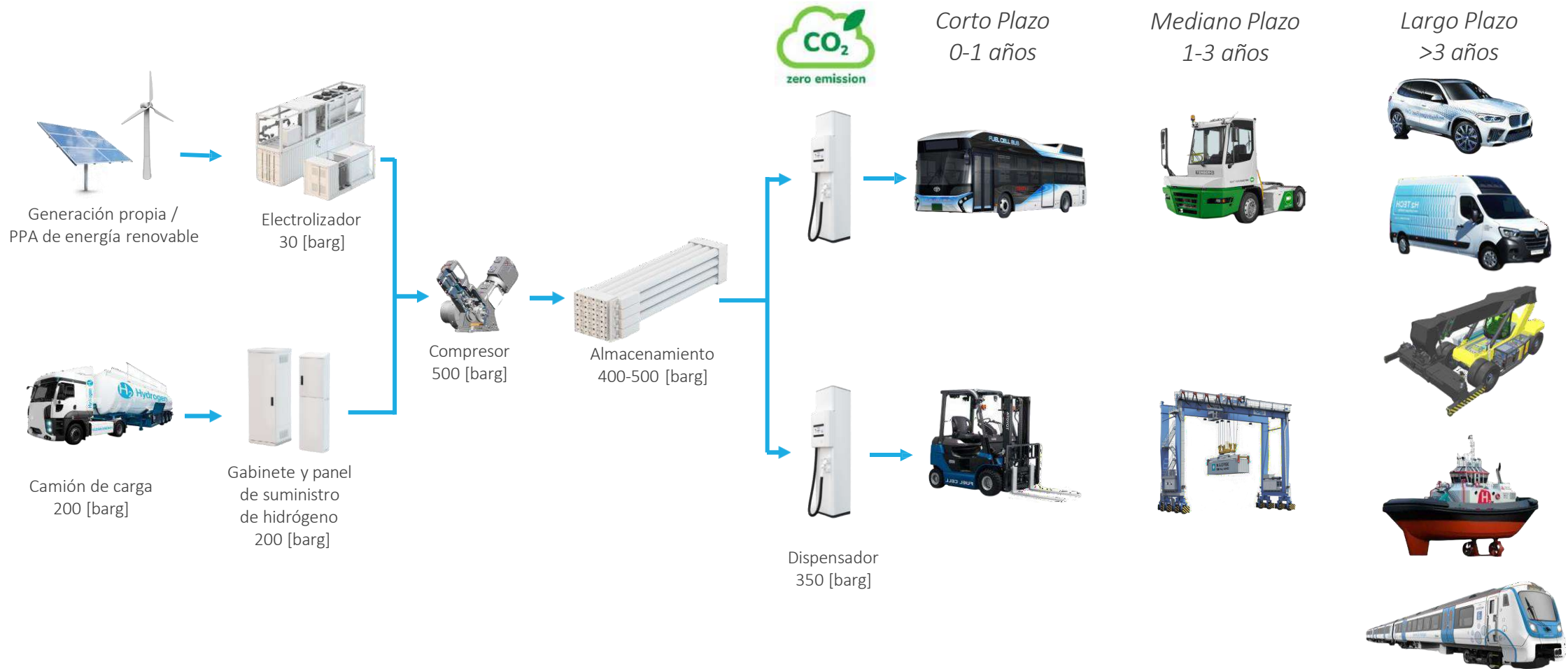
Yard Truck (36%)

- 1.647 [m³] de diésel anual
- 4.447 [ton] de CO₂ anual

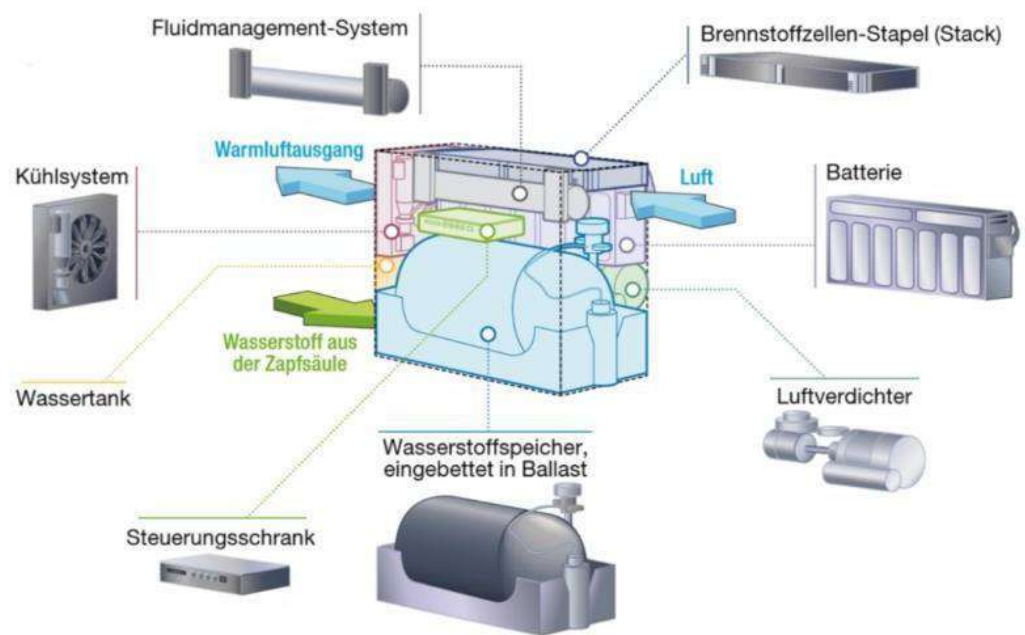
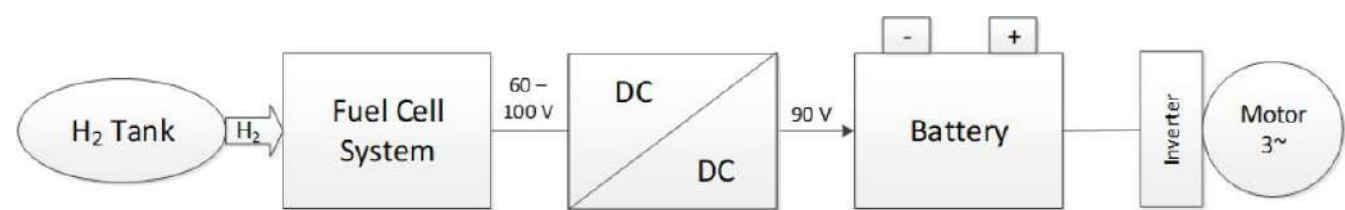
RTG (15%)

- 696 [m³] de diésel anual
- 1.879 [ton] de CO₂ anual

Esquema de una planta H2V modular



¿Cómo funciona la electromovilidad con H2V?



Componentes	Descripción
Tanque H2	Almacenado de H2 comprimido (recargado desde la estación de suministro de H2 Fuel Cell)
Compresor	Entrada de aire a presión equivalente a la cantidad de Fuel Cell que existan.
Fuel Cell	Conexión en serie de Fuel Cell. Producción de energía a través de la reacción química entre el hidrógeno y el aire (oxígeno).
Manejo de fluidos	Controla el flujo de aire y la humidificación del aire a través de las pilas de combustible “Fuel Cells” (utiliza la producción de agua de las Fuel Cells).
Batería de reserva	Suministra la energía para a su vez, entregar la potencia máxima al tren de transmisión.
Cooler / tanque de agua	Circuito de enfriamiento del sistema.
Controlador	Manejo del modulo de Fuel Cell – Controla la salida de temperatura, presión y tensión.

Retrofit RTG

Vector energético

Modulo de generación



Valor del RTG
2 [MM USD]



Desechos



Peso RTG
140,5 [Ton]



28,32 [m]



13,49 [m]

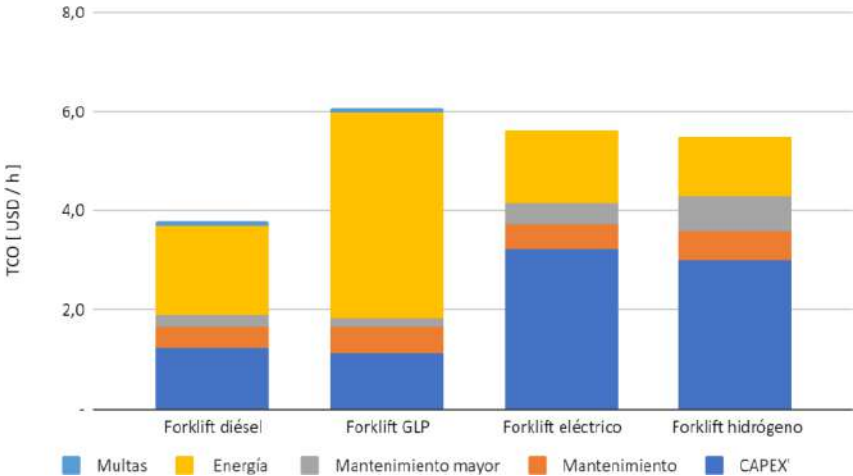
29,87 [m]



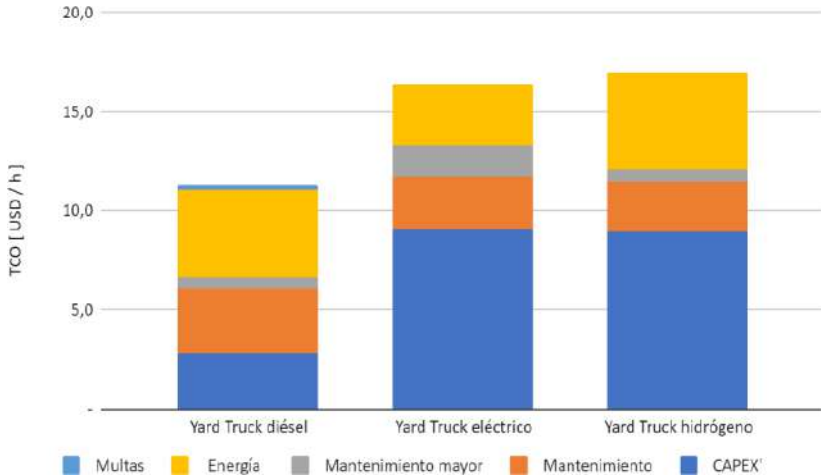
Estudio Realizado en el Puerto X

Multa CO2eq (US\$/ton)	Diésel (US\$/l)	Electricidad (US\$/kWh)	GLP (US\$/kg)	Hidrógeno (US\$/kg)	CAPEX Eléctrico (%)	CAPEX Hidrógeno (%)
15	1,0	0,20	2,2	5,5	0%	0%

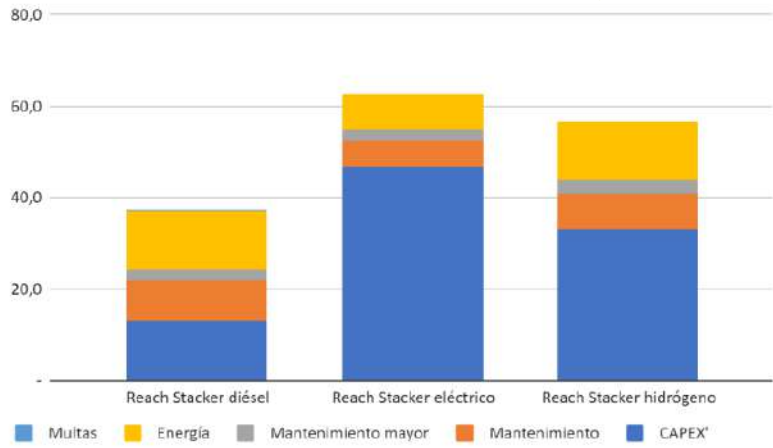
TCO Forklift



TCO Yard Truck

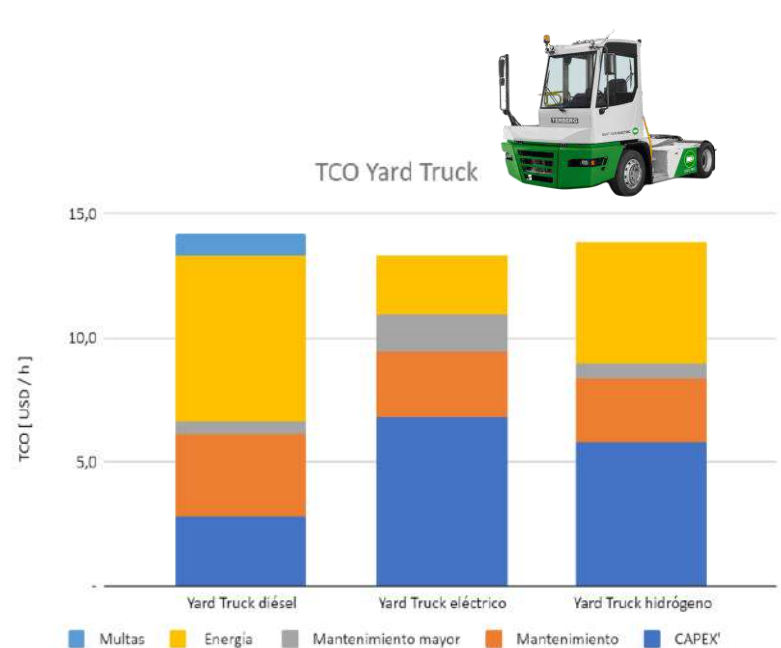
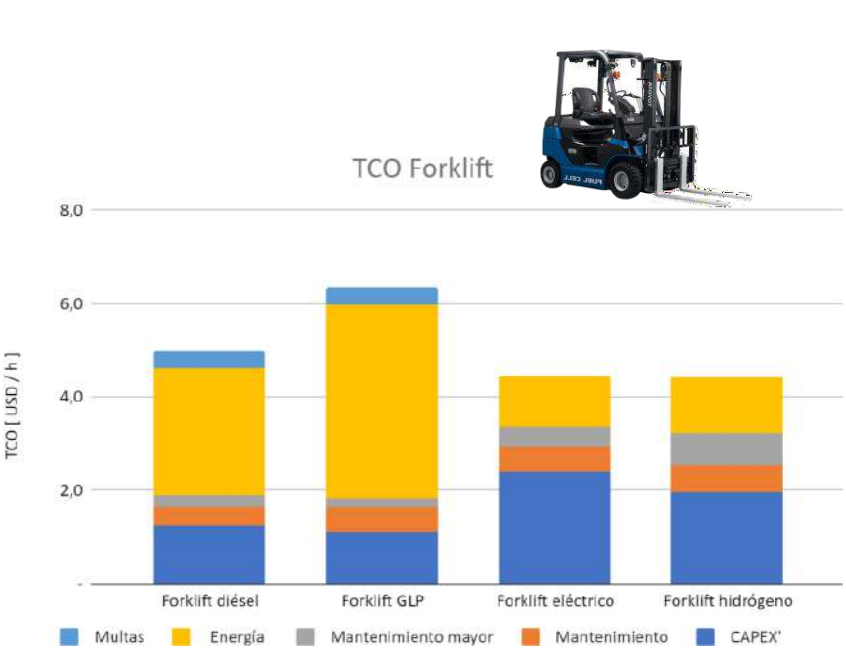


TCO Reach Stacker



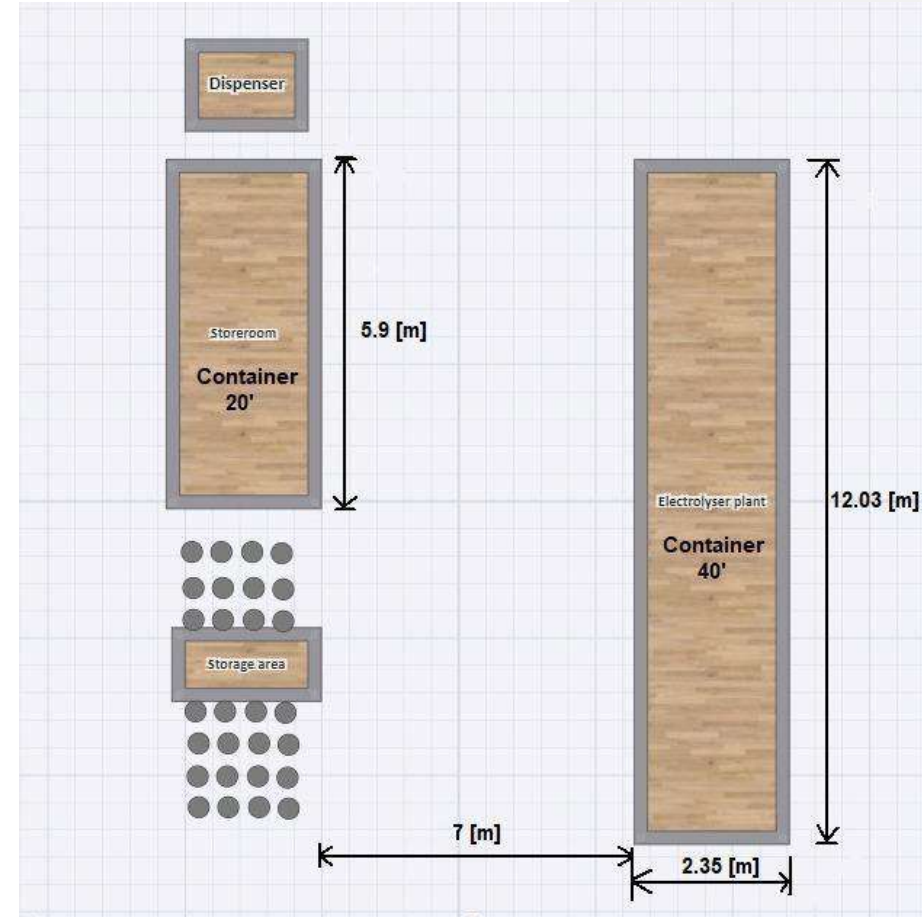
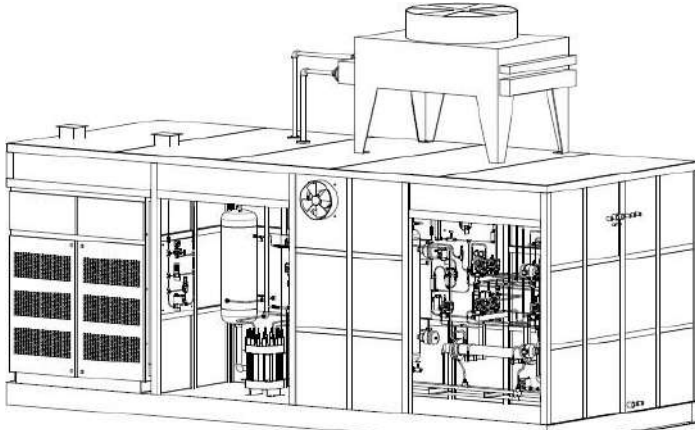
Estudio Realizado en el Puerto X

Multa CO2eq (US\$/ton)	Diésel (US\$/l)	Electricidad (US\$/kWh)	GLP (US\$/kg)	Hidrógeno (US\$/kg)	CAPEX Eléctrico (%)	CAPEX Hidrógeno (%)
75	1,5	0,15	2,2	5,5	-25%	-35%



Esquema de una planta H2V modular

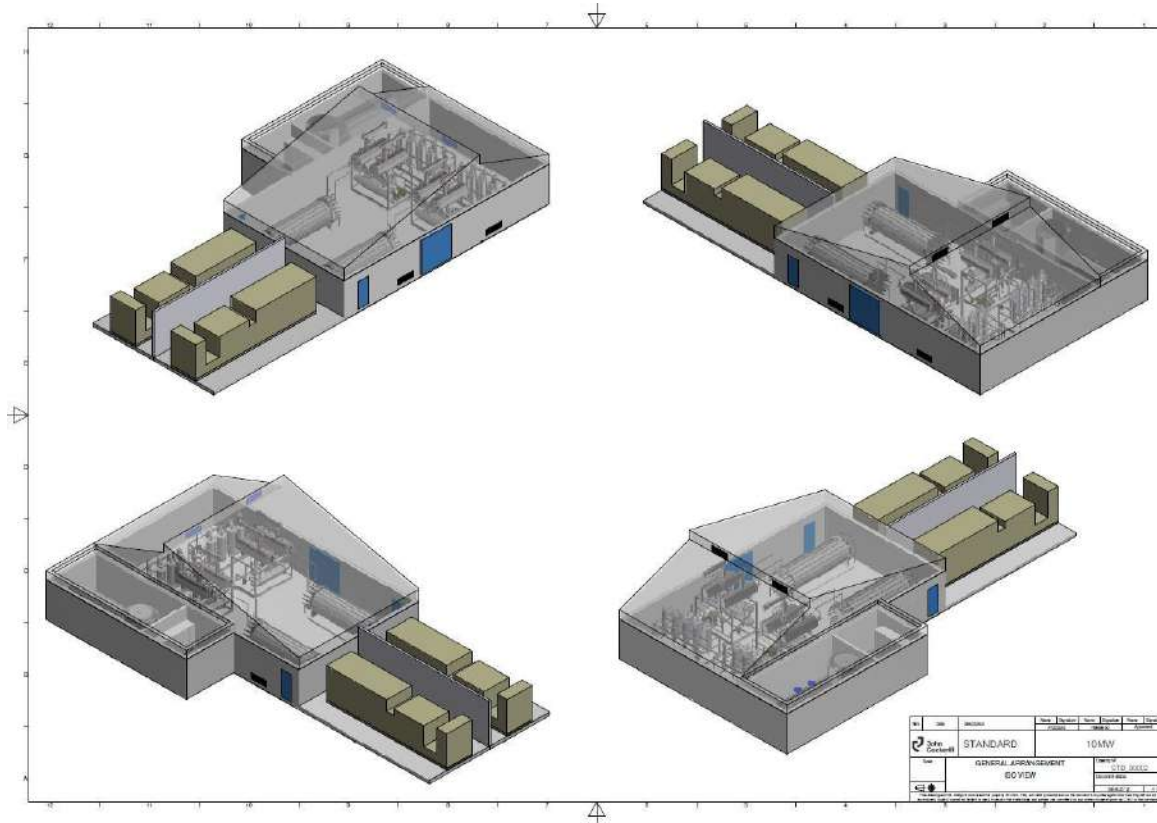
Modelo Planta 200 [kW] de electrólisis alcalina



Superficie $\approx 200 [m^2]$

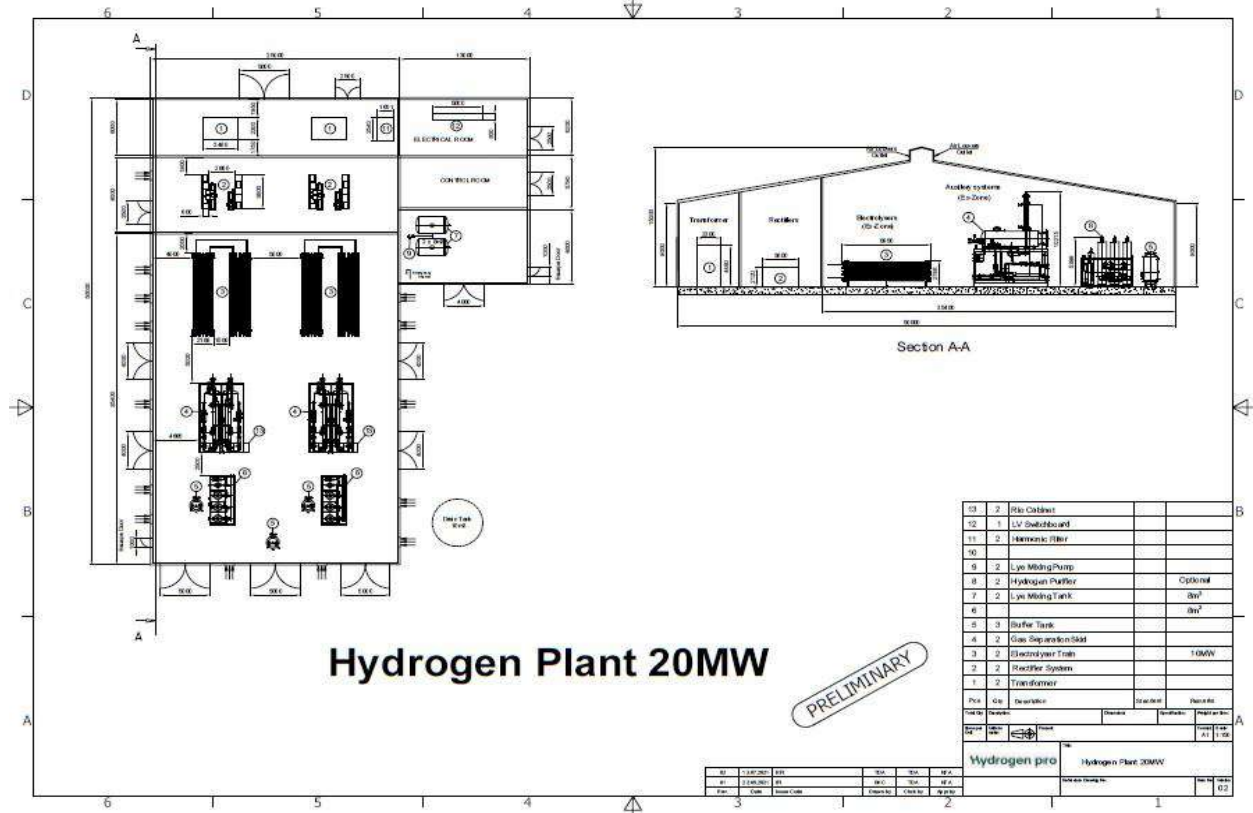
Esquema de una planta H2V modular

Layout Planta 10 [MW] de electrólisis alcalina



Superficie $\approx 560 [m^2]$

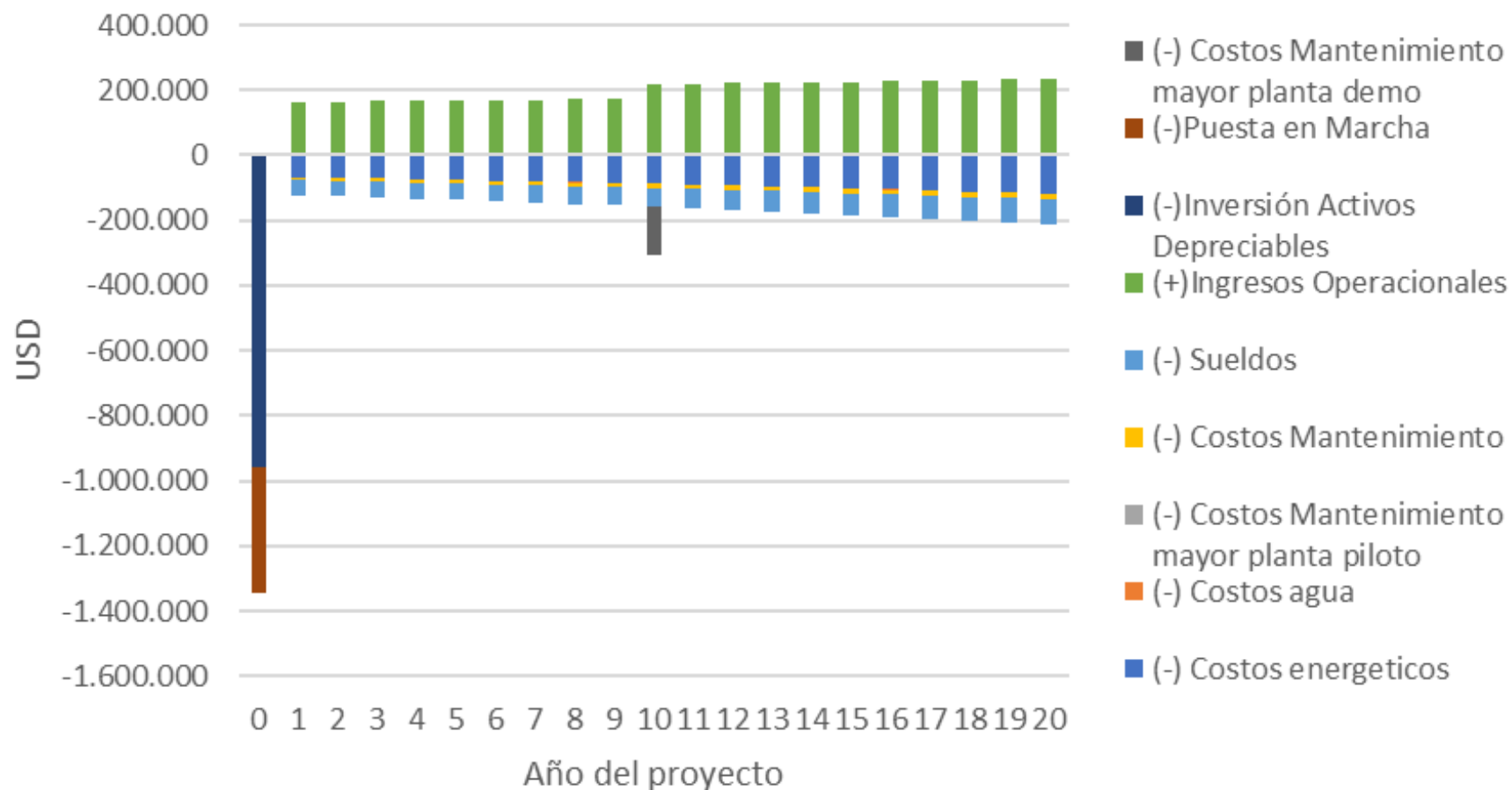
Layout Planta 20 [MW] de electrólisis alcalina



Superficie $\approx 1,900 [m^2]$

Flujo de caja planta

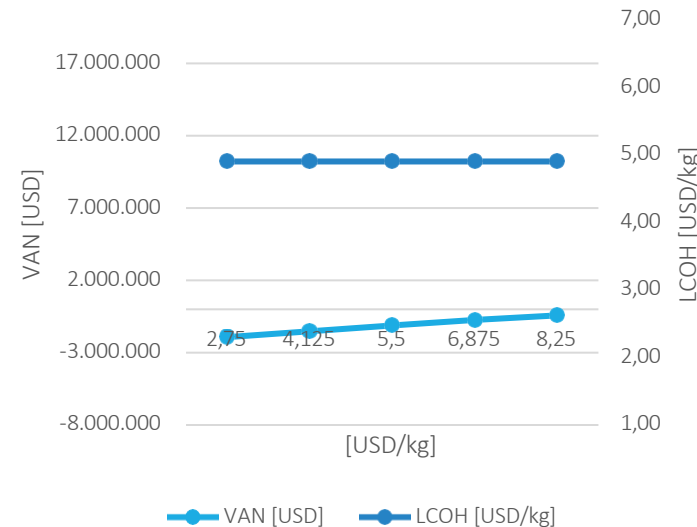
Flujo de caja, HQHP, 200 [kW]



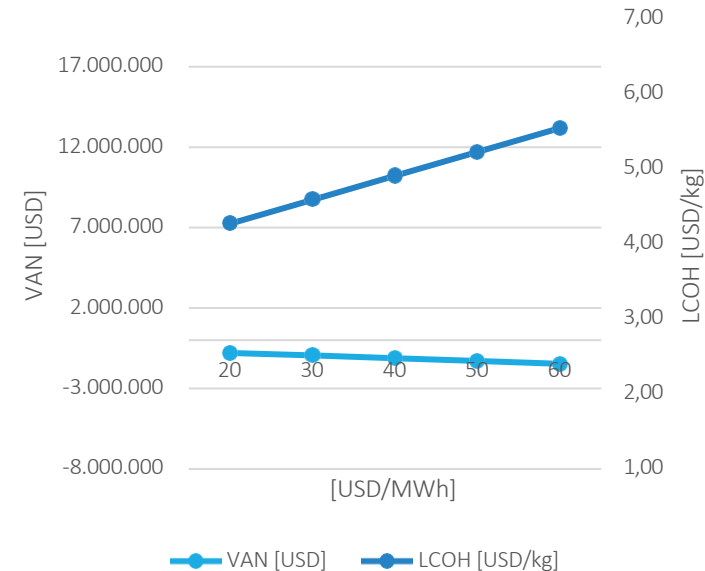
Indicador	Valor
VAN [USD]	-1.111.507
TIR [-]	-
LCOH [USD/kg]	4,91
CAUE [USD]	-111.151
IVAN [-]	17%
Payback [años]	N.A.

Análisis sensibilidad Planta

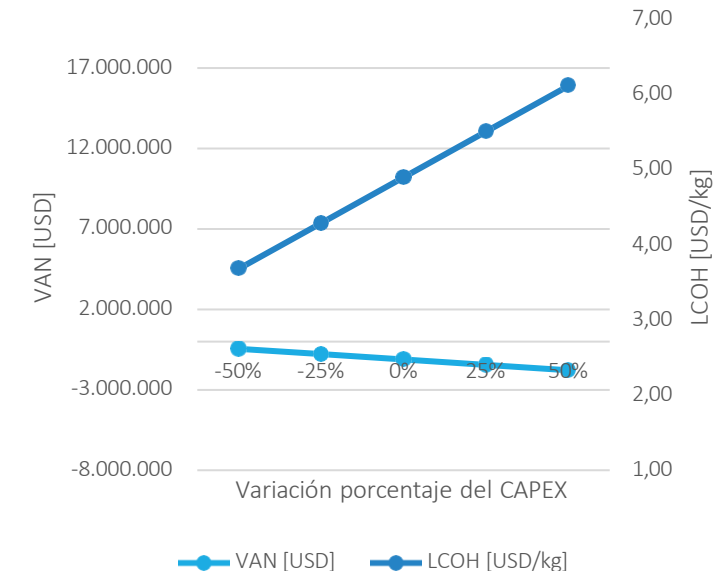
Sensibilidad al precio de venta del hidrógeno



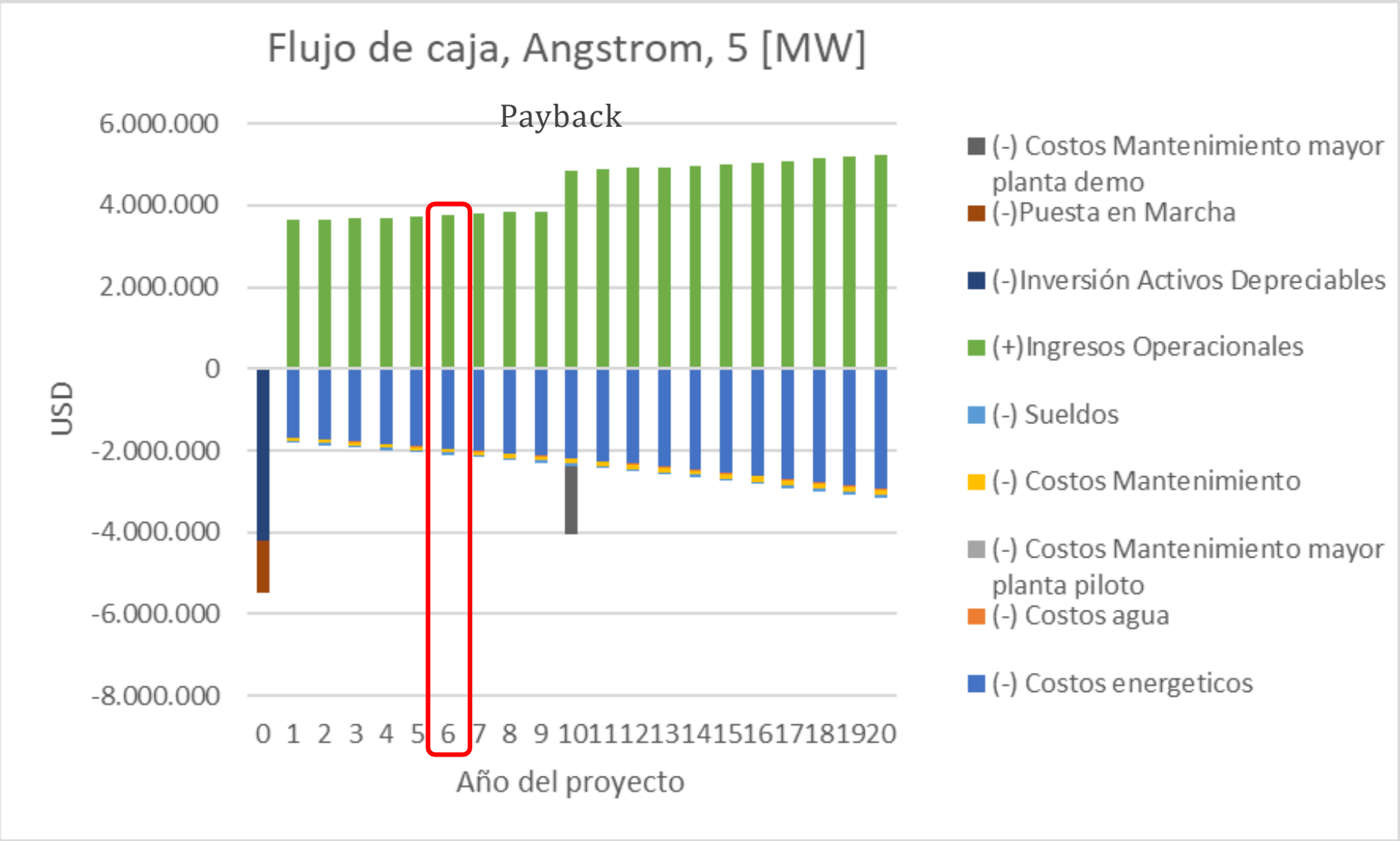
Sensibilidad al precio de la energía



Sensibilidad al CAPEX EWK



Flujo de caja planta Piloto



Indicador	Valor
VAN [USD]	6.583.917
TIR [-]	25%
LCOH [USD/kg]	2,07
CAUE [USD]	658.392
IVAN [-]	220%
Payback [años]	6

CASOS DE ESTUDIO

APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA LOCAL

RUBROS ANALIZADOS

- ✓ Puerto granelero
- ✓ Puerto almacenamiento y carga
- ✓ Cemento, hormigón y áridos
- ✓ Refinerías
- ✓ Minería y fundiciones
- ✓ Celulosa y papel
- ✓ Vinícola
- ✓ Tratamiento de aguas residuales
- ✓ Residencial y comercial





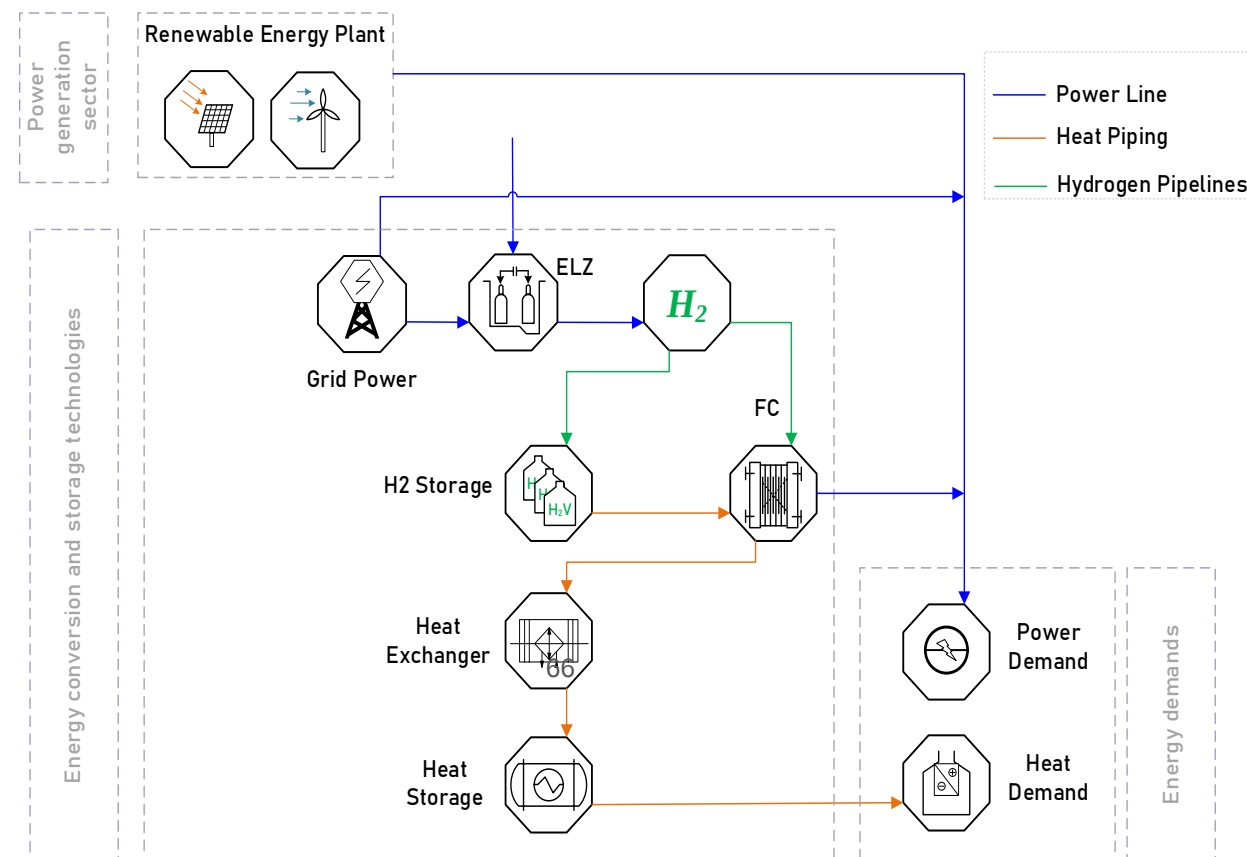
Casos de Estudio

Configuración de tecnologías consideradas en los escenarios

	PPA	PV/ Wind	ELZ	FC	H ₂ Storage	Electricity demand	Heat demand
1	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓

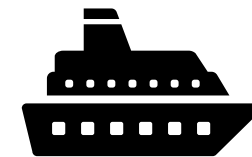
Parámetros estandarizados para comparación de escenarios

- Costo Nivelado de la Electricidad (LCOE):
- Fracción de Carga Satisfecha (SLF):
- Factor de interacción energética de la red (GEIF):
- Costo Nivelado del Hidrógeno (LCOH): LCOH (US\$/kgH₂)





Casos Aplicados en la Industria



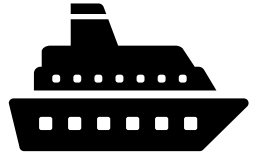
Puerto Almacenamiento y Carga (C1) vs Puerto Granelero (C2)

Escenario	LCOE [US\$/kWh]		LCOH [US\$/kg _{H2}]		SLF [%]		GEIF [%]	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
1	0.081	0.142	1.76	3.06	0.55	0.94	-	-
2	0.038	0.037	8.12	2.36	-	-	0.89	0.14
3	0.119	0.118	2.36	2.36	-	-	0.32	0.13
4	0.032	0.050	0.63	0.99	-	-	1.73	0.53

*** Sin incluir la compresión del H₂

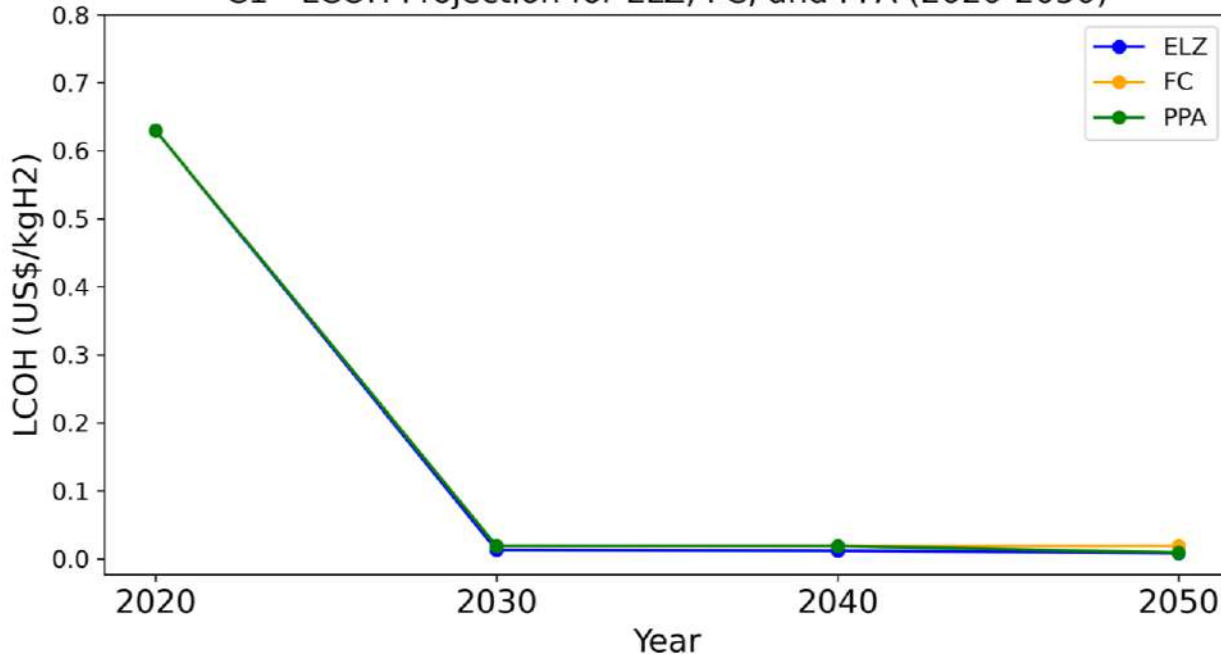


Casos Aplicados en la Industria

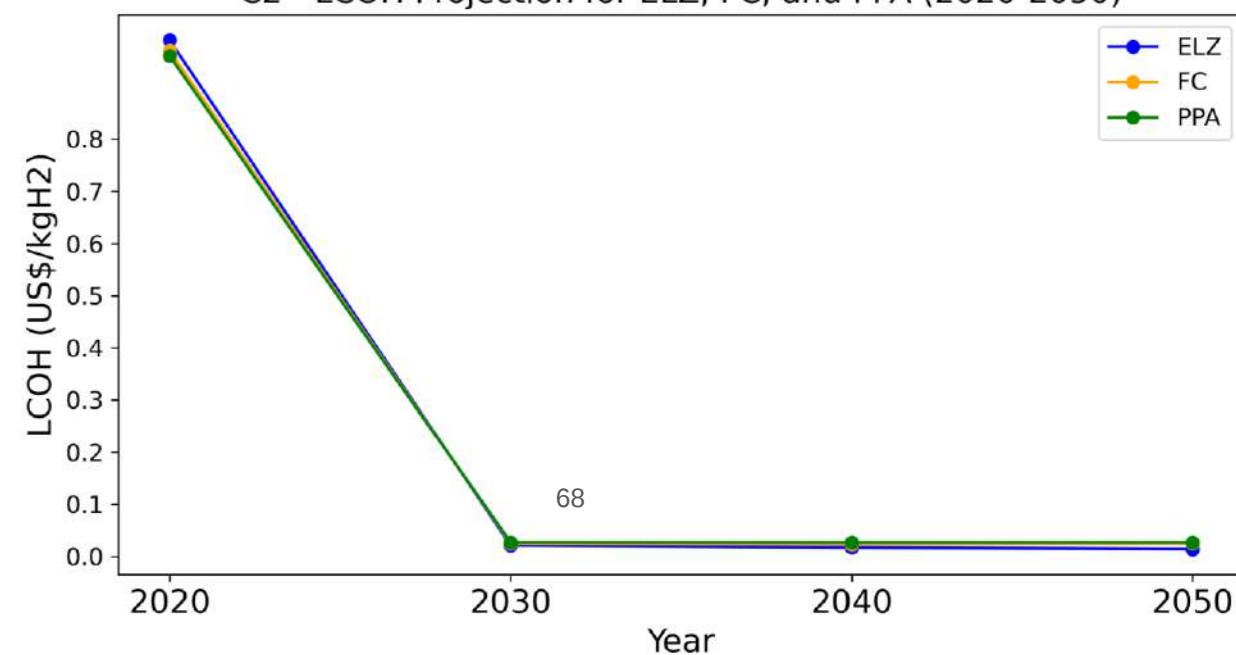


Puerto Almacenamiento y Carga (C1) vs Puerto Granelero (C2)

C1 - LCOH Projection for ELZ, FC, and PPA (2020-2050)



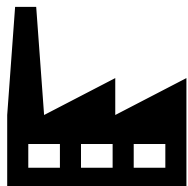
C2 - LCOH Projection for ELZ, FC, and PPA (2020-2050)



Proyecciones comparativas del LCOH para tecnologías de hidrógeno de 2020 a 2050



Casos Aplicados en la Industria



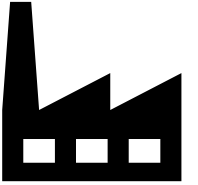
Cemento, Hormigón y Áridos

Capacidad instalada de las tecnologías propuestas en los escenarios

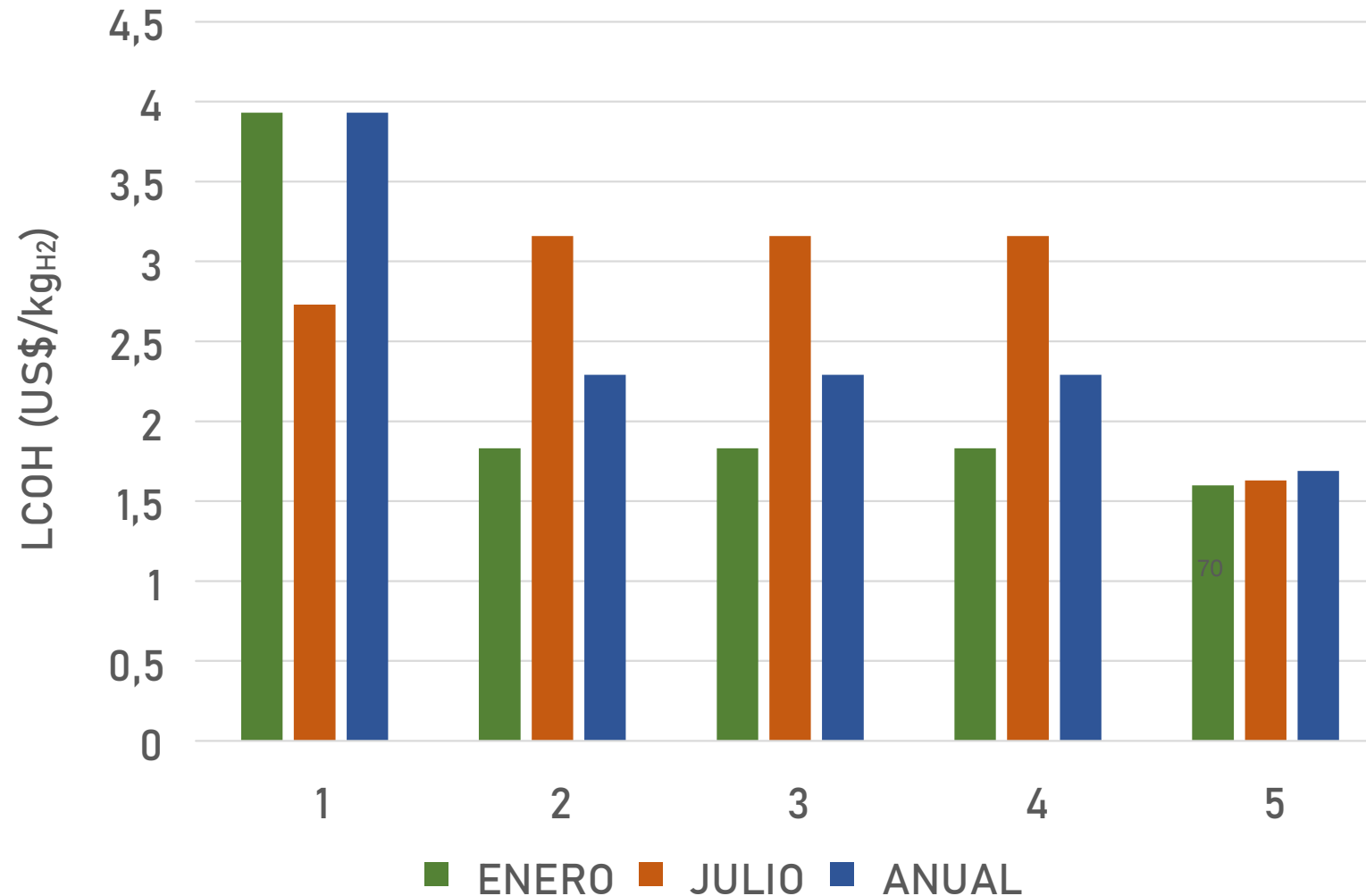
Escenarios	Capacidad Instalada																				
	Red eléctrica/PPA			PV [kW]						Electrolizador [kW]			Celda de combustible [kW]			Intercambiador de calor [kW]			Almacenamiento de H2 [kWh]		
	ENERO	JULIO	AÑO	ENERO día	ENERO noche	JULIO día	JULIO noche	AÑO día	AÑO noche	ENERO	JULIO	AÑO	ENERO	JULIO	AÑO	ENERO	JULIO	AÑO	ENERO	JULIO	AÑO
1	-	-	-	2.076 [3.150]	6.950 [11.860]	2.187 [3.850]	6.263 [8.858]	2.534 [9.282]	8.573 [2.857.666]	4.516	4.071	5.573	2.258	2.035	2.786	1.422	1.282	1.755	4.516	5.573	5.573
2	-	-	-	14.590		14.590		14.590		8.023	7.283	8.392	4.011	3.641	4.196	2.527	2.294	2.643	-	-	-
3	-	-	-	14.590		14.590		14.590		8.023	7.283	8.392	2.258	1.010	2.786	1.422	636	1.755	6.793	6.436	7.631
4	2.258	2.088	2.786	14.590		14.590		14.590		8.023	7.283	8.392	4.011	3.641	4.196	2.527	2.294	2.643	-	-	-
5	6.948	6.729	8.573	-		-		-		4.516	4.374	5.573	2.258	2.187	2.786	1.422	1.377	1.755	-	-	-



Casos Aplicados en la Industria



Cemento, Hormigón y Áridos





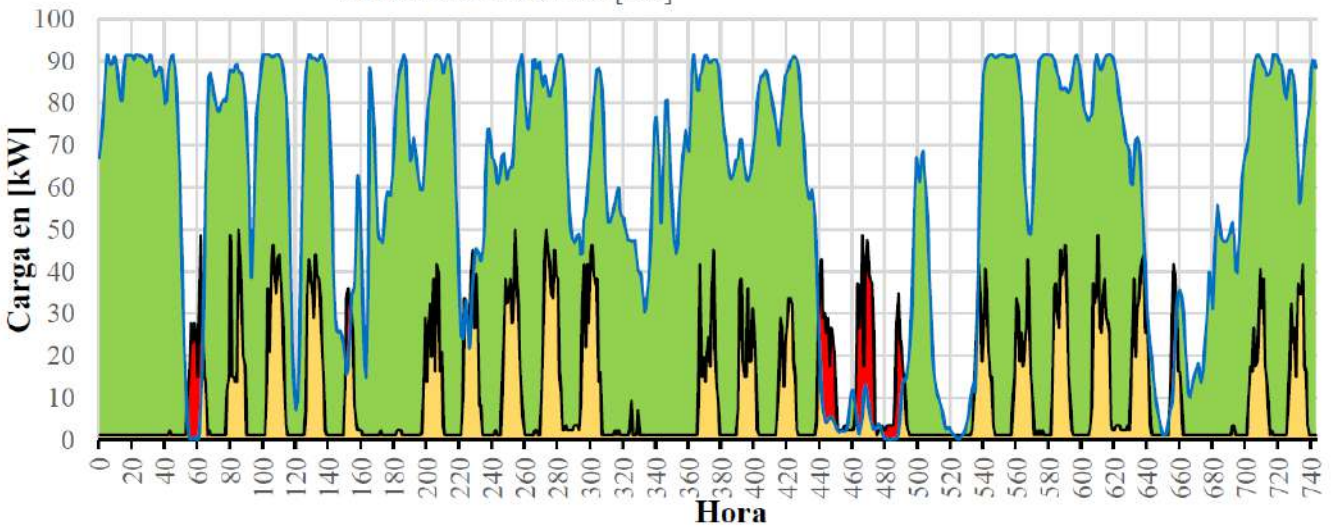
Casos Aplicados en la Industria



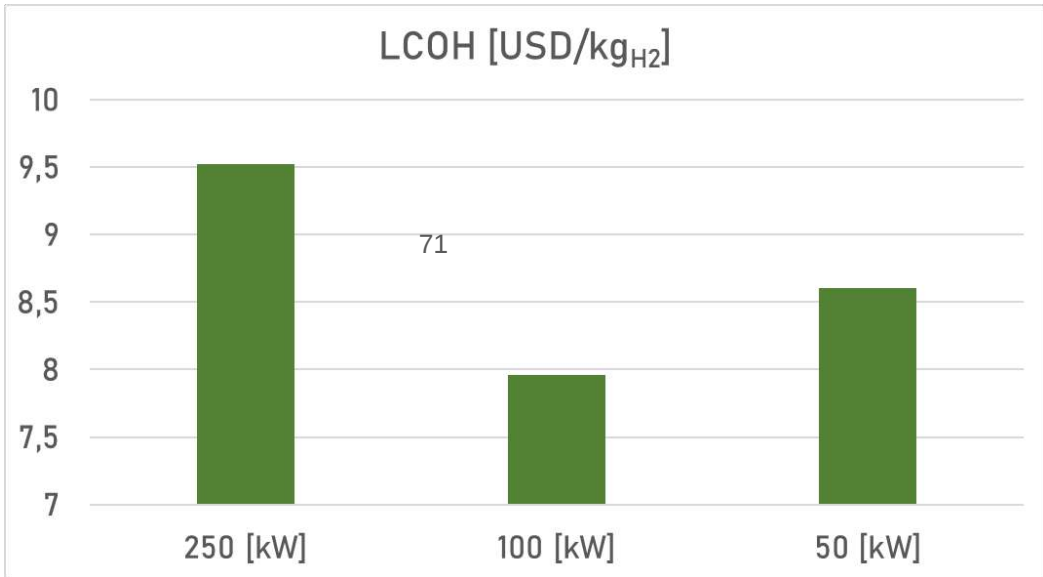
Cemento, Hormigón y Áridos

Curvas de carga Planta 100 [kW] (Enero)

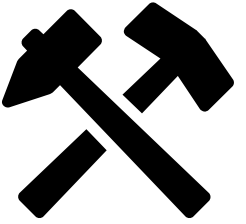
- Consumo directo eólico
- Consumo H2
- 2 Producción eólica 100 [kW]
- Producción H2
- Carga Planta hormigón [kW]



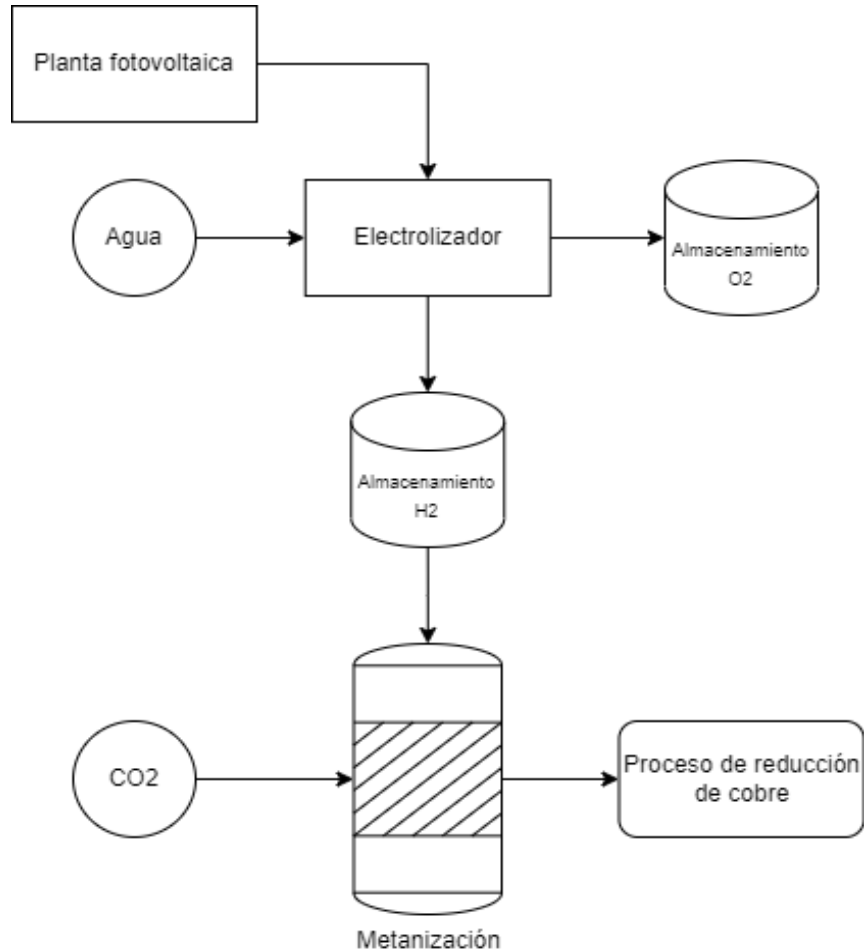
	250 [kW]	100 [kW]	50 [kW]
CAPEX [USD]	1.150.617	465.080	207.573
OPEX [USD]	99.751	27.621	13.810
[kg _{H2}]	20.651	8.404	3.568



Casos aplicados a la Industria



Minería y Fundiciones



Producción electrolizador mes de junio	806 kg H ₂ /día
Energía producida por paneles mes Junio	40.653 kWh/día
Capacidad instalada planta fotovoltaica	14,2 MW

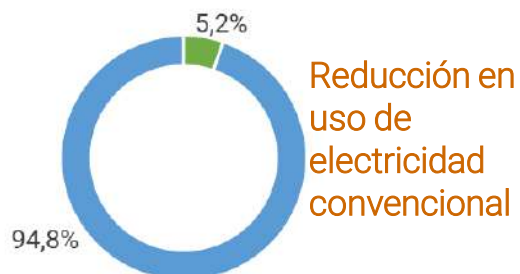
72

LCOH = 6 USD/kg_{H2}

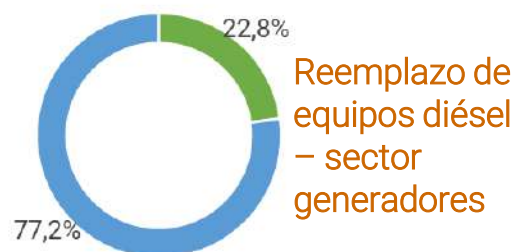
Casos aplicados a la Industria

Participación del H2 en la demanda energética cada Caso de Estudio para el escenario con mejores indicadores económicos

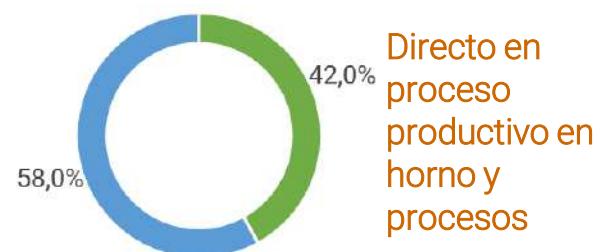
Puerto granelero



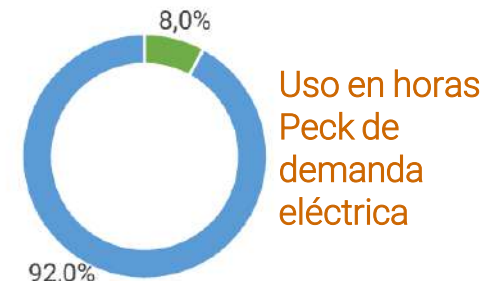
Puerto almacenamiento y carga



Cemento



Hormigón



% Participación Fracción no Cubierta

% Participación Fracción no Cubierta

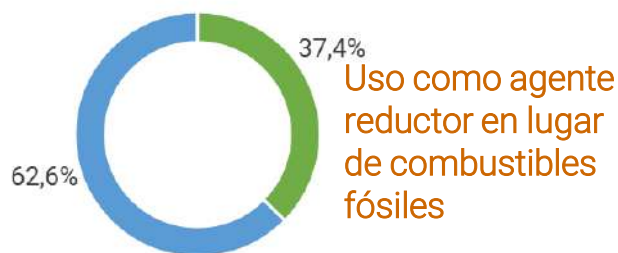
% Participación Fracción no Cubierta

% Participación Fracción no Cubierta

Refinería

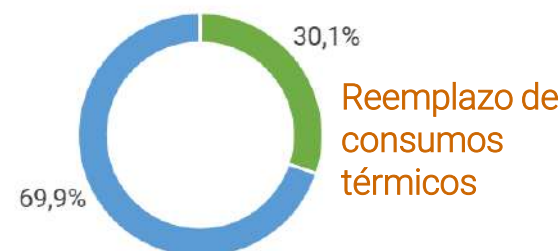


Minería y fundiciones



% Participación Fracción no Cubierta

Celulosa y papel



% Participación Fracción no Cubierta

Otra Industria



% Participación Fracción no Cubierta

ACTIVIDAD 6: Trabajo Grupal (30 min)

- 20 min trabajo en equipo
- 10 min exposición de las ideas

“Roadmap ENAP”

- Usaremos herramienta (Miro, Figma o A3)

🎯 Objetivo del ejercicio

Traducir las **prioridades estratégicas identificadas** (Core / Piloto / Beta o las 3 principales oportunidades de ENAP) en un **plan concreto de hitos trimestrales** a 12–24 meses, visualizando:

- Qué se hará primero (secuencia lógica de acciones).
- Quién es responsable.
- Qué depende de qué.
- Cuáles son las **decisiones clave (Go/No-Go)**.

El resultado es un **Roadmap v1** claro y realista para los siguientes dos años (24 meses).



🌀 Instrucciones paso a paso

1 Enmarque y seteo de foco (5 min)

- El facilitador recuerda las **3 prioridades** definidas previamente.
- Cada equipo escoge **una prioridad** sobre la que construirá su hoja de ruta (por ejemplo, *Piloto H₂ en Refinería* o *JV para exportación NH₃*).
- En la plantilla (A3 o Miro), trazar una línea de tiempo horizontal con los trimestres:
T0–T1 (0-3 m) → T2–T3 (4-6 m) → T4–T5 (7-12 m) → T6–T7 (13-24 m).

2 Construcción de la línea temporal (10 min)

- Cada grupo completa los **bloques temporales** de la plantilla:
 - **T0–T1:** Preparación (estudios, permisos, ingeniería conceptual).
 - **T2–T3:** Contratos clave (PPA, EPC, financiamiento, offtake).
 - **T4–T5:** Implementación / construcción / commissioning parcial.
 - **T6–T7:** Operación inicial / validación / escalamiento.

💡 **Regla:** Ningún hito sin *fecha* ni *dueño*.

3 Desarrollo de hitos y dependencias (20 min)

Cada equipo rellena la **tabla central del Roadmap**:

Trimestre	Hito principal	Responsable	Dependencias	Decisión clave
T0–T1	Estudio de factibilidad técnica + costos LCOH	Ingeniería Proyectos	Datos energía, agua	Aprobación Comité
T2–T3	RFP y selección OEM electrolizador	Abastecimiento	Ingeniería básica lista	Firma EPC
T4–T5	Instalación infraestructura + pruebas FAT/SAT	Operaciones	Contrato EPC firmado	Certificación seguridad
T6–T7	Puesta en marcha y monitoreo de KPIs (>95 % uptime)	Operaciones	OEM entrega completa	Go to comercial

Consejos:

- **No colocar tareas genéricas** (“desarrollar proyecto”) sino **acciones observables y medibles**.
- Si hay dependencia entre proyectos (p. ej. financiamiento ↔ contrato PPA), **dibuja flechas o conectores**.

Ejemplo completo (Piloto H₂ 5 MW Refinería ENAP)

Trimestre	Hito	Responsable	Dependencias	Decisión clave
T0–T1 (0-3 m)	Diagnóstico energético y requerimientos eléctricos del sitio + factibilidad técnica	Ingeniería	Acceso a datos refinería	Aprobación estudio conceptual
T2–T3 (4-6 m)	RFP OEM electrolizador + preacuerdo PPA híbrido	Abastecimiento / Finanzas	Ingeniería básica finalizada	Selección proveedor & precio meta
T4–T5 (7-12 m)	Construcción plataforma H ₂ + instalación sistema agua desmineralizada	Proyectos / Operaciones	Contrato EPC firmado	Go/No-Go inicio obras
T6–T7 (13-24 m)	Comisionamiento y operación piloto (≥ 95 % uptime, CO ₂ ↓ 1 500 t/año)	Operaciones	Puesta en marcha OEM	Decisión de escalar a 20 MW

