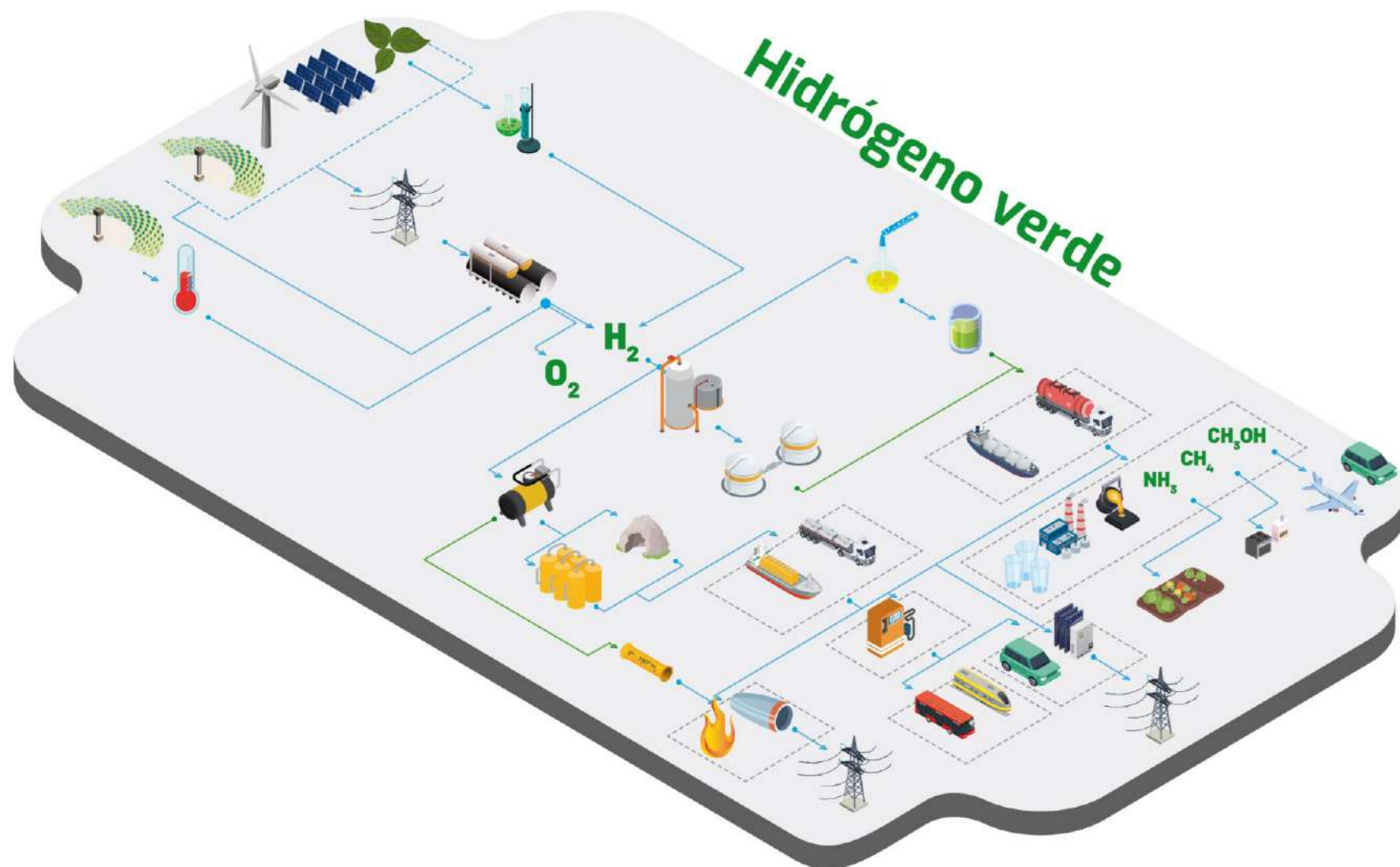


Almacenamiento, transporte y distribución. Infraestructura para el H2V

Profesor: Dr. Yunesky Masip
Escuela de Ingeniería Mecánica
PUCV



CADENA DE VALOR DEL H₂V



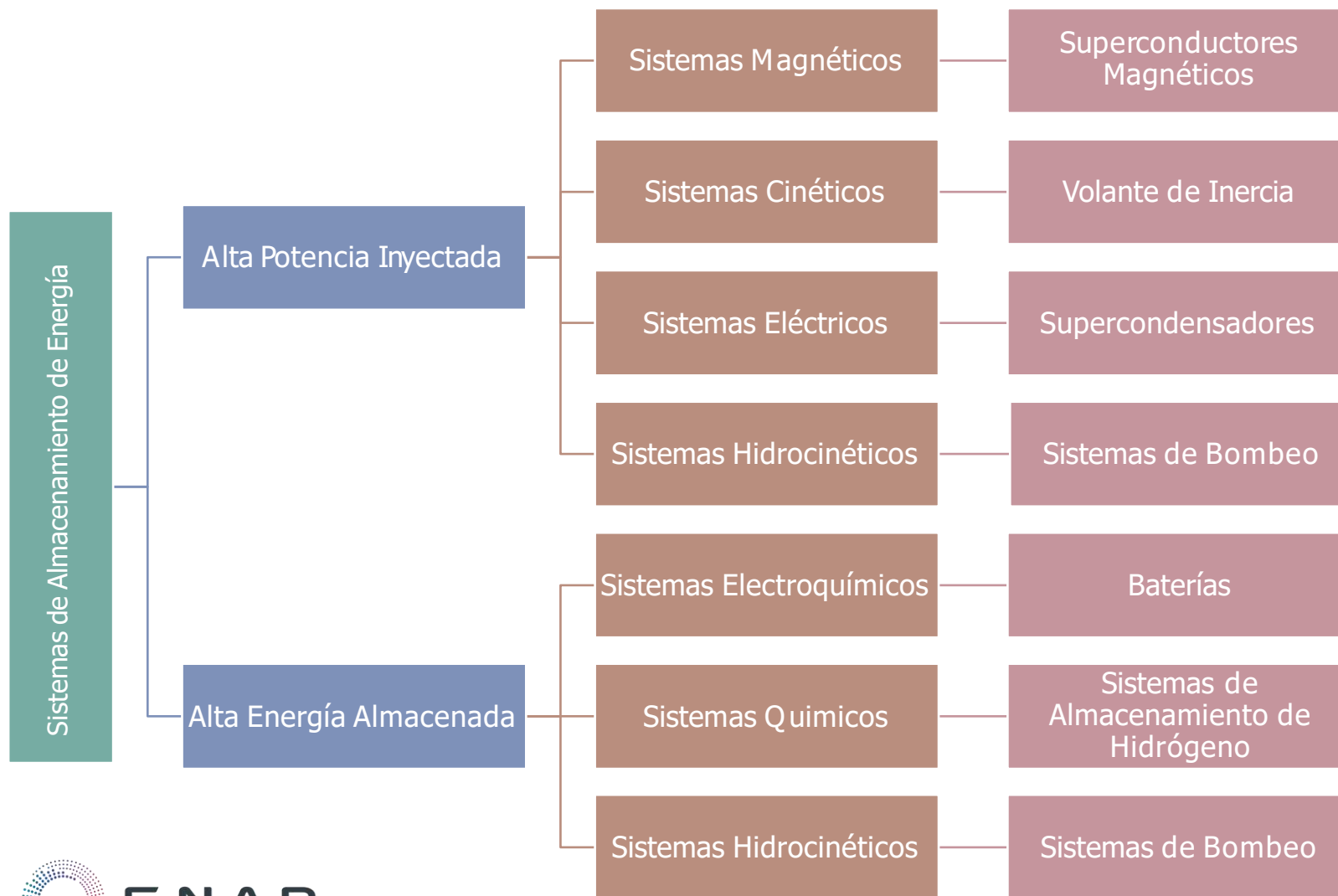
Fuente: <https://4echile.cl/recursos/cadena-de-valor-h2/>



SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO



ANTES.... ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA



ANTES....

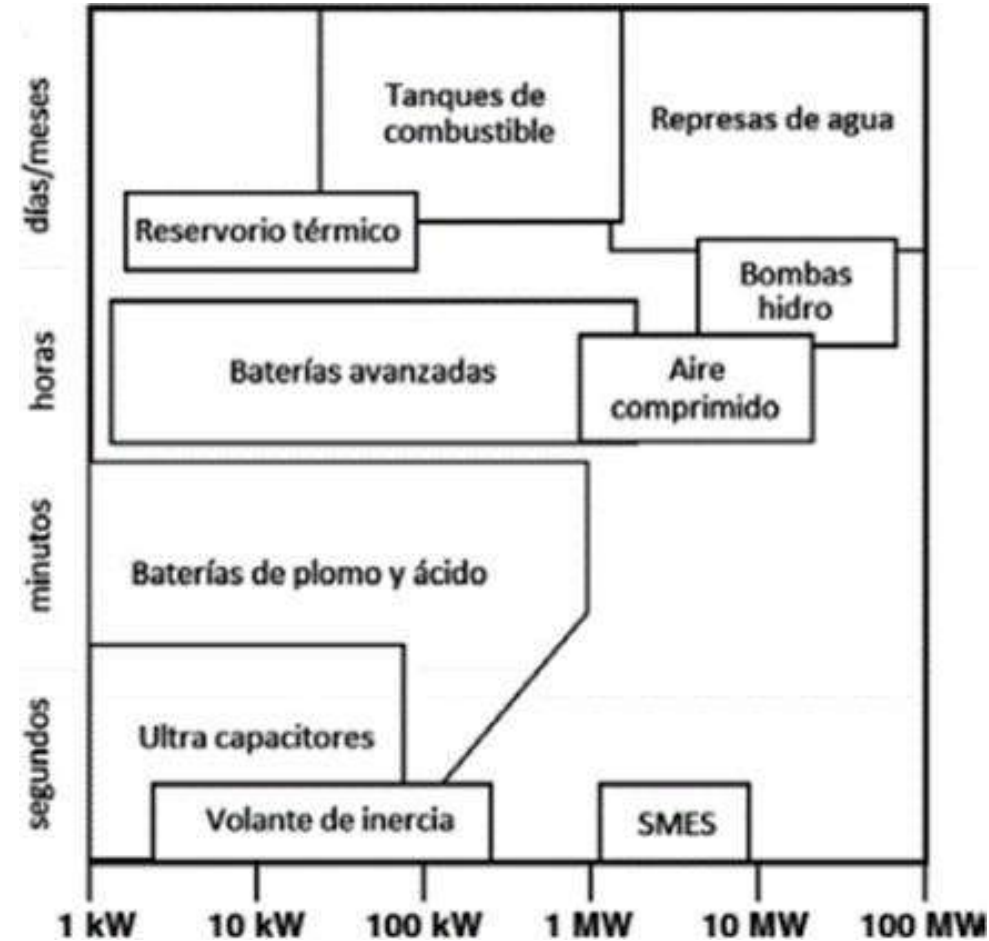
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Tipo de Tecnología	Proyectos	Potencia Nominal (MW)	Promedio de horas de entrega de energía
Electroquímica	950	2.797	48
Hidroenergía de Bombeo	352	183.830	14.310
Sistemas Térmicos	204	3.622	48
Electromecánicos	69	2.611	250
Hidrógeno	11	12	32,5

Construcción propia con datos de (Sandia Corporation, **2016**)

<https://www.sandia.gov/ess-ssl/global-energy-storage-database-home/>

ANTES.... ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA



Fuente: Almacenamiento de Energía Magnética por Superconducción - 2013

ANTES....

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

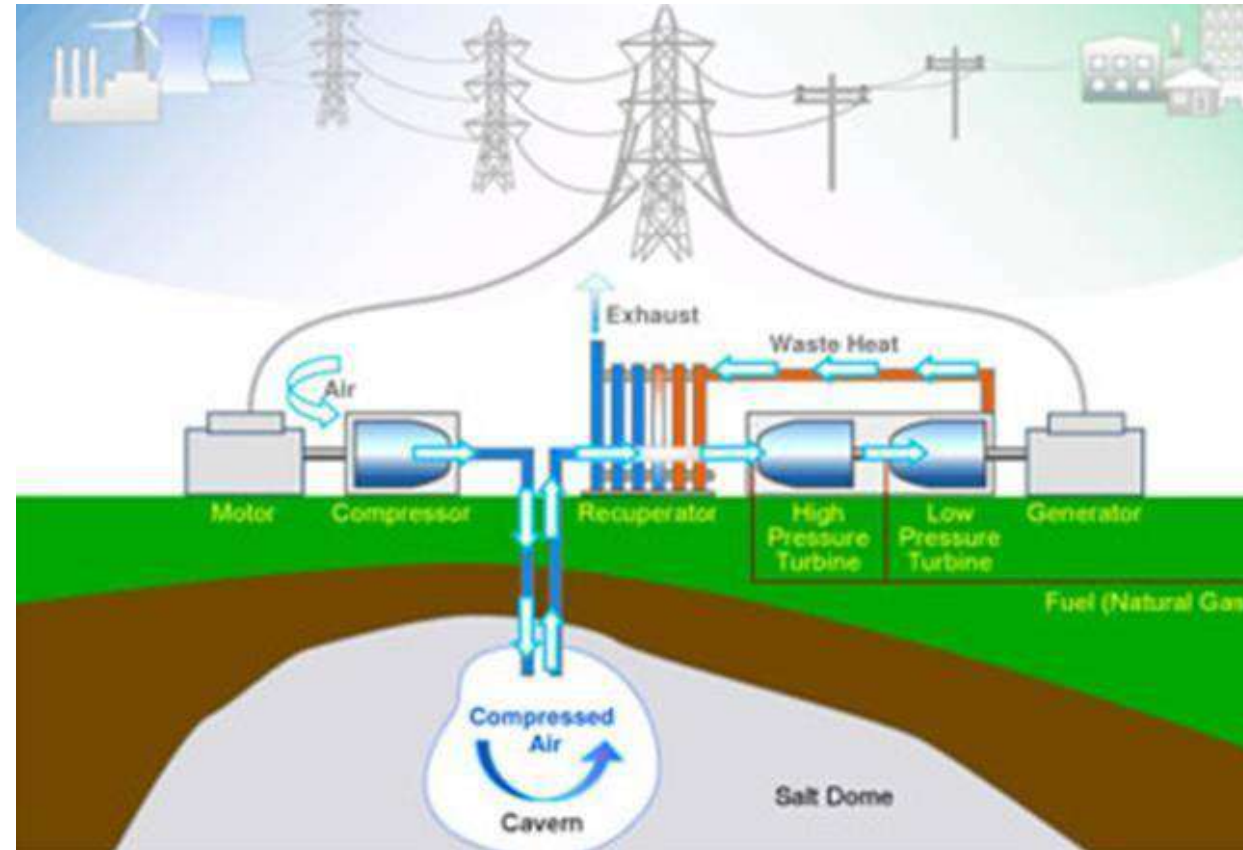
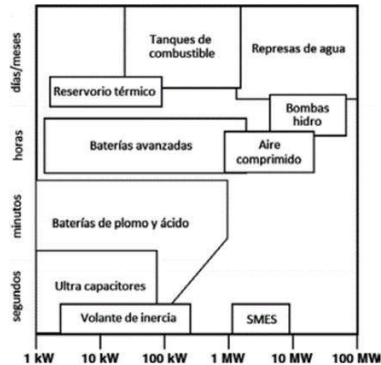
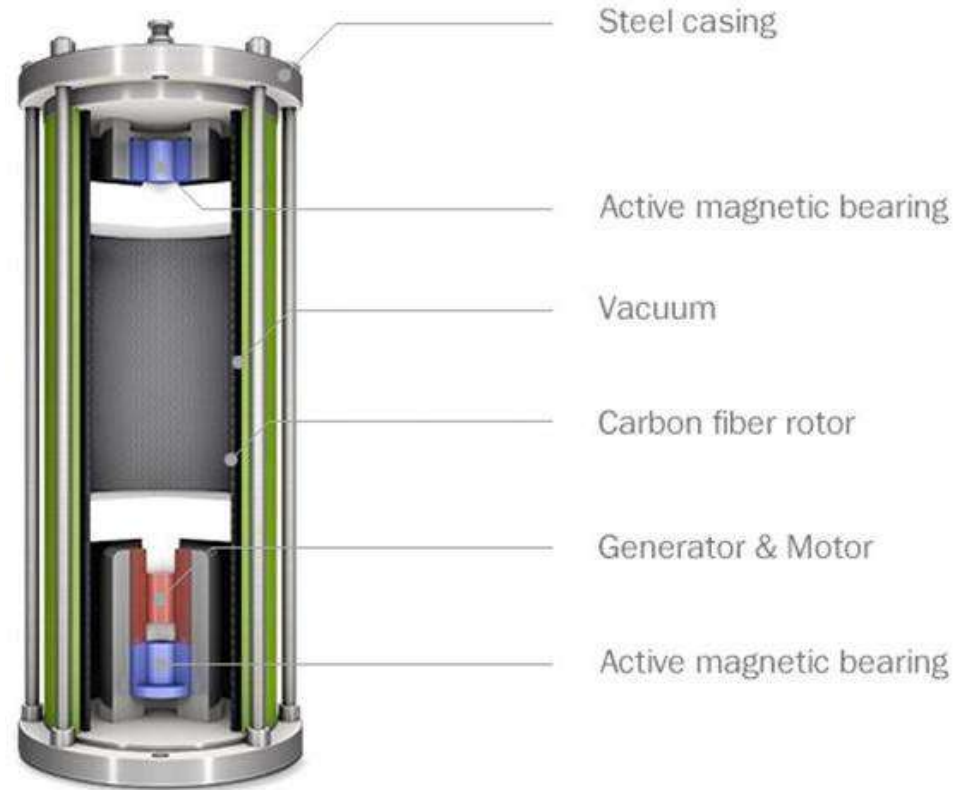
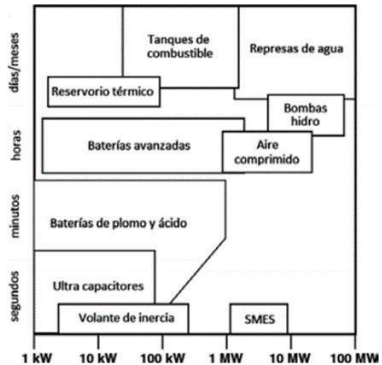


Diagrama de sistema de aire comprimido.
Fuente: (PhysOrg.com, 2016)

ANTES....

ALMACENAMIENTO

DE ENERGÍA



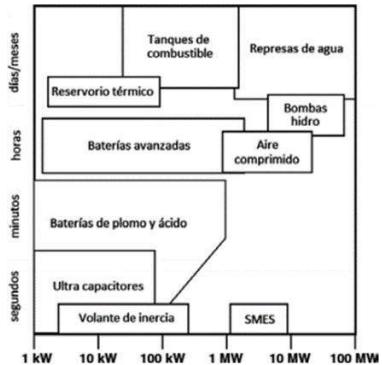
Volante de inercia de Stornetic.

Fuente: (STORNETIC. The Energy Storage Company, 2016)

ANTES....

ALMACENAMIENTO

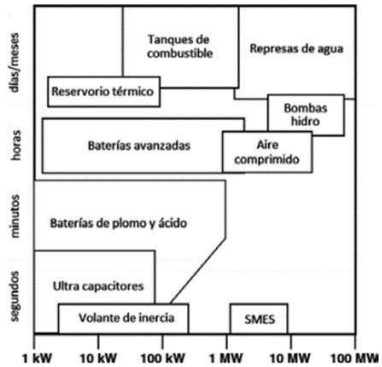
DE ENERGÍA



Almacenamiento sistema de baterías; Elkins, West Virginia.
Fuente: (AES Energy Storage, 2016)

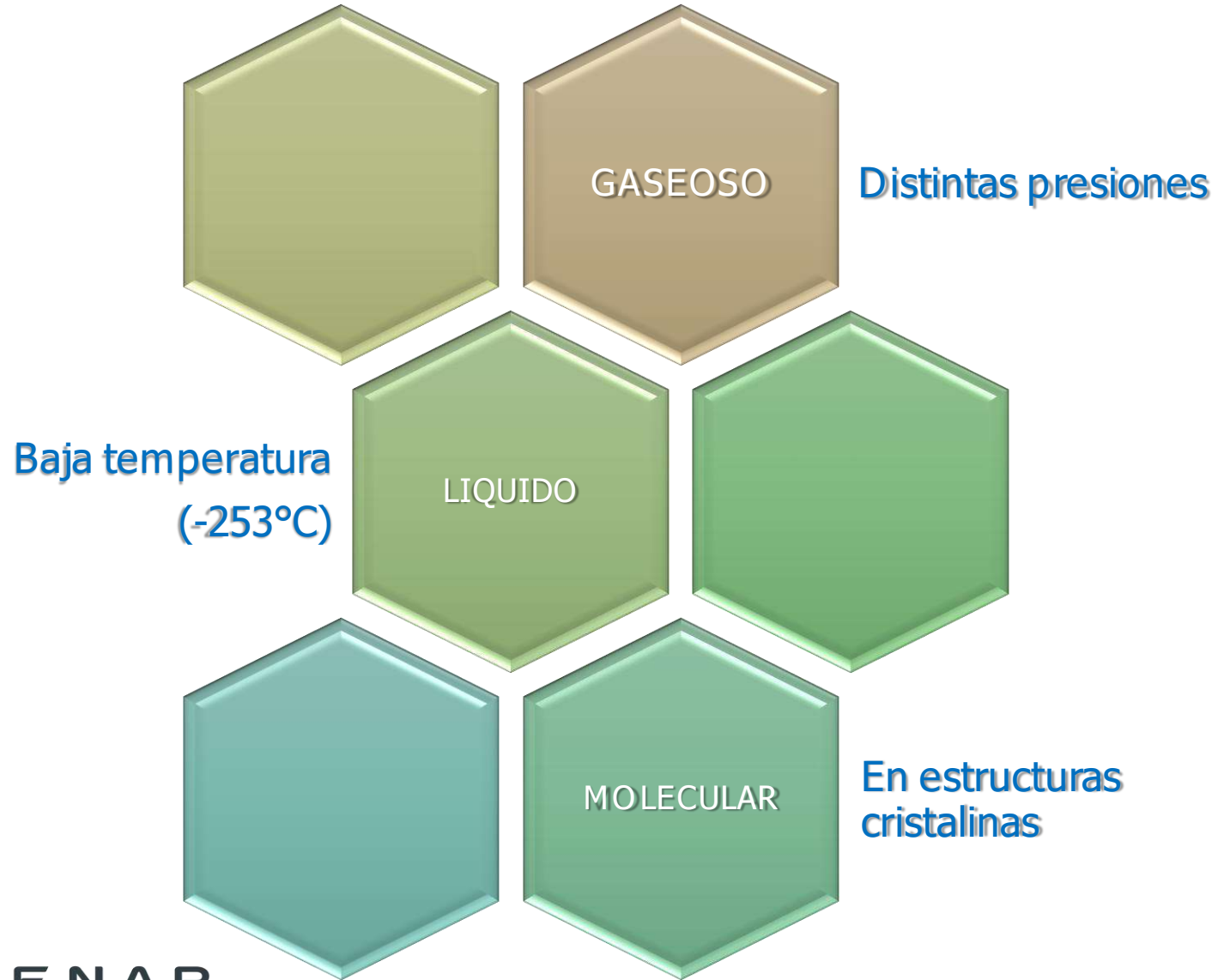
ANTES....

“ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA



Sistema Crescent Dunes de Sales Fundidas (CSP).
Fuente: (SolarReserve, LLC, 2016)

ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO



ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO

Capacidad de almacenamiento de hidrógeno según tecnología.

Fuente: (McPhy Energy S.A., 2016)

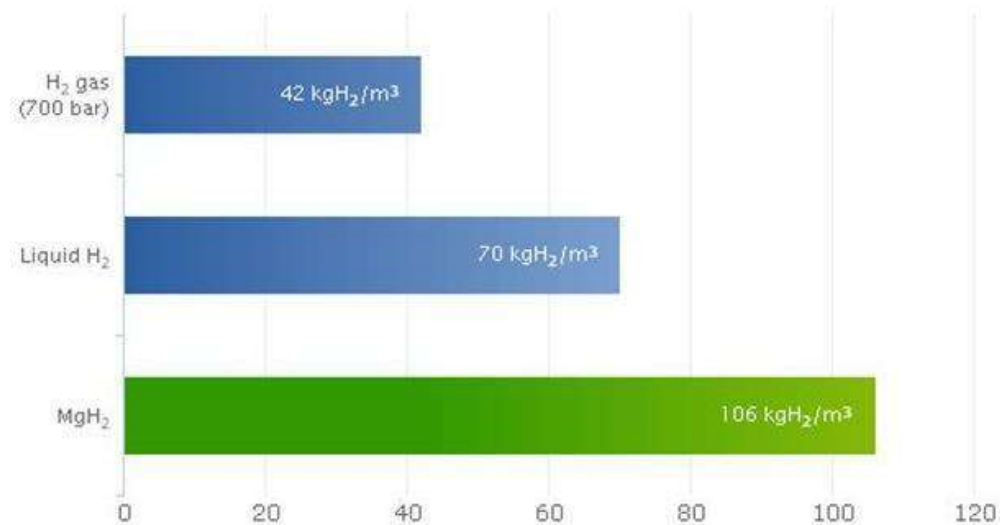
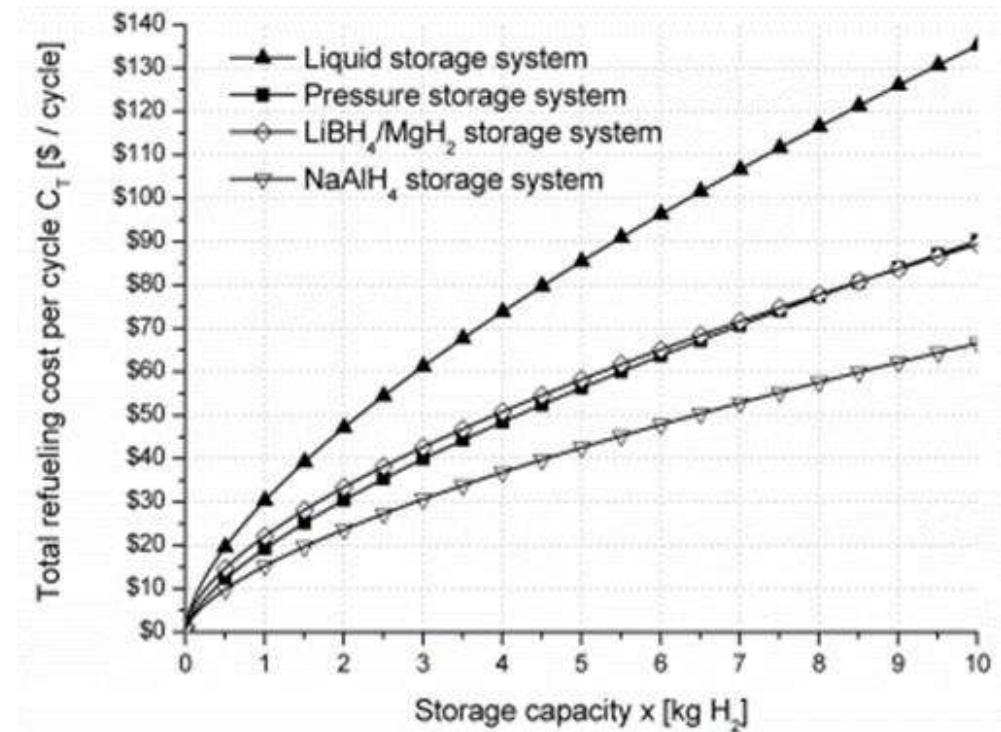


Gráfico costo recarga de hidrógeno según capacidad de almacenamiento y tecnología.

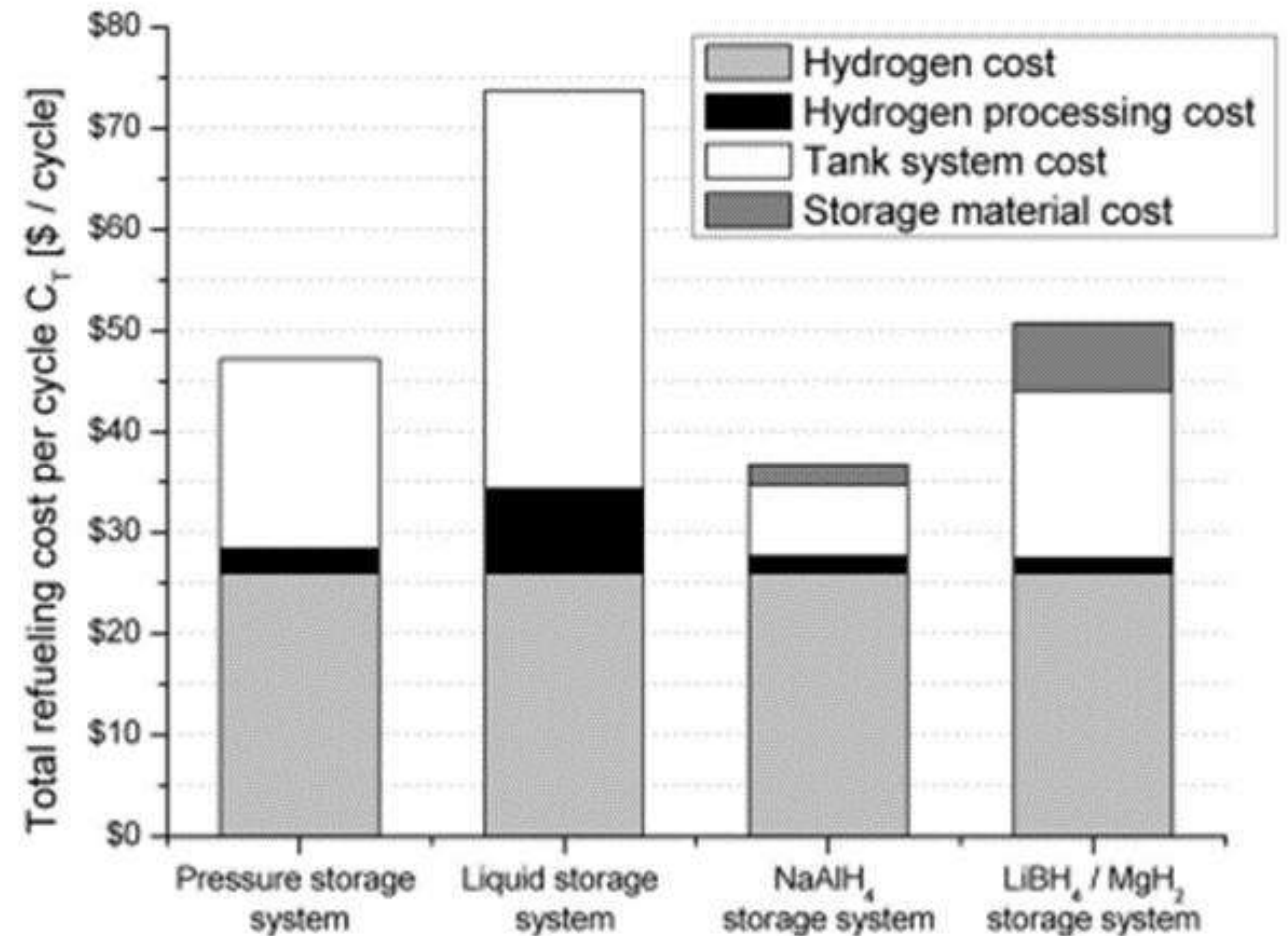
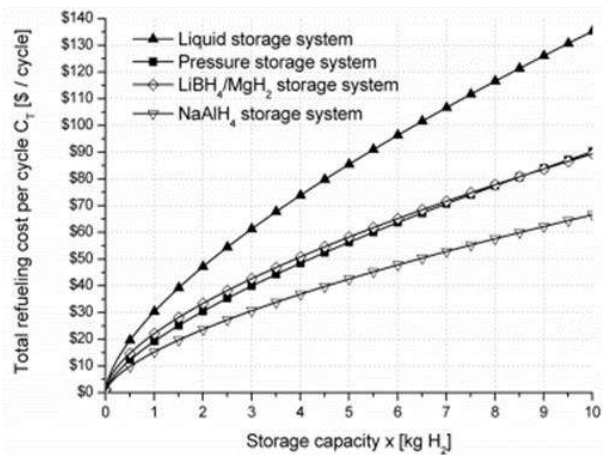
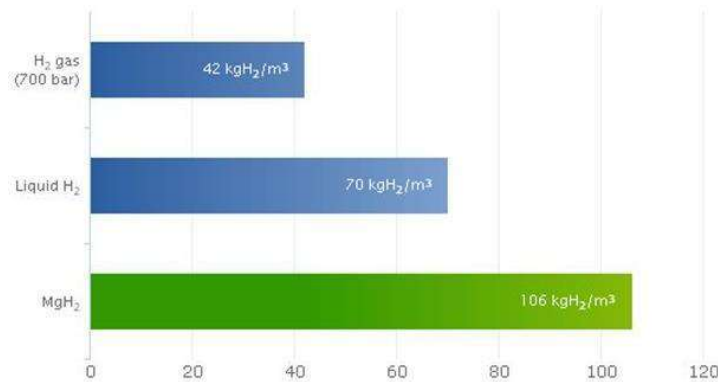
Fuente: (Jepsen, 2014)



Fuente: Almacenamiento de Energía Magnética por Superconducción - 2013

ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO

Gráfico costo recarga de hidrógeno según tecnología (4 Kg).
Fuente: (Jepsen, 2014)



HIDRUROS METÁLICOS



El hidrógeno atómico se intercala en la red del "HIDRURO METÁLICO", se intercala en los espacios intersticiales

Reacciones reversibles

La ENTALPIA de formación (ΔH) está íntimamente relacionada con el hidruro metálico

CARGA: Reacción EXOTERMICA ($\Delta H < 0$)

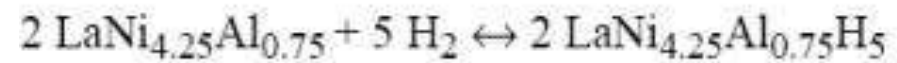
DESCARGA: Reacción ENDOTERMICA ($\Delta H > 0$)

El METAL que recibe el H_2 se expande entre 30% a 40%

Pueden llegar a absorber un gran volumen de H_2 , hasta 380 veces su volumen

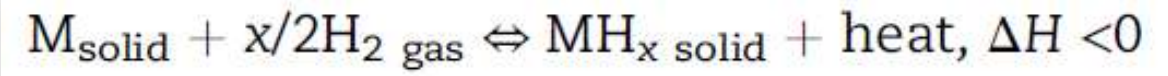
**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO**
 1 9 2 8 - 2 0 2 8

ENAP



HIDRUROS

METÁLICOS



Fuente: LABTECH INT. LTD - Bulgaria

LED Lighting Fixture



electricity ↑



Fuel Cell provides power, hot air

hot air



Heat Exchanger heats recirculating water



Water Pump maintains flow and pressure

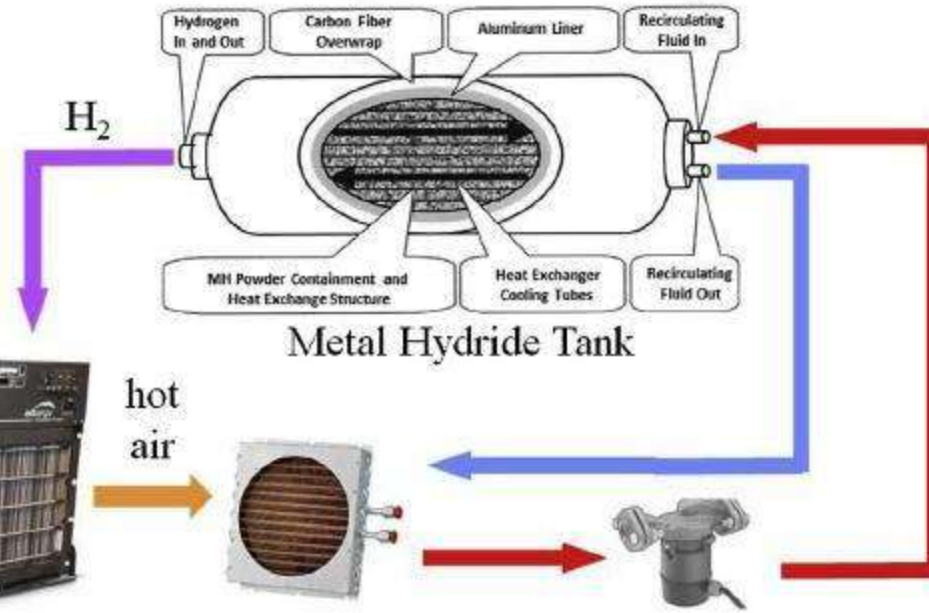


Fig. 4 – Schematic of the process flow during operation (i.e. lights are on) of the fuel cell on the mhH_2LT . Red arrows signify warmer recirculating water; blue arrows signify cooler water. The orange arrow shows hot air from the operating fuel cell. The purple arrow shows hydrogen gas. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

HIDRUROS METALICOS

	HBond-5000 L	HBond-5000 H	HBond-7000 L	HBond-7000 H
Hydrogen Capacity	5000 NI H ₂	5000 NI H ₂	7000 NI H ₂	7000 NI H ₂
Diameter:	169 mm	169 mm	169 mm	169 mm
Weight	76 kg (34 kg MH)	76 kg (34 kg MH)	98 kg (46 kg MH)	98 kg (46 kg MH)
Length	1100 mm	1100 mm	1650 mm	1650 mm
Charging Pressure	15 Bar	5 Bar	15 Bar	5 Bar
Charging temperature	Max. 25°C	Max. 25°C	Max. 25°C	Max. 25°C
Charging Time	45-60 minutes	45-60 minutes	45-60 minutes	45-60 minutes
Discharging Pressure	10 to 2 Bar	5 to 2 Bar	10 to 2 Bar	5 to 2 Bar
Discharging Temperature	10 – 30°C	65 – 75°C	10 – 30°C	65 – 75°C
FOB Price (Sofia airport)	5750 Euro	5700 Euro	8050 Euro	7950 Euro



LABTECH INT. LTD.
Mladost -1, Bld. 25, ent.A, Sofia-1784, BULGARIA
Tel (+359) 2 979 0939 - Fax (+359) 2 979 0939 - Mobile: (+359) 878 936 169
e-mail: info@labtech.solo.bg - http://labtech.solo.bg

ESTANQUES PRESURIZADOS

Presiones de operación: 200 a 700 bar



Estanques de Material Compuesto,
TUFFSHELL ®

70% mas liviano que estanque de acero
10 veces mas liviano que un estanque de HM

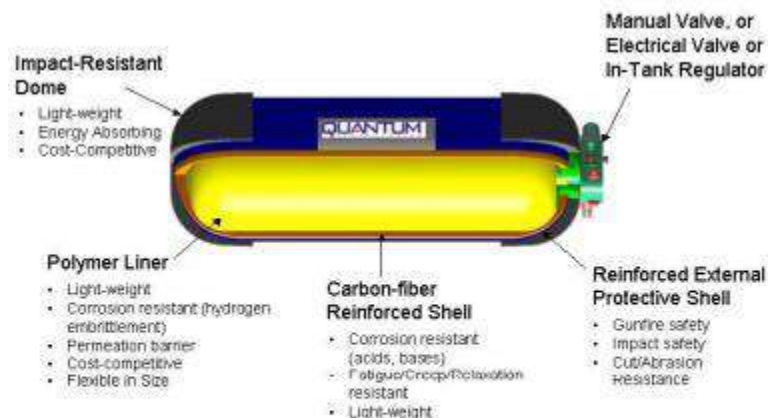


Fig. 4: TriShield™ Tank Construction

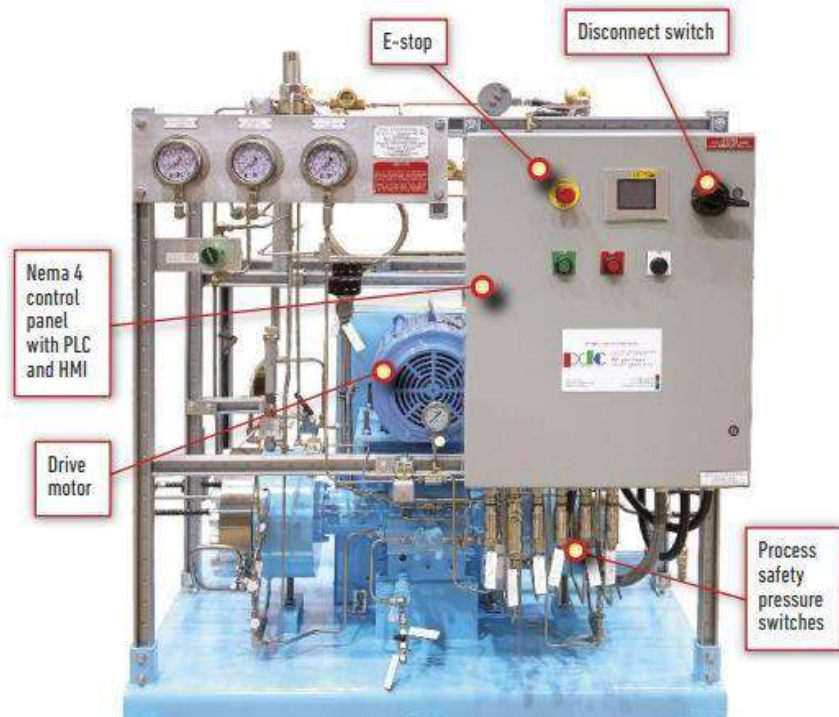
Estanques de Meterial Compuesto y Acero, QUANTUM



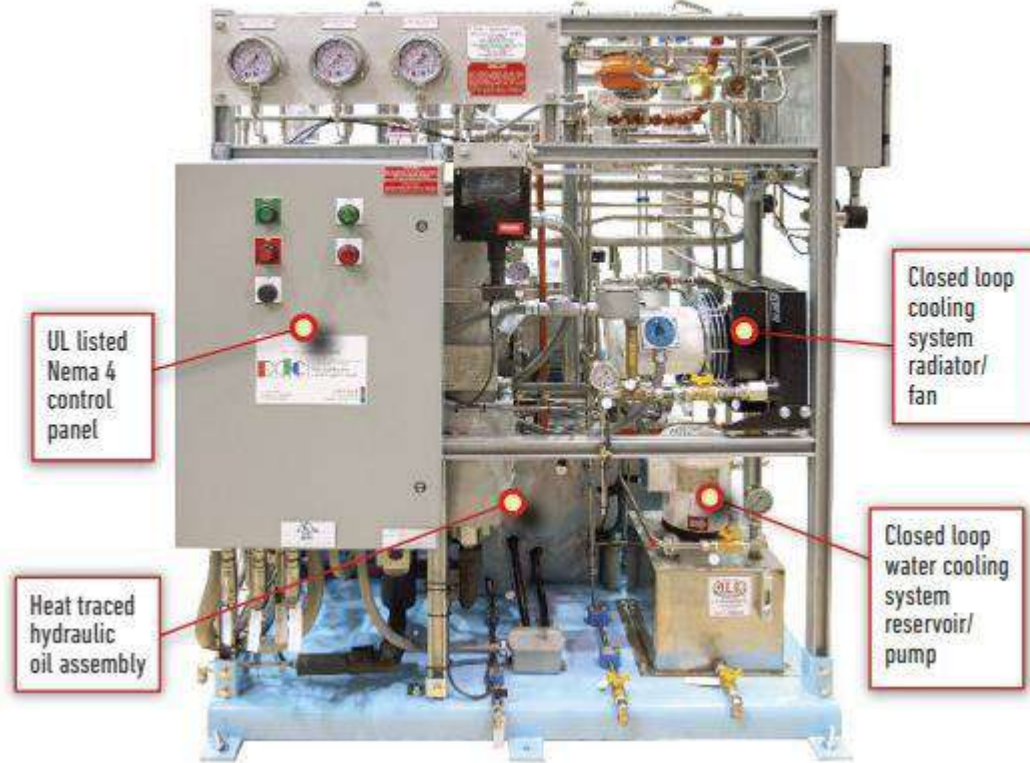
Las normas aplicadas a los estanques presurizados son: ISO 11439 (Europa), NGV-2 (EE.UU.), TUV (Alemania) y el Instituto de Seguridad de alta presión de gas de Japón (KHK). El uso más común de estos estanques es en los FCEVs

COMPRESORES DE DIAFRAGMA

PDC-3-300-7500 two-stage compressor, helium gas, Industrial Gas Industry, 517 barg/7,500 psig discharge pressure, 20 Nm³/hr flow rate, 7.5 kW/10 HP motor.

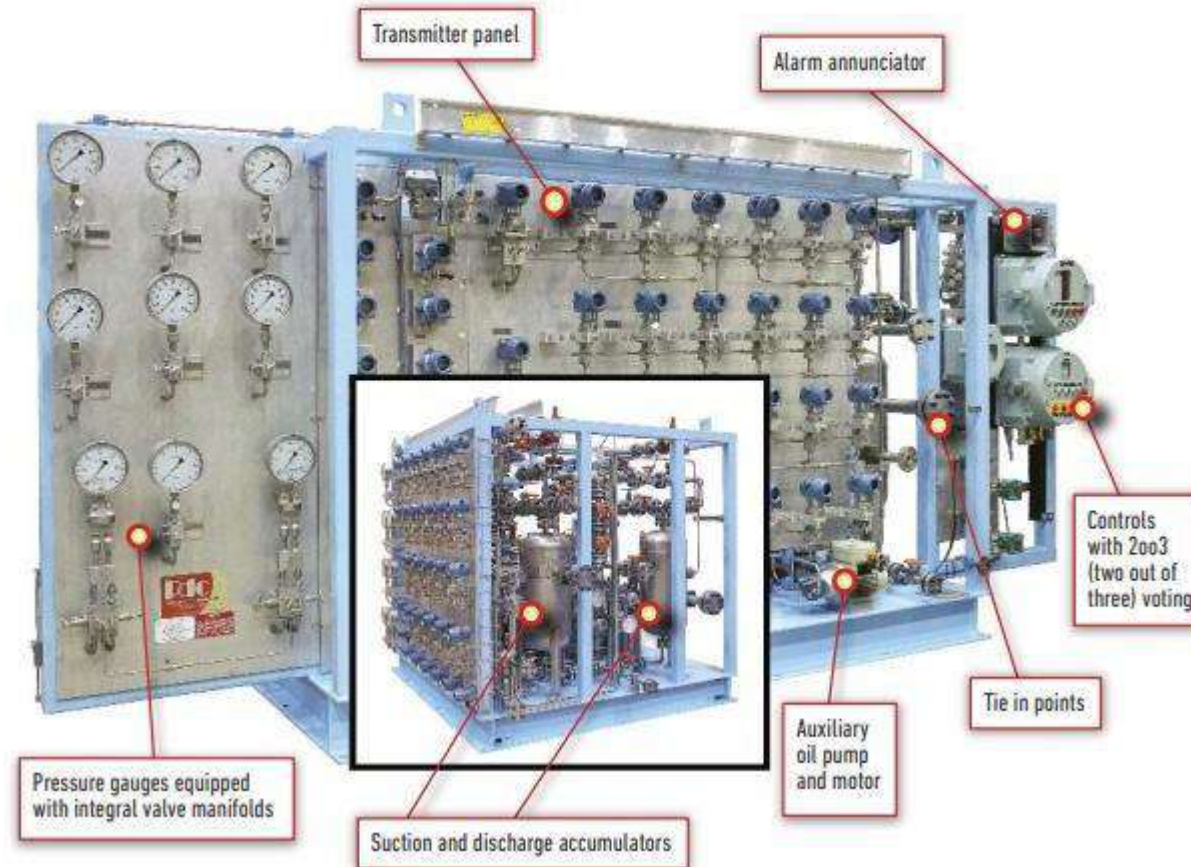


PDC-3-300-600 two-stage compressor, deuterium gas, Specialty Gas Industry, 30 barg/435 psig discharge pressure, 8 Nm³/hr flow rate, 7.5 kW/10 HP motor.



COMPRESORES DE DIAFRAGMA

PDC-4-600-600 (150) duplex compressor, hydrogen, Petrochemical Industry,
40 barg/580 psig discharge pressure, 350 Nm³/hr flow rate,
22 kW/30 HP motor.



COMPRESORES DE DIAFRAGMA

PDC-3-300-7500 two-stage compressor, helium gas, Industrial Gas Industry, 517 barg/7,500 psig discharge pressure, 20 Nm³/hr flow rate, 7.5 kW/10 HP motor.



- 1) PDC-3-Two Stage \$72,000.00
- 2) PDC-4- Two Stage \$110,000.00
- 3) PDC-4- Two Stage (150%) \$150,000.00
- 4) PDC-13-Two Stage (35%) \$185,000.00
- 5) PDC-13-Two Stage (50%) \$245,000.00
- 6) PDC-13-Two Stage (100%) \$295,000.00

We're Hiring! [click Here to learn more](#)

Best Regards

Garry Gallo
Marketing & Sales



An ISO 9001:2008 certified company.
Certification No. 1112232.01

**We perform
under pressure.**

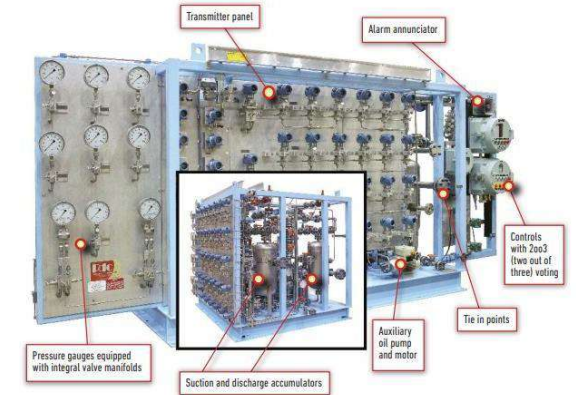
Plant 1- 1875 Stout Drive, Warminster PA 18974

Plant 2- 1707 Stout Drive, Warminster PA 18974

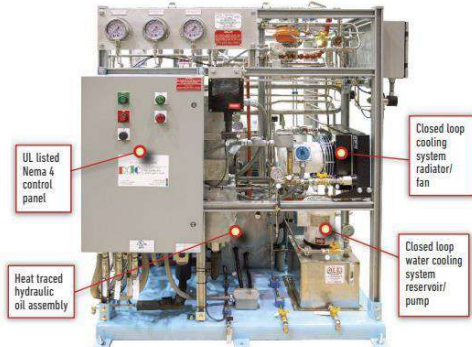
+1-215-443-9442, Ext 157 +1-267-237-4825

gar@pdcmachines.com

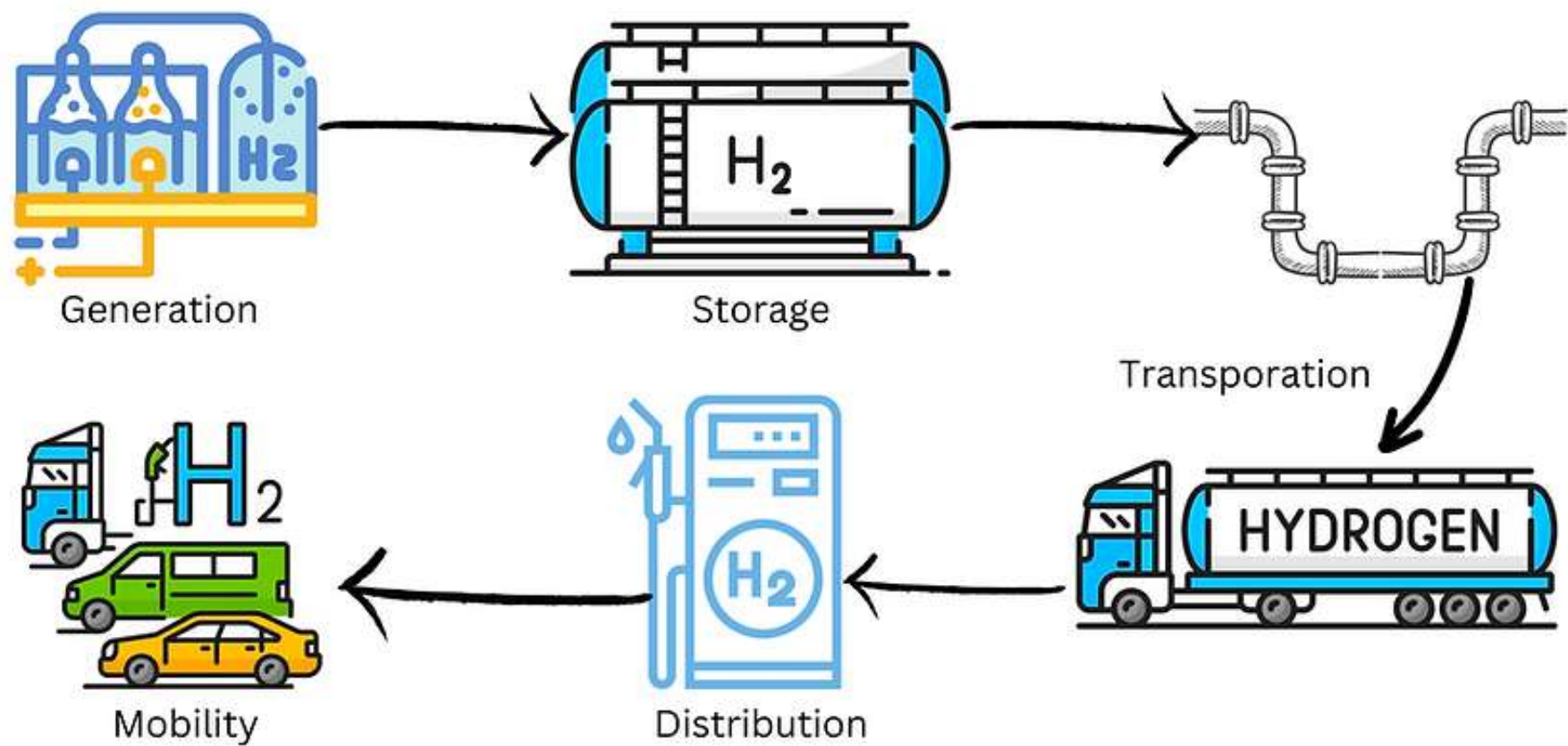
PDC-4-600-600 (150) duplex compressor, hydrogen, Petrochemical Industry, 40 barg/580 psig discharge pressure, 350 Nm³/hr flow rate, 22 kW/30 HP motor.



PDC-3-300-600 two-stage compressor, deuterium gas, Specialty Gas Industry, 30 barg/435 psig discharge pressure, 8 Nm³/hr flow rate, 7.5 kW/10 HP motor.



INFRAESTRUCTURA PARA EL H2V



Fuente: IRENA

INFRAESTRUCTURA PARA EL H2V

Una planta de hidrógeno verde, la infraestructura necesaria abarca varios componentes esenciales:

- 1. Fuente de energía renovable:** El hidrógeno verde se produce a través de la electrólisis del agua, un proceso que requiere electricidad. Esta electricidad debe provenir de fuentes renovables, como la solar, eólica, hidroeléctrica o biomasa, para considerarse verde. Se necesitan instalaciones como parques eólicos, paneles solares o hidroeléctricas para asegurar un suministro constante de energía limpia.
- 2. Electrolizadores:** Son dispositivos que utilizan la electricidad para descomponer el agua en oxígeno e hidrógeno. Los electrolizadores deben ser eficientes, capaces de manejar fluctuaciones de energía y adaptarse a la escala de producción deseada.
- 3. Sistemas de manejo de agua:** Dado que el agua es la materia prima para la producción de hidrógeno, la planta necesita sistemas eficientes de manejo y tratamiento de agua.
- 4. Infraestructura para el almacenamiento:** El hidrógeno debe almacenarse de manera segura, ya sea en forma gaseosa a alta presión o en forma líquida a temperaturas criogénicas. Esto implica tanques de almacenamiento especiales y sistemas de seguridad asociados.

INFRAESTRUCTURA PARA EL H2V

5. Sistemas de distribución: Para transportar el hidrógeno a los puntos de uso o venta, se requieren tuberías adecuadas o flotas de vehículos de transporte especializados como camiones cisterna.

6. Sistemas de control y seguridad: La planta necesita sistemas avanzados de control para monitorear la producción y asegurar la operación segura de todas las instalaciones. Además, deben implementarse protocolos de seguridad rigurosos debido a la alta inflamabilidad y reactividad del hidrógeno.

7. Infraestructura de conversión y utilización: Dependiendo del uso final del hidrógeno (combustible para vehículos, generación de electricidad, procesos industriales, etc.), puede ser necesario contar con equipos adicionales para convertir o utilizar el hidrógeno eficientemente.

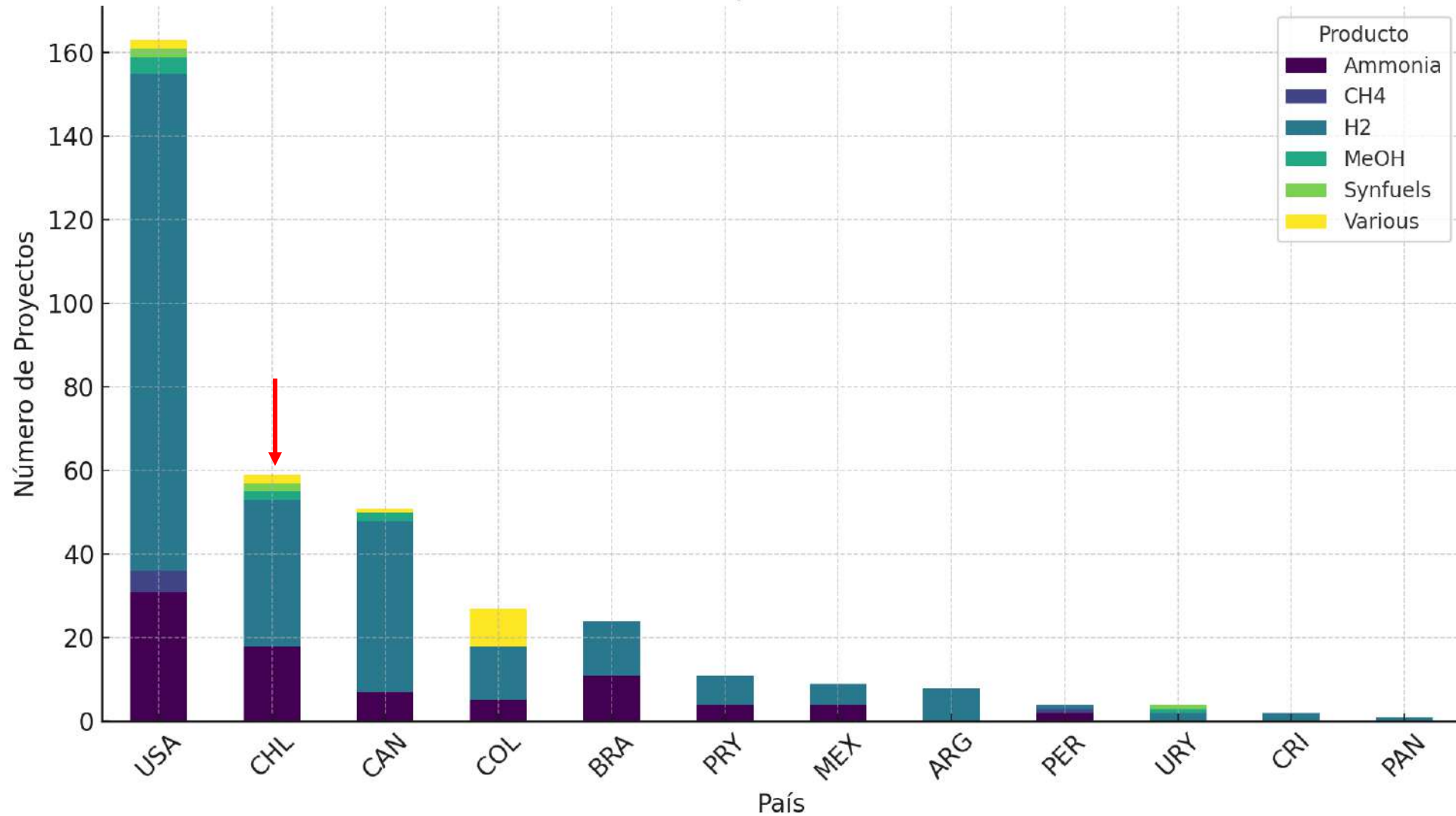
INFRAESTRUCTURA PARA EL H2V





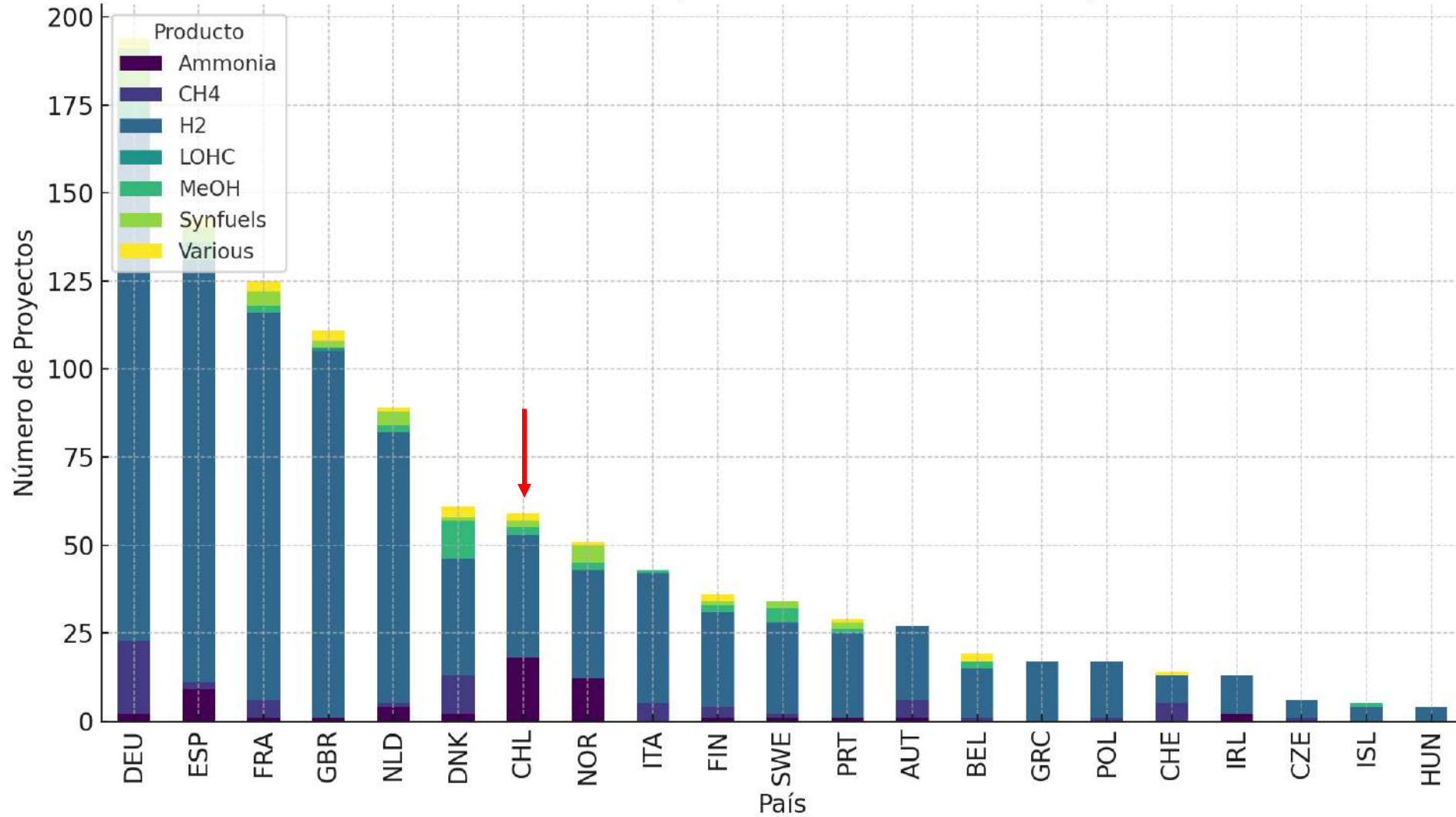
INFRAESTRUCTURA PARA EL H2V

Distribución de Productos por País en América (Ordenado)



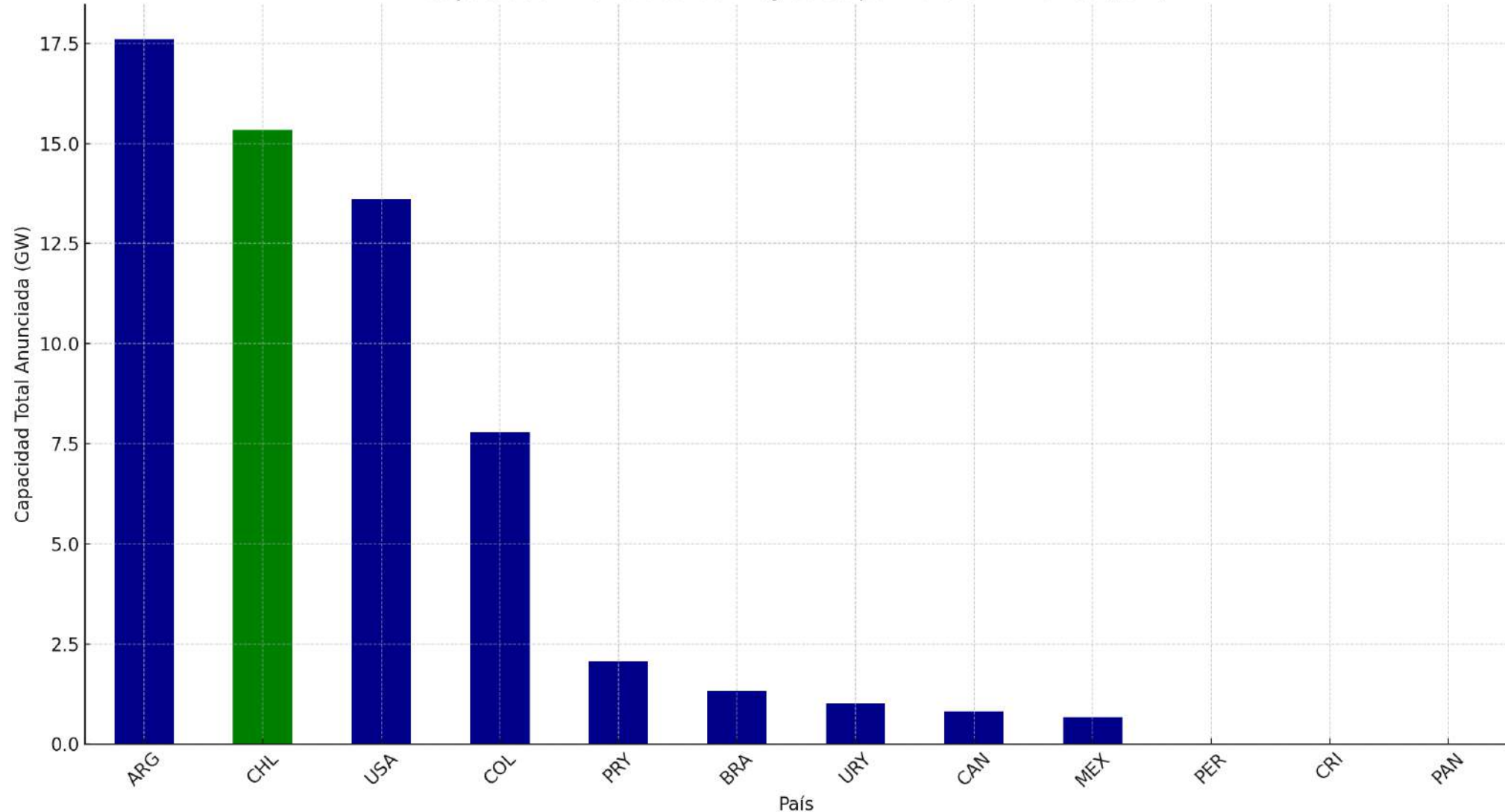
INFRAESTRUCTURA PARA EL H2V

Distribución de Productos por País en Chile vs Europa (Ordenado)



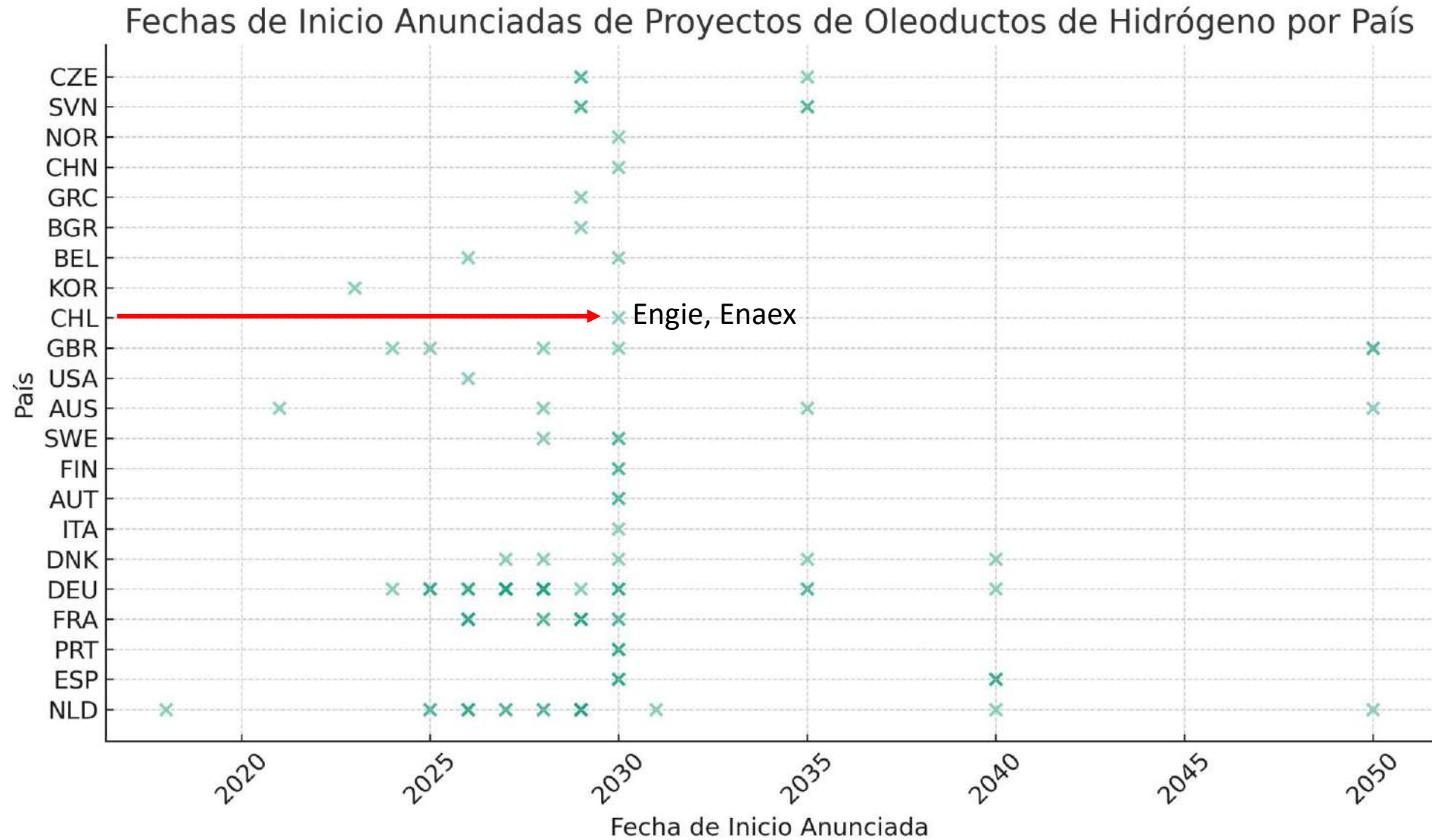
INFRAESTRUCTURA PARA EL H2V

Capacidad Anunciada de Proyectos por País en América (GW)



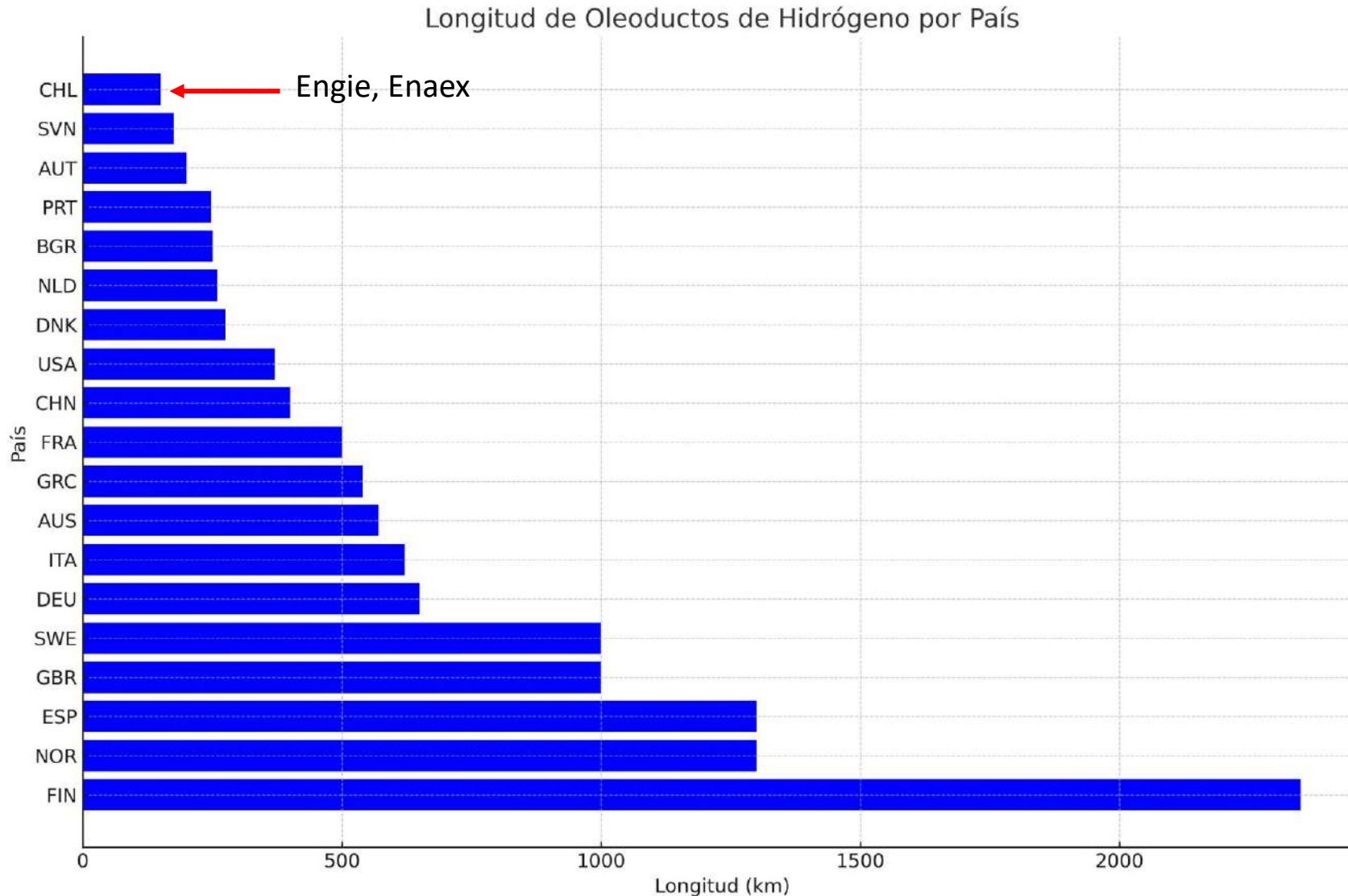


INFRAESTRUCTURA PARA EL H2V

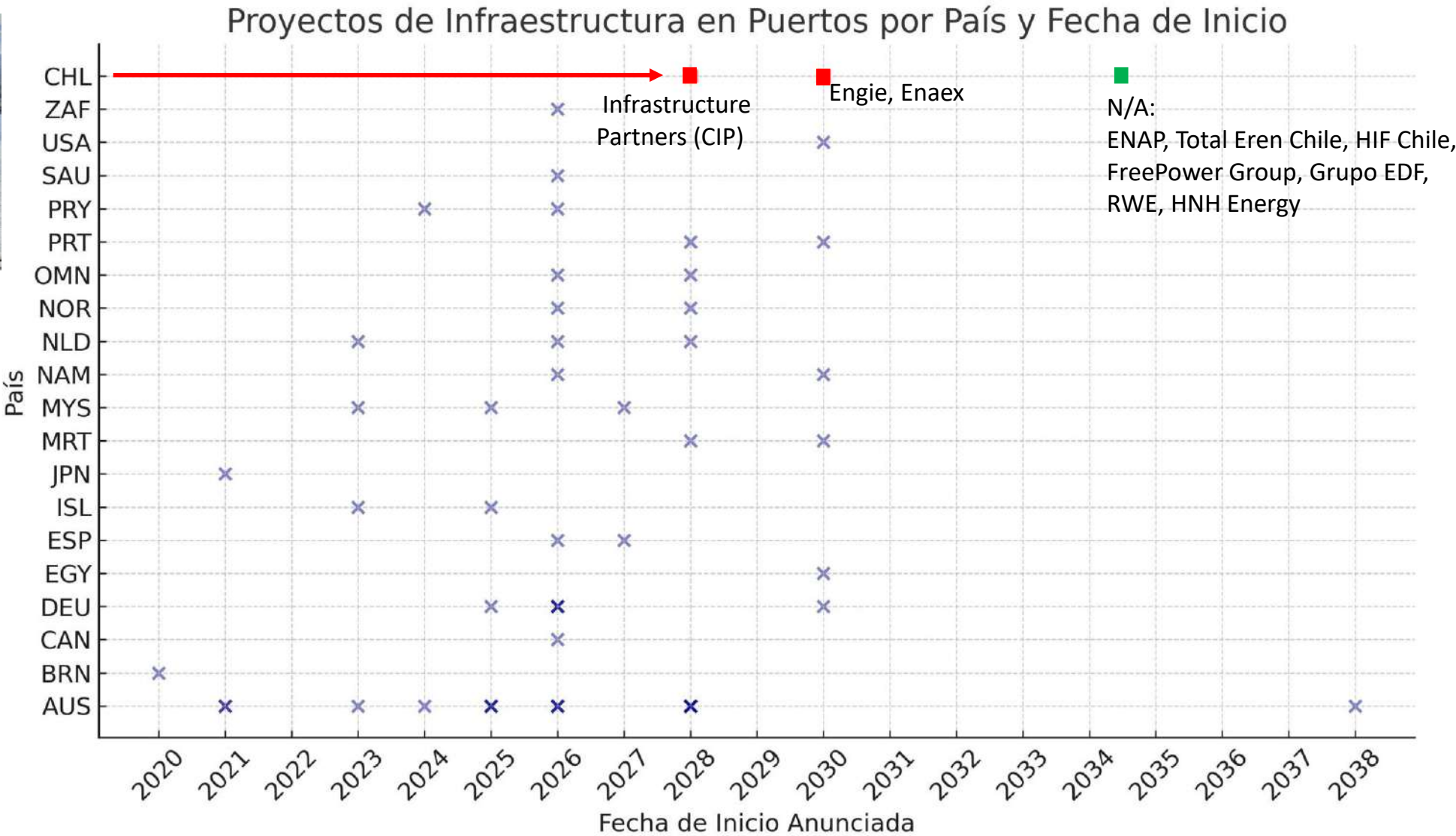




INFRAESTRUCTURA PARA EL H2V

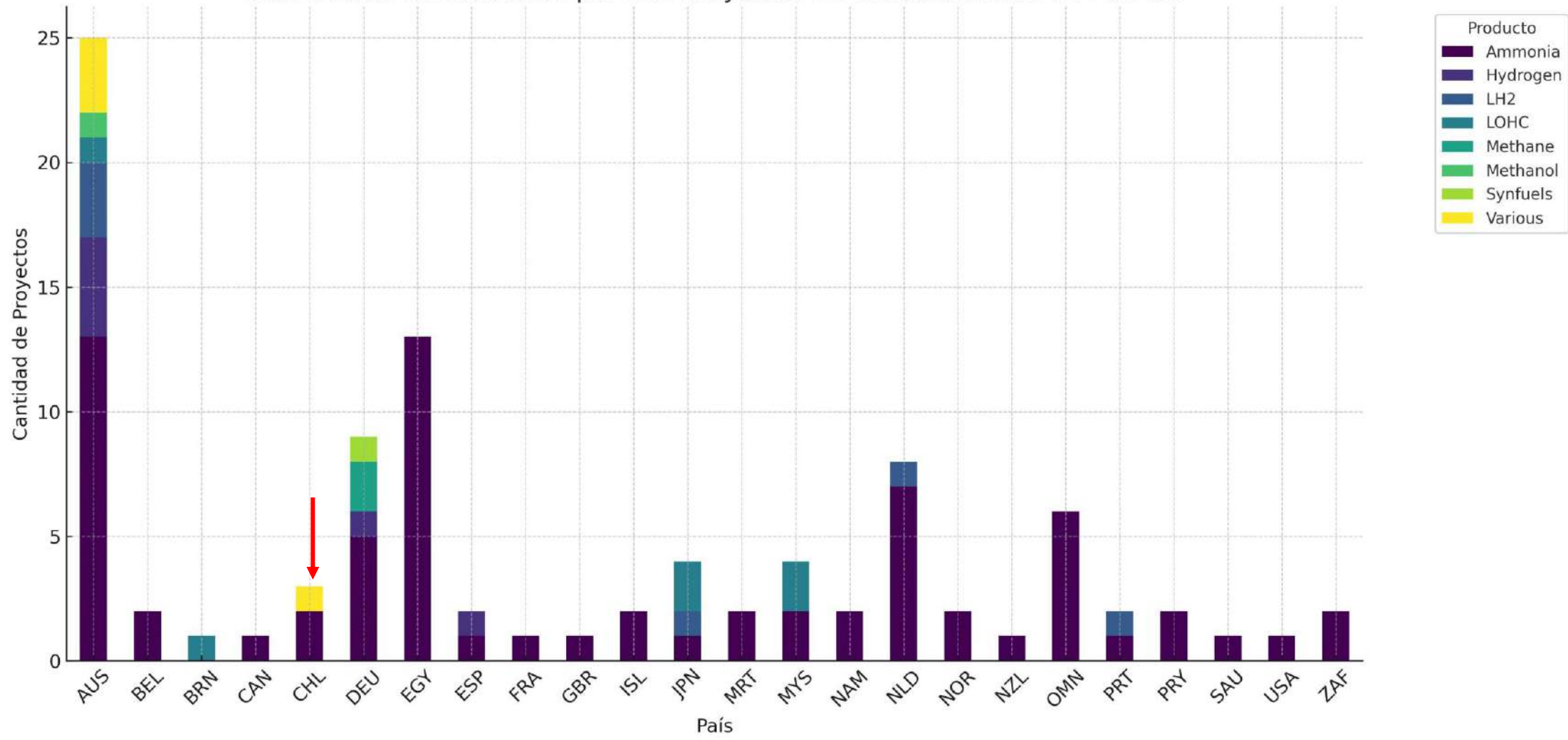


INFRAESTRUCTURA PARA EL H2V

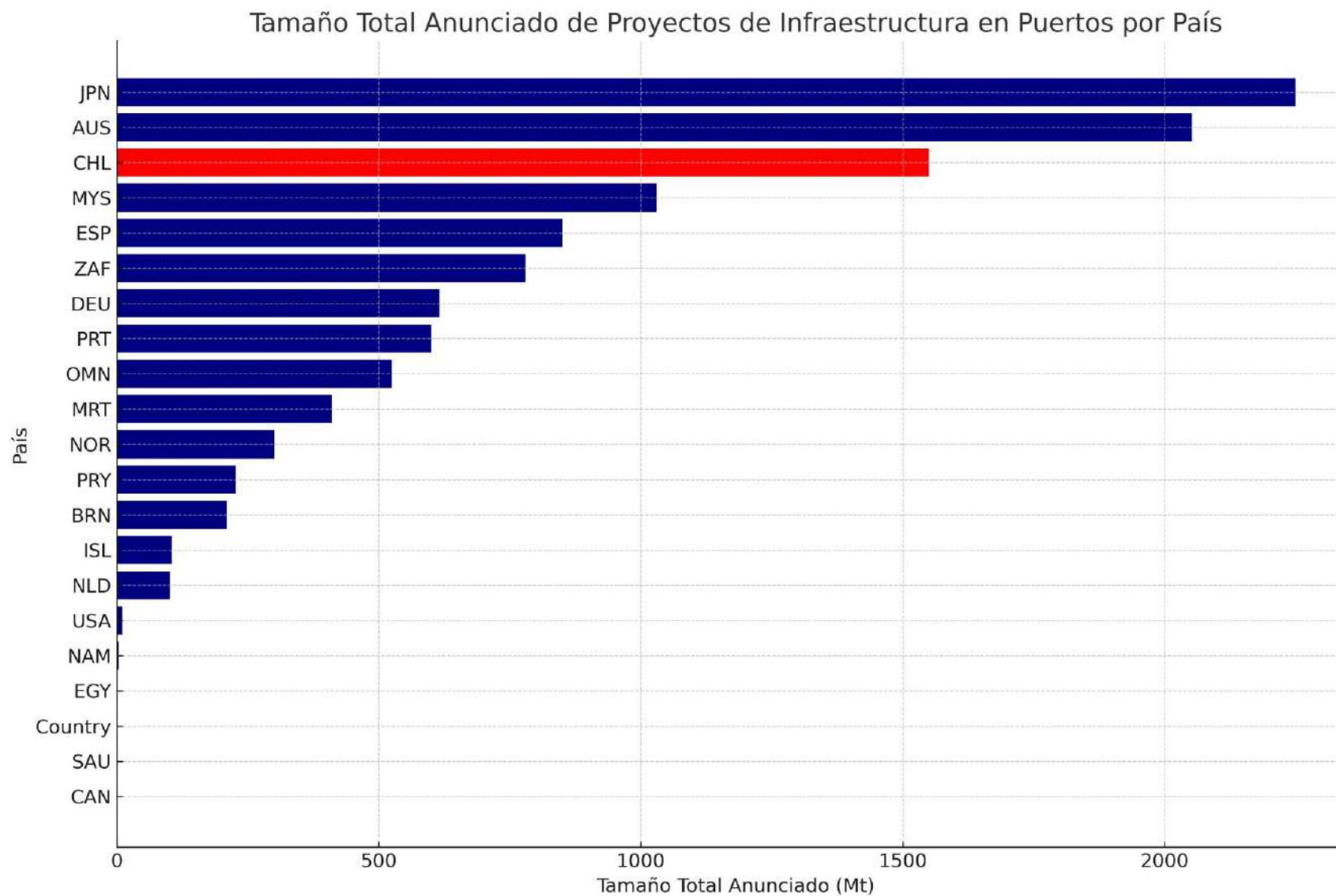


INFRAESTRUCTURA PARA EL H2V

Distribución de Productos por País Proyectos de Infraestructura en Puertos



INFRAESTRUCTURA PARA EL H2V



INFRAESTRUCTURA PARA LAS RES

Experiencia en
proyectos de energías
renovables



M Series Containerized Proton® PEM Hydrogen generation systems



Precios en USD

- ✓ MC250: \$2,748,000
- ✓ MC500: \$3,894,000

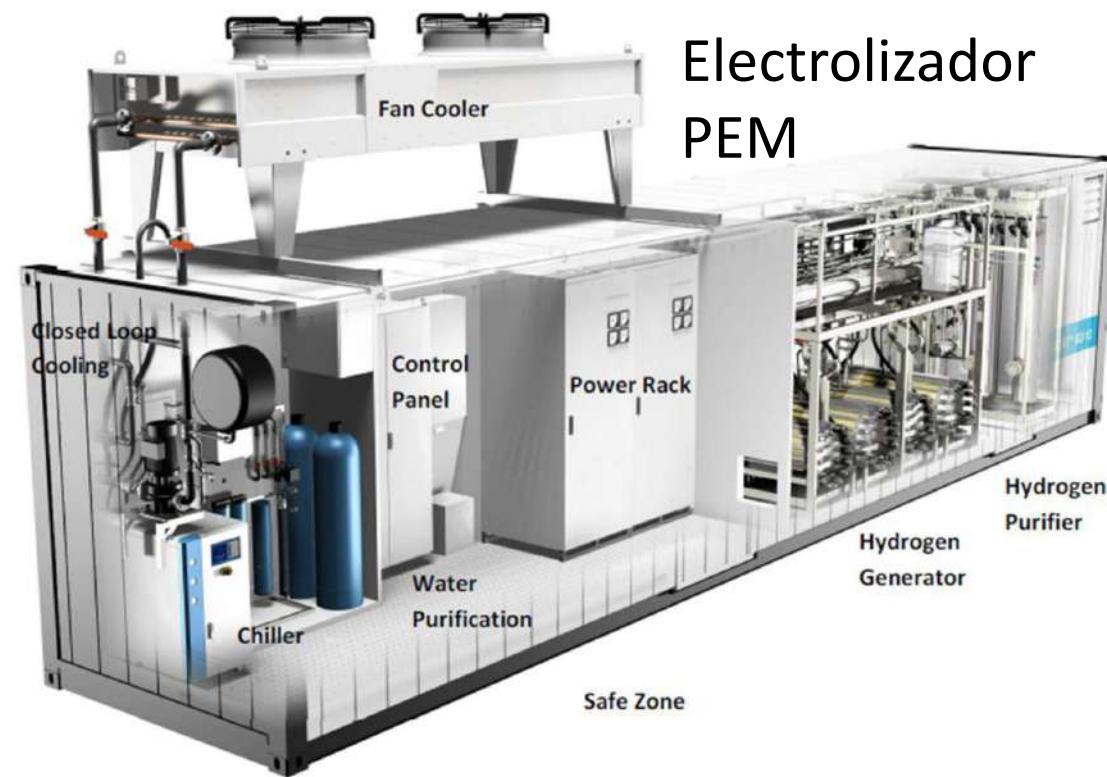
MODEL	MC250	MC500
Class	1.25 MW	2.5 MW



ELECTROLIZADORES

Obras civiles y de ingeniería para garantizar su funcionamiento seguro y eficiente:

- ✓ **Cimentación:** Se necesitan cimentaciones sólidas y estables para soportar el peso del electrolizador y resistir las cargas dinámicas y estáticas. Esto puede implicar la excavación y construcción de cimientos de concreto o pilotes, dependiendo de las características del suelo.
- ✓ **Edificio de la planta:** Se suele construir un edificio para albergar los electrolizadores y equipos auxiliares. Este edificio debe diseñarse para cumplir con los estándares de seguridad y protección contra incendios, así como para proporcionar acceso adecuado para mantenimiento y operaciones.

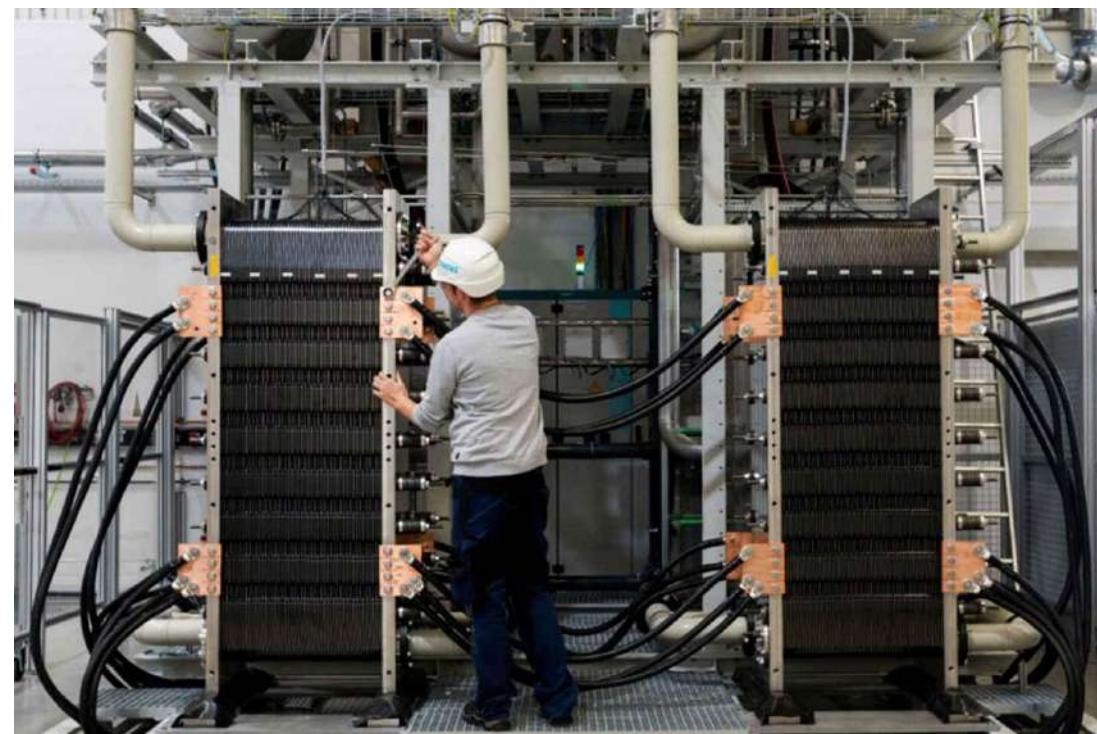




ELECTROLIZADORES

Obras civiles y de ingeniería para garantizar su funcionamiento seguro y eficiente:

- ✓ **Sistema de suministro de agua:** Los electrolizadores requieren una cantidad significativa de agua para el proceso de electrólisis. Por lo tanto, se necesita un sistema de suministro de agua que garantice un flujo constante y de calidad adecuada para evitar problemas de corrosión y rendimiento del electrolizador.
- ✓ **Sistema de suministro de electricidad:** Los electrolizadores operan con electricidad, por lo que se necesita un sistema de suministro eléctrico confiable y adecuado para la capacidad de los electrolizadores. Esto puede implicar la construcción de subestaciones eléctricas y líneas de transmisión o distribución adicionales.





ELECTROLIZADORES

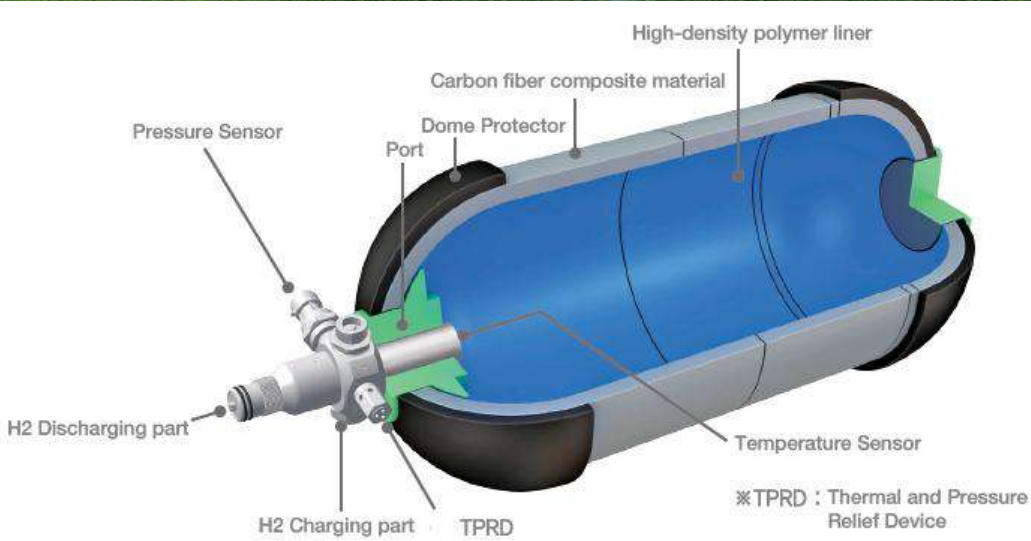
Obras civiles y de ingeniería para garantizar su funcionamiento seguro y eficiente:

- ✓ **Sistema de manejo de gases:** El hidrógeno y el oxígeno producidos durante la electrólisis deben ser manejados de manera segura. Esto implica la construcción de sistemas de almacenamiento, purificación y distribución de gases, así como medidas de seguridad para evitar riesgos asociados con la inflamabilidad del hidrógeno.
- ✓ **Sistema de control y monitoreo:** Se necesitan sistemas de control y monitoreo para supervisar y operar los electrolizadores de manera eficiente y segura. Esto incluye la instalación de equipos de control, instrumentación y sistemas de automatización.
- ✓ **Sistema de Refrigeración:** mantener una temperatura óptima de funcionamiento y garantizar la eficiencia y durabilidad del equipo.





ALMACENAMIENTO



ALMACENAMIENTO

- ✓ **Tanques de almacenamiento especializados:** Se utilizan tanques diseñados para soportar las altas presiones requeridas de manera segura con estándares de seguridad y estar contruidos con materiales resistentes y compatibles con el hidrógeno (*distancia de seguridad hasta 9 m del estanque*)
- ✓ **Sistemas de seguridad y mitigación de riesgos:** Esto puede incluir sistemas de detección de fugas, sistemas de ventilación adecuados, dispositivos de corte de emergencia, entre otros.
- ✓ **Obras civiles para la infraestructura:** Esto puede abarcar la construcción de cimentaciones y plataformas adecuadas para sostener los tanques de almacenamiento, así como la instalación de sistemas de drenaje y protección contra incendios según las normativas locales y regionales.
- ✓ **Accesibilidad y seguridad en el transporte:** Si se planea transportar el hidrógeno almacenado, se deben considerar obras civiles y de ingeniería para garantizar la accesibilidad de los vehículos de transporte, como la construcción de accesos adecuados, áreas de carga y descarga seguras, y cumplimiento de regulaciones de transporte de materiales peligrosos.





ALMACENAMIENTO



Gaseous hydrogen fuelling station, USA



Gaseous hydrogen fuelling station, Graz, Austria



DISTRIBUCIÓN

Infraestructura para el transporte y distribución: Si se planea transportar el hidrógeno producido, se necesitarán obras civiles para la *construcción de áreas de carga y descarga seguras, sistemas de tuberías* para la distribución interna de hidrógeno dentro de la planta, y posiblemente *infraestructuras de conexión* con sistemas de transporte externo, como camiones cisterna o tuberías de transporte a larga distancia.



Carriers de Hidrógeno



Propiedades Generales de los Combustibles de Hidrógeno

El hidrógeno verde desempeñará un papel fundamental en la transición energética hacia una economía ecológica. Es uno de los *carriers* de energía más prometedores y se aplica en una gran diversidad de industrias en todo el mundo.

Combustibles Comparados

- Hidrógeno líquido y comprimido
- LOHC (Carrier Orgánico Líquido)
- Metanol
- Amoniaco
- Etanol
- Gasolina y Diésel

	LHV (MJ/kg)	Density @ stor. (kg/m³)	LHV (MJ/l)	Comb. products	Toxicity	Flam. range
H ₂ 200 barg	120	14,5	1,74	H ₂ O	No	Wide
H ₂ 700 barg	120	39,3	4,716	H ₂ O	No	Wide
Liquid H ₂ (-253 °C)	120	70	8,4	H ₂ O	No	Wide
Methanol	19,9	792	15,76	CO ₂ (bio?)	Yes	Medium
Ethanol	26,7	790	21,09	CO ₂ (bio?)	No	Small
Ammonia (-33 °C)	18,6	682	12,69	H ₂ O, N ₂	Yes	Small
LNG	48	450	21,6	CO ₂	No	Small
Gasoline	43,4	743	32,25	CO ₂	No	Very small
Diesel	42,6	850	36,21	CO ₂	No	Very small



Desafíos del Hidrógeno

El hidrógeno no emite CO_2 en su combustión, sin embargo, presenta algunas dificultades significativas que deben abordarse para su implementación a gran escala.

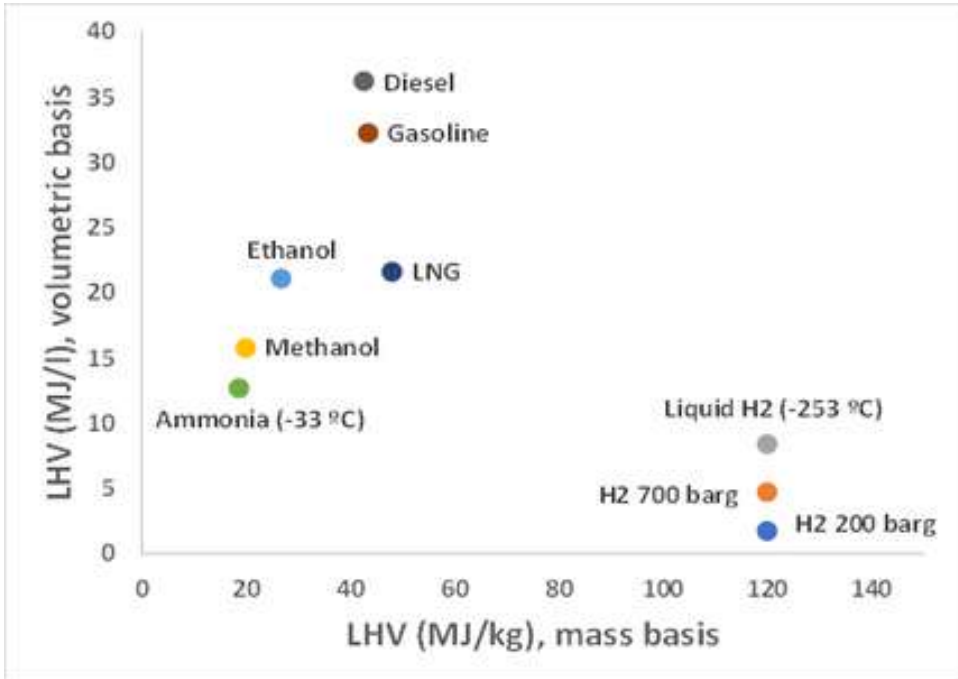
Almacenamiento

- Molécula pequeña y ligera con tendencia a la difusión
- Requiere un gran volumen de almacenamiento

Seguridad

- Baja energía de activación para combustión
- Amplio rango de mezclas inflamables con aire
- Llama invisible con radiación UV
- Extremadamente peligroso en espacios reducidos

Los combustibles fósiles tienen una densidad de energía volumétrica muy elevada, aunque elevada, aunque emiten CO_2 y otros GEI. Este problema puede resolverse con el uso de *carriers* de hidrógeno como el metanol o el amoníaco.



Hidrógeno Comprimido

- ✓ El hidrógeno en estado gaseoso se comprime hasta 200-300 bar (700 bar en coches eléctricos con pila de combustible). Se almacena y transfiere a camiones mediante dispensador a 200-300 bar o a gasoductos normalmente a menos de 100 bar.
- ✓ El transporte intercontinental de hidrógeno comprimido comprimido todavía no es de carácter comercial, ya que no que no se dispone de almacenamiento comprimido en en barcos actualmente.



Ventajas

- Gasoducto: muy interesante económicamente para grandes producciones en transporte continental
- Camión: viable para distancias inferiores a 100 km y pequeñas producciones

Desventajas

- Pérdida de pureza al mezclarse con gas natural (solo 5-15% de hidrógeno)
- Clara desventaja económica en transporte transoceánico

❏ **Conclusión:** El hidrógeno comprimido es la alternativa menos económica para el transporte intercontinental, pero resulta interesante para gasoductos dentro de un mismo continente.



Hidrógeno Líquido

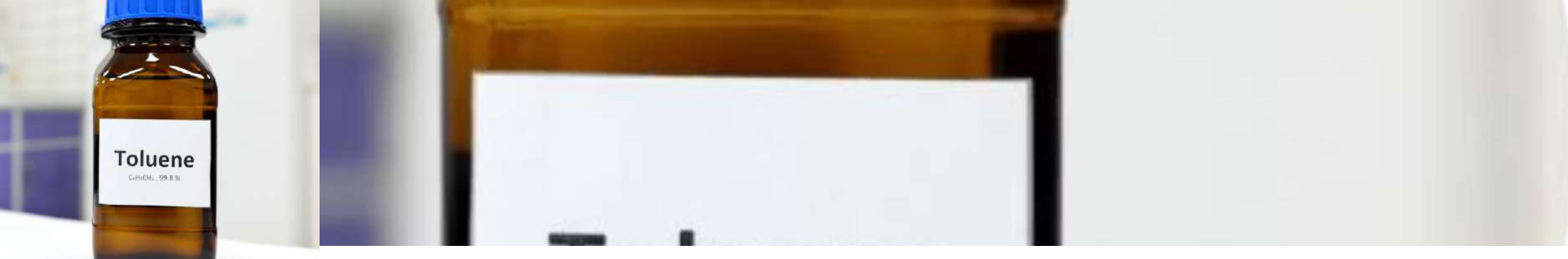
El hidrógeno se purifica, comprime y licúa en un proceso que requiere mucha energía. Se almacena a -253°C , casi a presión atmosférica. Después atmosférica. Después se puede repartir en camiones para distribución continental o en buques para transporte transoceánico.

Ventajas

- Transporte en camión económico para distribuciones a menor escala
- Ventaja económica frente al hidrógeno comprimido en transporte transporte transoceánico

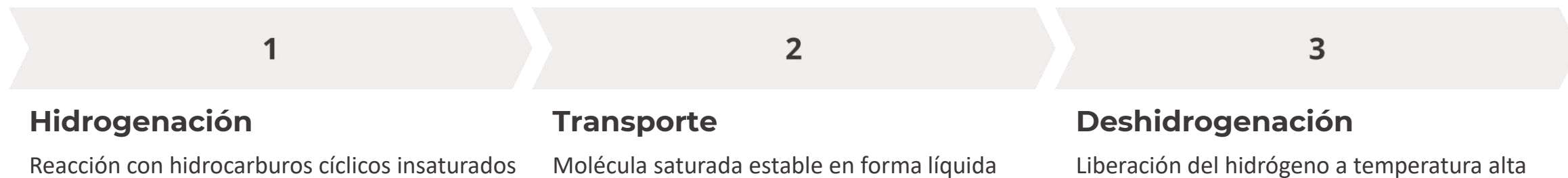
Desventajas

- Tecnología no suficientemente desarrollada ni escalada
- Elevado coste energético de licuefacción
- Pérdida de pureza al mezclarse con gas natural
- Generación de boil-off gas (BOG) en transporte intercontinental



Carrier de Hidrógeno Orgánico Líquido (LOHC)

En las instalaciones de exportación, el hidrógeno reacciona con hidrocarburos cíclicos insaturados a alta presión y temperatura moderada para producir un compuesto cíclico saturado y estable. La molécula saturada se transporta en forma líquida por buque o camión hasta el lugar donde se requiere el hidrógeno.



Pros

- Transporte en camión económico para pequeñas distribuciones
- No es tóxico y se transporta fácilmente

Contras

- Tecnología no suficientemente desarrollada
- Requiere temperatura superior a 300 °C en deshidrogenación
- Necesita compresión y purificación adicional
- Coste elevado del inventario inicial del carrier



Metanol

El metanol verde se produce a partir de CO₂ e hidrógeno verde a 75 bar aproximadamente, en un proceso de síntesis conocido. Se transporta en condiciones ambientales hasta la terminal de importación, donde el metanol se reforma con vapor de agua para producir hidrógeno y se genera CO₂.



Transporte Eficiente

Interesante para pequeñas y medianas medianas distribuciones por tren o o camión



Ventaja Transoceánica

Ventaja económica sobre casi todas las alternativas excepto amoniaco



Infraestructura Existente

Tecnología desarrollada para producción y transporte a gran escala



Consideración importante: Se genera CO₂ en el proceso de reformado. Puede capturarse, licuarse y enviarse de nuevo a la la terminal de producción, pero representa un coste medio-alto. Es alto. Es una sustancia tóxica.

Amoniaco



El amoniaco verde se produce a partir de nitrógeno (del aire) e (del aire) e hidrógeno verde siguiendo el proceso conocido de conocido de síntesis de Haber-Bosch, que funciona a presión y presión y temperatura altas. Se almacena y carga en buques a - buques a $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presión atmosférica, o en forma presurizada a presurizada a temperatura ambiente.

01

Síntesis Haber-Bosch

Producción a partir de nitrógeno e hidrógeno verde

03

Transporte

Por buques, camiones, trenes o gasoductos

Ventajas Principales

- Transporte y distribución por tren altamente económicos
- Distribución por gasoductos atractiva para grandes producciones
- Infraestructura existente
- **Ventaja económica sobre todas las alternativas para transporte transoceánico**
- Puede suministrarse y utilizarse directamente como producto

02

Almacenamiento

A $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presión atmosférica o presurizado a temperatura ambiente

04

Descomposición

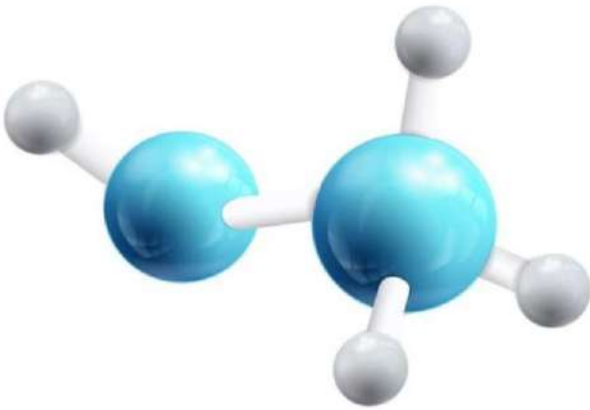
Recuperación del hidrógeno y liberación del nitrógeno al aire

Desventajas

- Debe escalarse el proceso de craqueo para obtener hidrógeno eficientemente
- Es una sustancia tóxica

Comparación Económica

Se ha llevado a cabo un análisis económico entre los carriers de hidrógeno más prometedores para el transporte transoceánico intercontinental, en diferentes escenarios a escala del electrolizador de GW. Generación y conversión en Oriente Medio, LATAM o países del sur de la UE, con transporte y reconversión en el norte de Europa.



El amoníaco es el carrier más adecuado desde una perspectiva tecnoeconómica

Futuro: El Desafío del Craqueo de Amoníaco

Hay que esforzarse específicamente en resolver el principal obstáculo en la cadena del amoníaco: el proceso de craqueo.

Actualmente, las instalaciones de craqueo de amoníaco son pequeñas y funcionan con craqueadores por calentamiento eléctrico. En regiones donde el craqueo puede desempeñar un papel importante, como Centroeuroopa, la electricidad renovable no es barata.

Situación Actual

Instalaciones pequeñas con calentamiento eléctrico

Primer Paso Lógico

Reformadores multi-tubulares con horno, aunque incrementan la huella de carbono

Futuro Prometedor

Tecnología autotérmica como gran avance para mayor producción

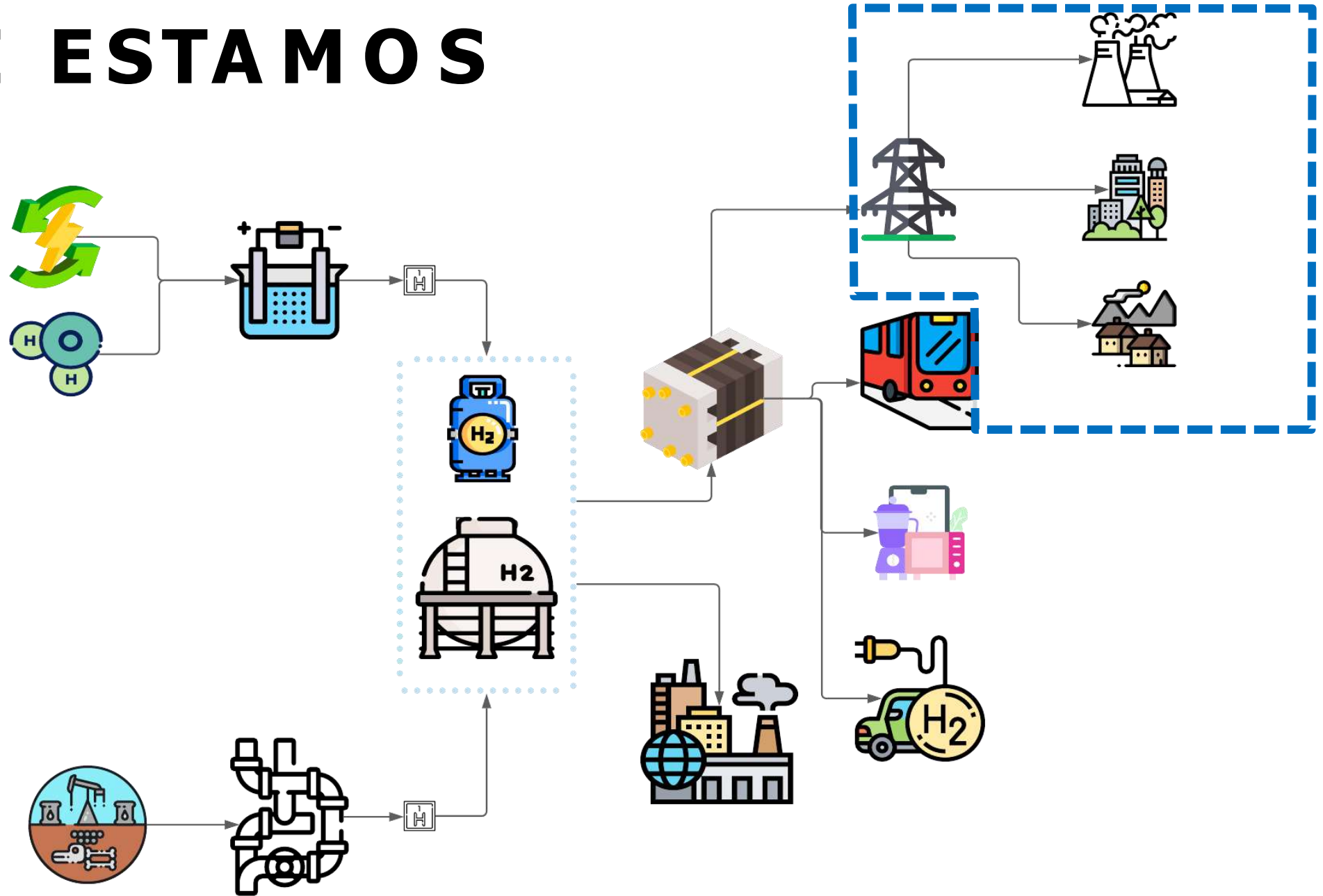
La tecnología autotérmica puede representar un gran avance en el craqueo de amoníaco y ser una de las tecnologías más prometedoras de cara a una mayor producción a escala industrial.



CELDA DE COMBUSTIBLE



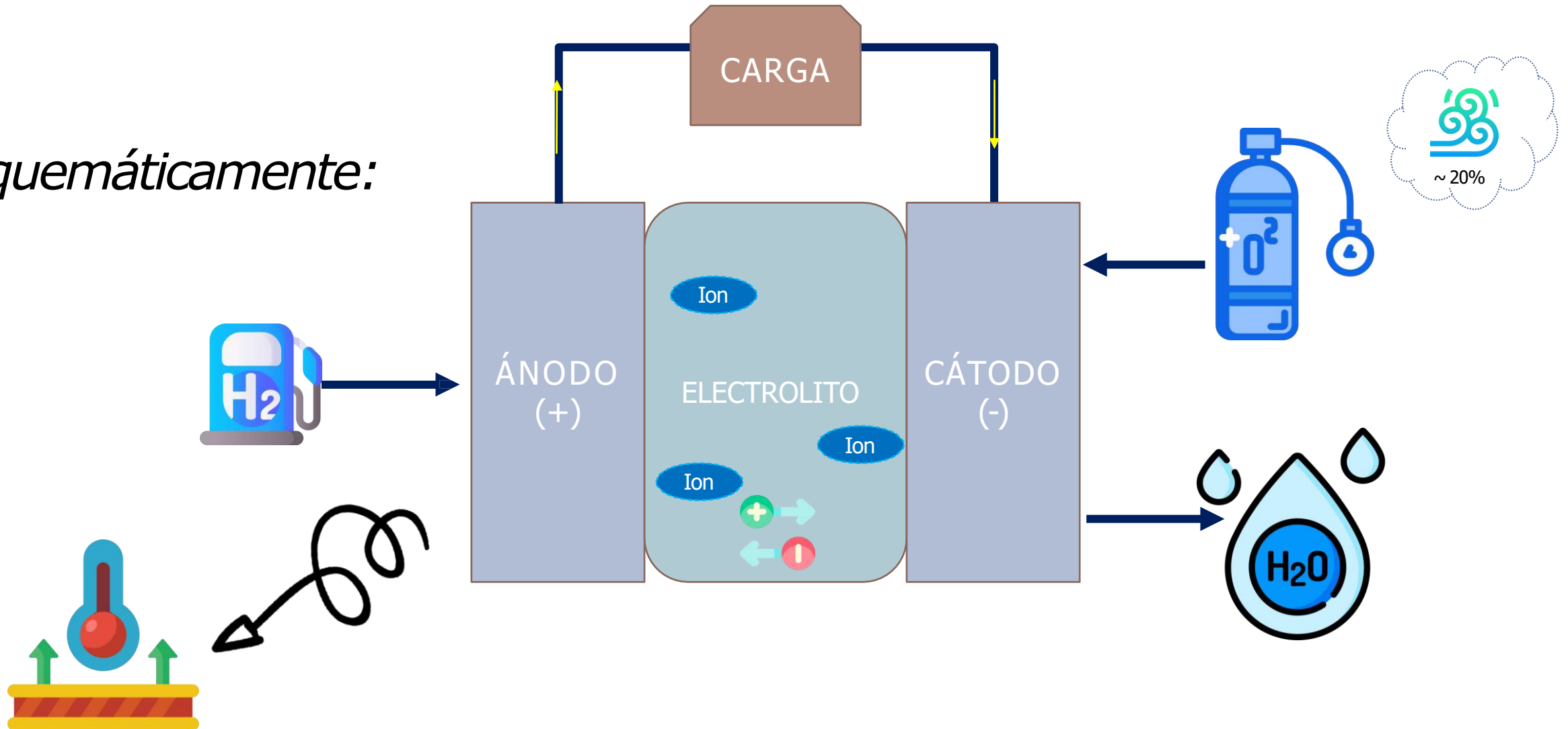
DONDE ESTAMOS



QUE ES UNA FC?

Equipo que convierte un combustible (H_2 , Metano, Metanol, Etanol) en electricidad.

Esquemáticamente:

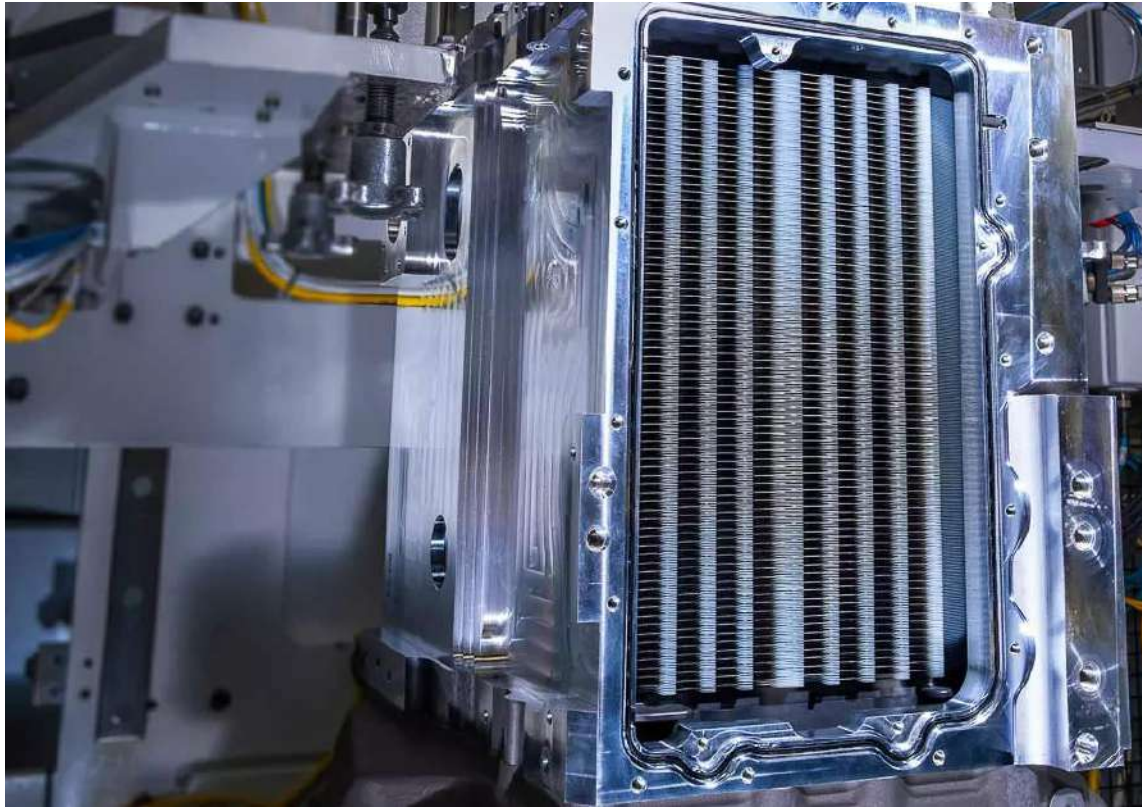


TIPOS DE FC

	PEMFC	AFC	DMFC	DEFC	SOFC	MCFC	PAFC
Electrolito	Membrana Electrolito Polimérico – Membrana Intercambio de Protones	KOH (Sol)	KOH (Sol)	KOH (Sol)	YSZ (Yttria-stabilized zirconia – Circonia estabilizada con itria) – Material Ceramico	MC (Carbonato Fundido). Mezcla de Carbonatos Alcalinos (Carbonatos de potasio, litio, sodio)	Acido Fosfórico
Electrocatalizador	Pt	Pt	Pt	Pt	Ceramico	Ni; K	Pt
Temperatura Operación	<100 °C	<100 °C	<100 °C	<100 °C	~1.000 °C	~650 °C	~200 °C
Combustible	H ₂	H ₂	Metanol	Etanol	Metano (GN)	Metano (GN)	H ₂
Portador de Carga	H ⁺	(OH) ⁻	H ⁺	H ⁺	O ⁻²	(CO ₃) ²⁻	H ⁺
Rechazo Calor	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Medio
Eficiencia [%]	60	60 - 70	60 – 70	60 - 70	50 - 60	50 - 60	45 – 80
Aplicación	Vehículos , Gx pequeña escala	Aplicaciones Espaciales	Vehículos , Gx pequeña escala	Vehículos , Gx pequeña escala	Plantas de Potencia – Co Generación	Plantas de Potencia – Co Generación	Plantas Mediana Escala – Respaldo de Potencia

Generación de Energía usando H₂V

Fuel Cell: Estacionarias



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

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



Generación de Energía usando H2V

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 Inversion
800 – 1500 USD / kW

Costo Operación
0,15 USD / kWh

Consumo
0,5 kg H₂ / kWh

Generación de Energía usando H2V

Fuel Cell: Power to Power

Infraestructura para instalación de Fuel Cells consideraciones generales :

- ✓ Cimentaciones.
- ✓ Estructuras de Soporte.
- ✓ Accesibilidad para asegurar un acceso adecuado para la operación y mantenimiento, etc.
- ✓ Drenaje y manejo de aguas.
- ✓ Salas de control y eléctricas.
- ✓ Integración de sistemas ya que en la práctica es común alimentar otros sistemas existentes en la planta, incluyendo conexiones eléctricas y de control.
- ✓ Sistemas de tuberías para el transporte de hidrógeno, aire y otros gases o líquidos necesarios.
- ✓ Ventilación y seguridad para evitar la acumulación de hidrógeno y garantizar la seguridad en caso de fugas.
- ✓ Protección contra incendios.
- ✓ Cumplimiento normativo.



ACTIVIDAD 4: Debate Fishbowl (40 min)

Fishbowl: metodología de debate participativo donde un grupo pequeño discute en el centro ("la pecera") y el resto observa y se une a la discusión

Configuración del debate

- **Dos grupos principales de 10 personas (interiores del "fishbowl"):**
 - **Equipo A:** defensor de *Amoníaco* / *e-combustibles* (NH_3 , MeOH , LOHC).
 - **Equipo B:** defensor de *Gasoducto* / H_2 *directo* (comprimido o licuado).
- ***Usar buscadores de internet o herramientas IA para validar la información*
- **Resto del grupo (anillo exterior):** observadores y jurado técnico.

*“No existe una única solución óptima; la decisión logística dependerá del mercado objetivo y la infraestructura disponible. Hoy, ENAP puede liderar **rutas híbridas**: producir H_2 en Magallanes, exportar como NH_3 y usar blending local por gasoductos.”*

ACTIVIDAD 5: Cuadro de Decisión Logística (25 min)

- Usaremos herramienta (Miro, Figma o A3)
- Grupos de 6 personas

Objetivo es que cada grupo ahora actúa **como comité de decisión de ENAP** y completa la matriz de criterios ponderados:

Paso 1 – Asignar pesos a criterios (0–1)

Criterio	Descripción	Peso
Costo logístico total (USD/kg H ₂ entregado)	Incluye transporte, almacenamiento, conversión.	0,30
Madurez tecnológica (TRL)	1–10 según disponibilidad comercial.	0,20
Seguridad / HSE	Riesgos de manejo y compatibilidad con normativa.	0,15
Infraestructura existente	Grado de aprovechamiento de activos ENAP.	0,15
Flexibilidad / Escalabilidad	Facilidad para aumentar volumen o cambiar destino.	0,10
Requerimiento energético adicional (penalty)	Energía extra por licuefacción, cracking, etc.	0,10

Paso 2 – Puntuar cada alternativa (1–5)

Paso 3 – Calcular puntuación total

Multiplicar peso × puntuación para cada criterio y sumar por alternativa.

$$\text{Score total} = \sum (\text{peso}_i \times \text{puntaje}_i)$$

El resultado muestra qué opción resulta **más atractiva integralmente**.

Paso 4 – Visualizar resultados

Entregable final:

Cada grupo entrega su **Cuadro de Decisión Logística** (A3 o PDF) con:

- Pesos de criterios
- Puntajes
- Score final
- Breve justificación (2–3 líneas)

