



Hidrógeno Verde – Generación, usos y perspectivas

Programa Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile GIZ



QUE ES GIZ

Misión: Desarrollo Sustentable

- Empresa Federal para el desarrollo sostenible, sin fines de lucro.
- Con sede principal en Alemania.
- Más de 45 años de experiencia en países en desarrollo y economías emergentes.
- Con operaciones en más de 130 países.
- ~ 16.500 empleados en todo el mundo, más de 11.000 de ellos como personal nacional.

GIZ en Chile

- Activo hace 25 años
- En ámbito de energía: desde 2004
- Contraparte directo: Ministerio de Energía





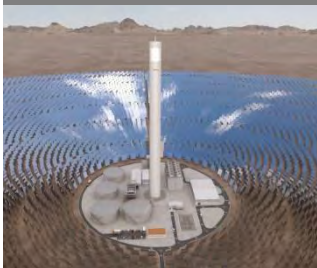
PROGRAMA 4E: ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CHILE

Comitente: Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania - BMU

Contraparte: Ministerio de Energía de Chile

Objetivo: Reducción de GEI a través del uso de energías renovables y eficiencia energética

Fomento de la Energía
Solar - CSP/CST y PV a
gran escala
2014 - 2019



Energías renovables para
aplicaciones de
autoconsumo
2015 - 2020



Cogeneración para
aplicaciones industriales y
comercio
2015 - 2020



Mercado Global del
Carbono - Chile
2017 - 2021



Eficiencia energética en
Minería
2019-2022





“Sí, mis amigos, creo que algún día se empleará el agua como combustible, que el hidrógeno y el oxígeno de lo que está formada, usados por separados o en forma conjunta, proporcionarán una fuente inagotable de luz y calor, de una intensidad de la que el carbón no es capaz [...] El agua será el carbón del futuro.”

Julio Verne, La Isla Misteriosa,

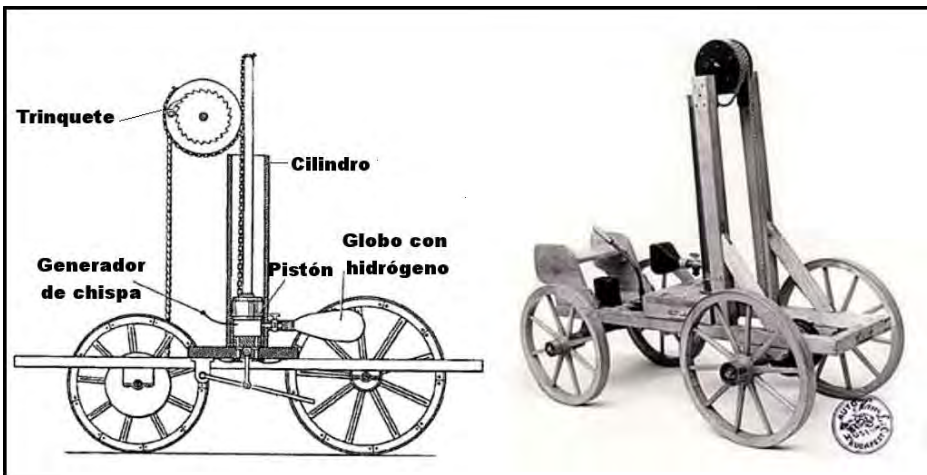


Hidrógeno el “aire inflamable”

- En el siglo XIX se utilizó una **combinación de hidrógeno 45% y metano 35% como gas de ciudad**, para iluminación de las calles.



- En 1807 François Isaac de Rivaz patentó el primer motor de combustión interna en base a **hidrógeno**.



¿Qué es el hidrógeno?

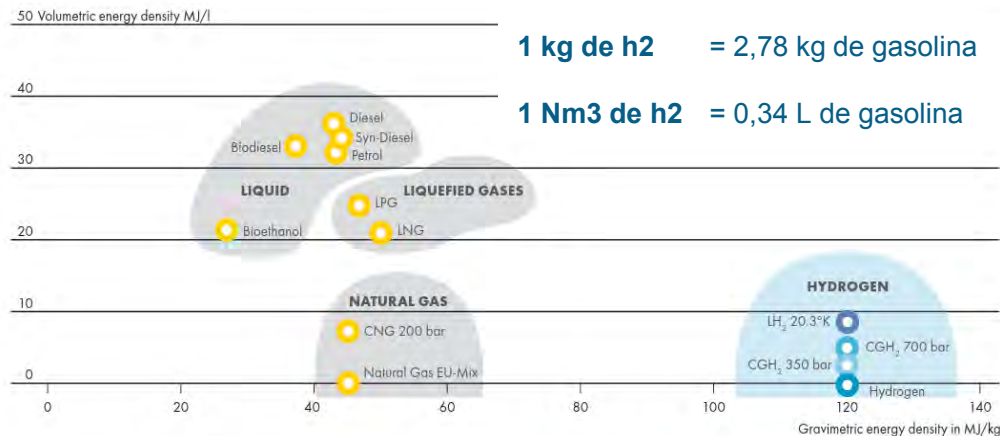
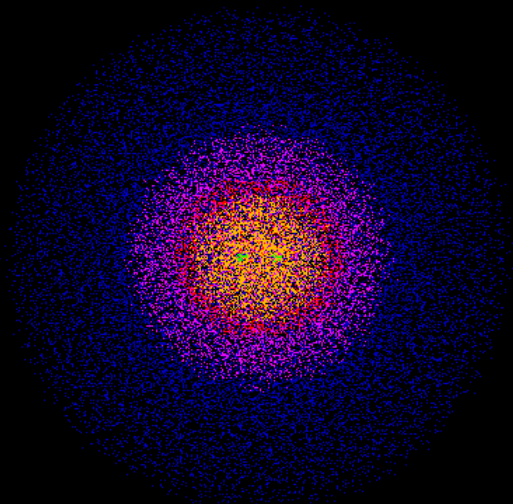


Descripción básica

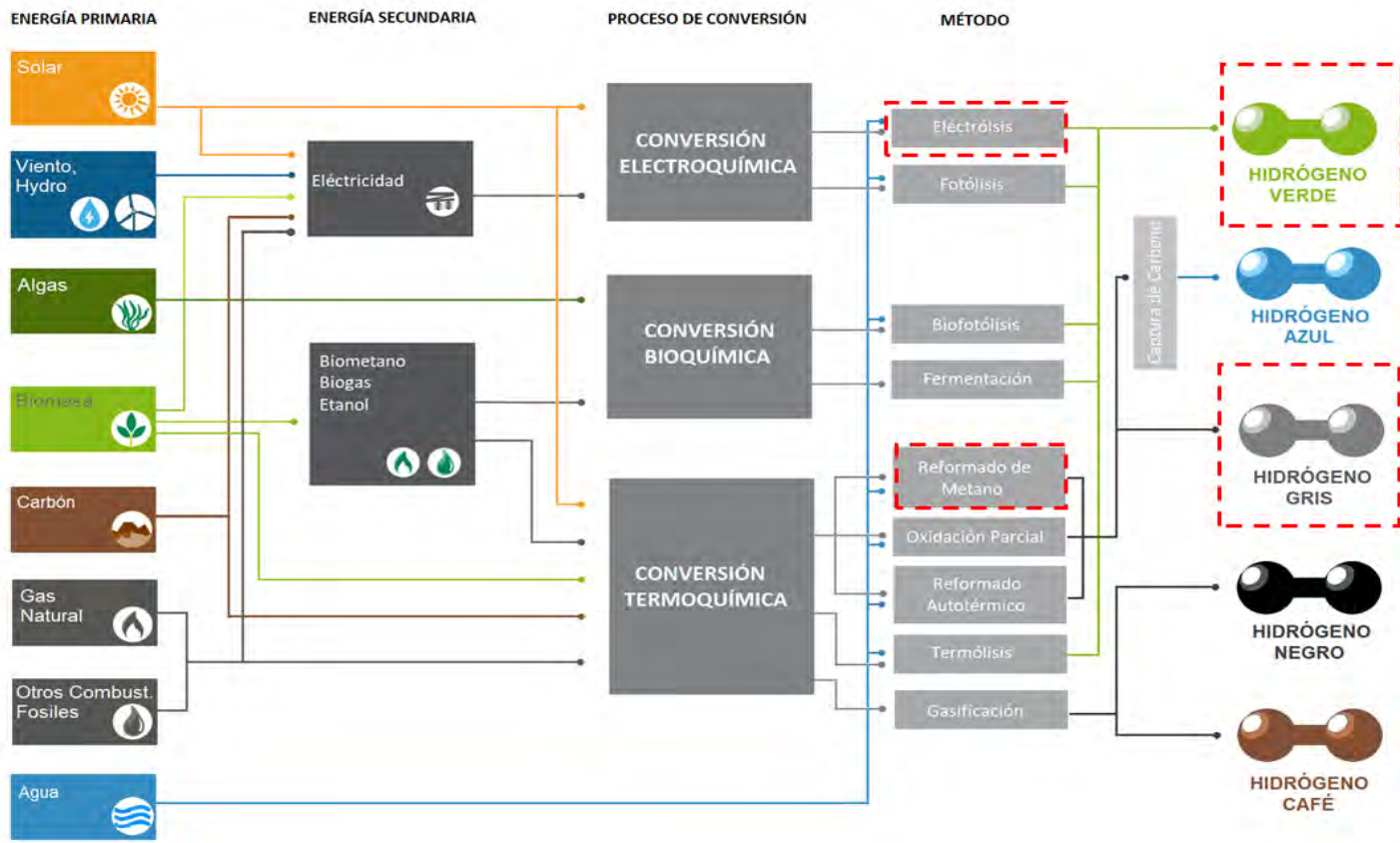
- **Gas** incoloro, inodoro, insípido

Propiedades Generales

- Inflamable
- No irritante, no tóxico, asfixiante
- No corrosivo
- Gas más liviano de todos



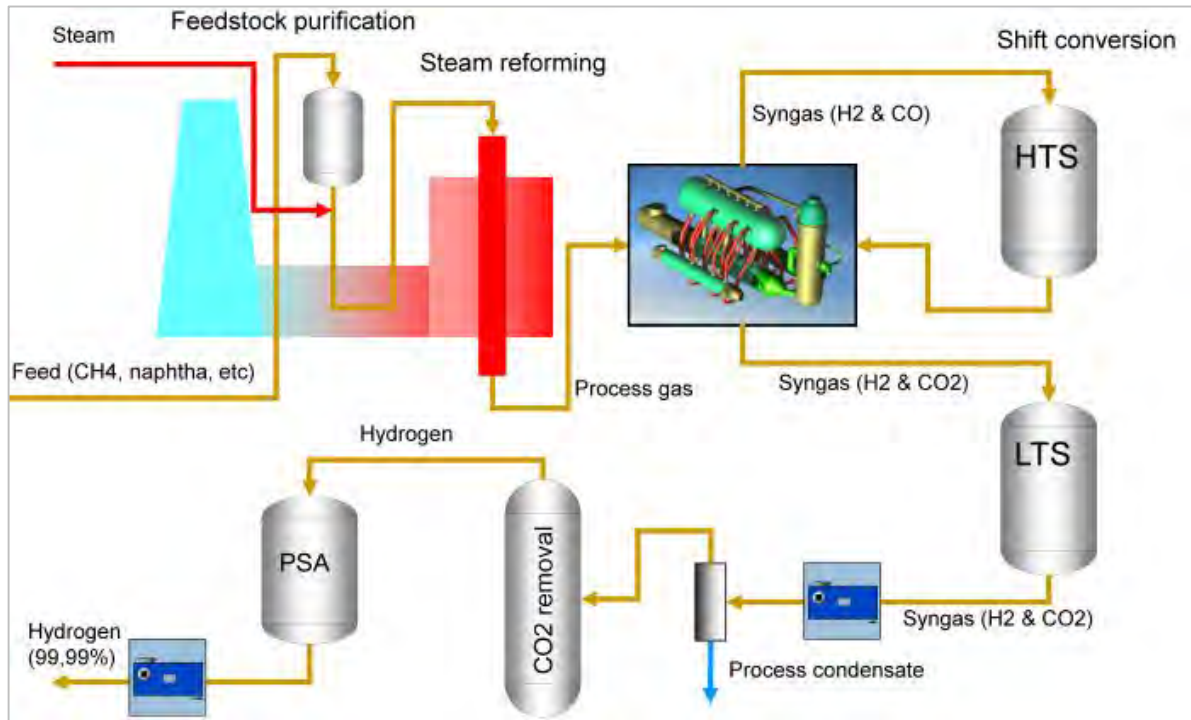
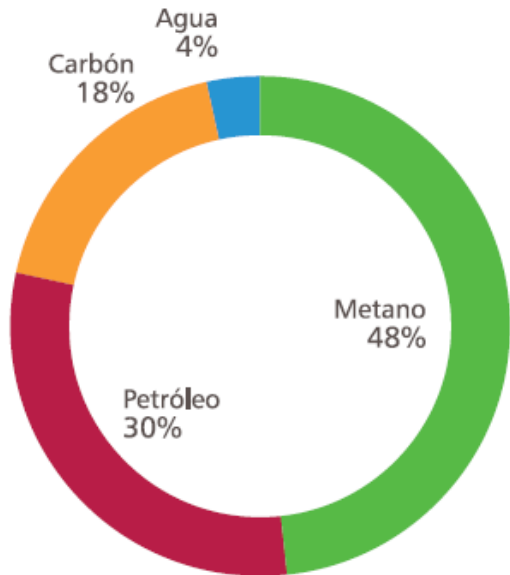
¿Como se produce?



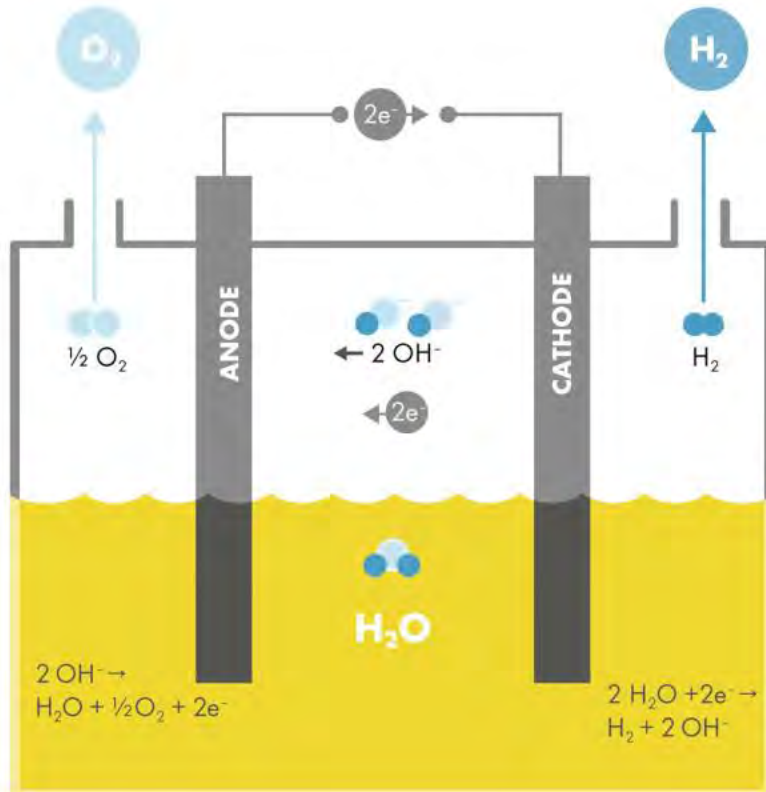


¿Como se produce? - Reformado de Metano - Etapas

Reformado de Metano - Etapas



¿Como se produce? - Electrólisis



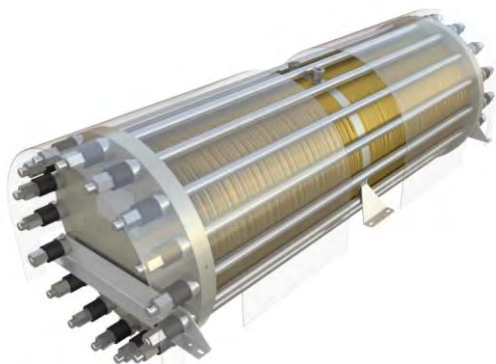
- La electrólisis de agua es el proceso en el cual las moléculas de agua se dividen en sus componentes principales (H_2 y O_2) mediante la aplicación de energía eléctrica.
- El principio fundamental de la electrólisis consiste en aplicar corriente continua entre dos electrodos sumergidos en un electrolito (KOH o NaOH).
- El hidrógeno se forma en el cátodo (-) y el oxígeno en el ánodo (+).

¿Como se produce? - Electrólisis



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Electrólisis PEM



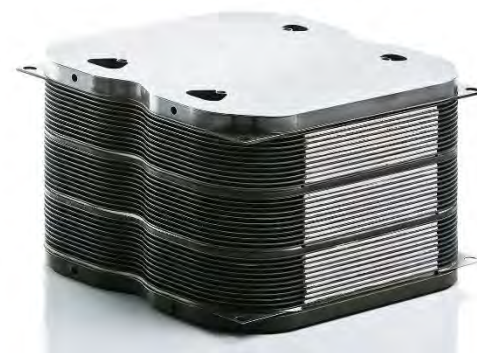
Hydrogenics

Electrólisis Alcalina



Hydrogenics

Electrólisis SOEC



Sunfire



- El hidrógeno es **producido principalmente con combustibles fósiles**, casi la totalidad utilizando gas natural.
- El **60 % de este hidrógeno** se produce en plantas dedicadas exclusivamente para este fin.



De las 69 Millones de toneladas de hidrógeno puro que se producen, se utilizan:

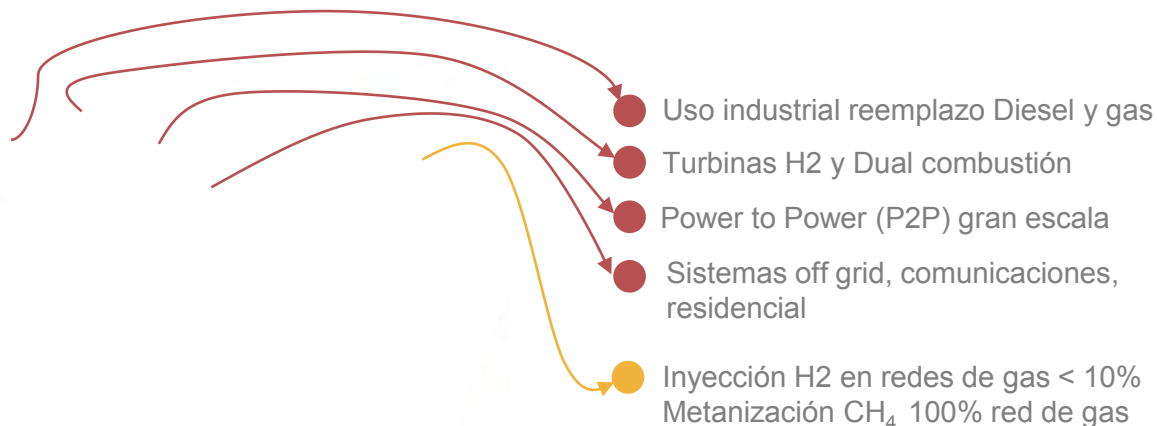
- 31 MM toneladas para la producción de amoníaco, especialmente para fertilizantes
- 38 MM toneladas se utilizan para la refinación de combustibles

Nuevos usos del hidrógeno



El uso del hidrógeno en otras aplicaciones ha tenido un resurgimiento por:

- La necesidad urgente de descarbonizar la matriz energética, requiere otras formas de energía distintos a la electricidad.
- El costo de la energía renovable y la reducción de precio en los sistemas que generan y transforman el hidrogeno ha habilitado un industria que hasta hace poco estaba detenida.



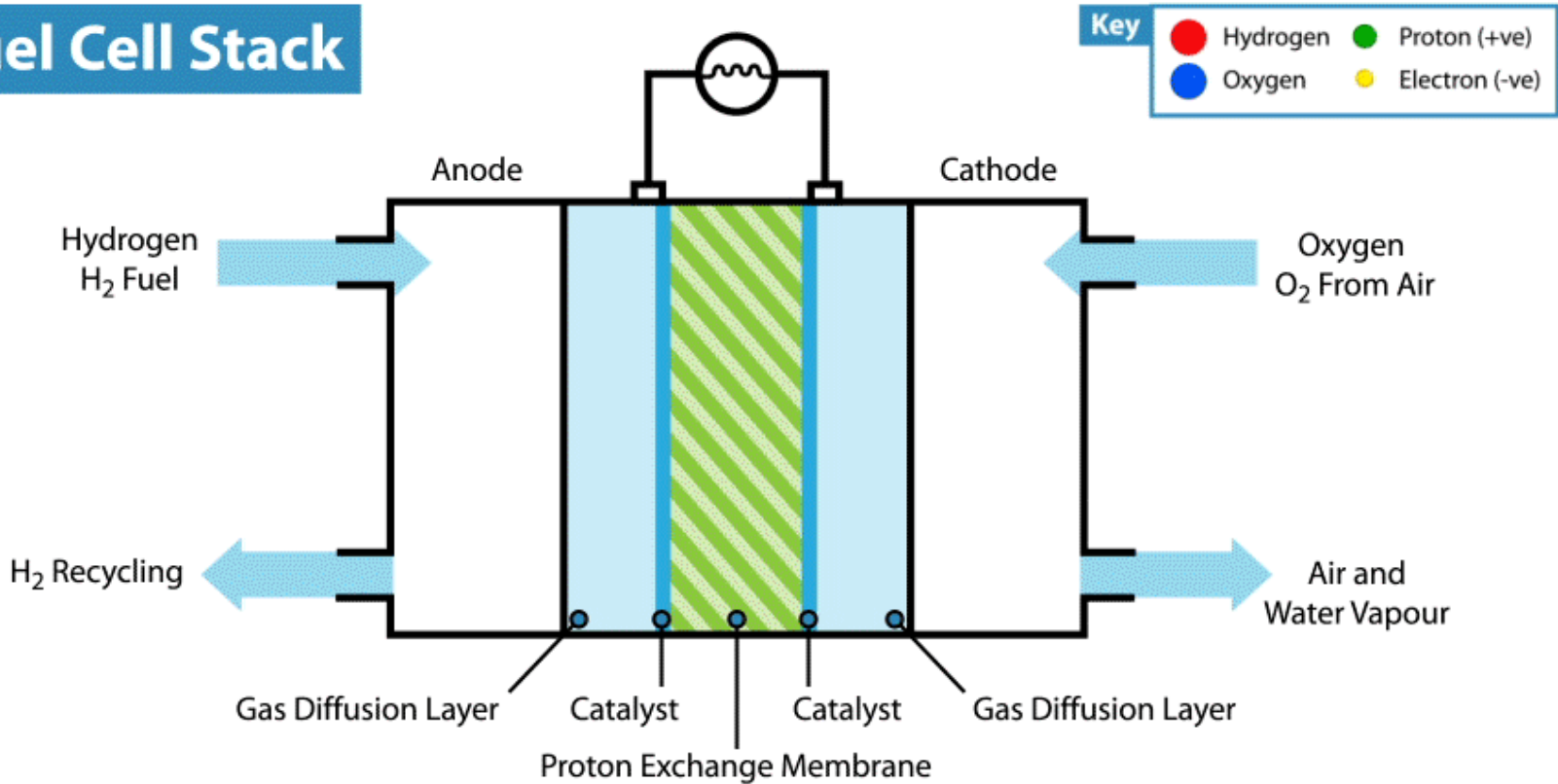
Transporte con hidrógeno





Celdas de combustibles - Funcionamiento

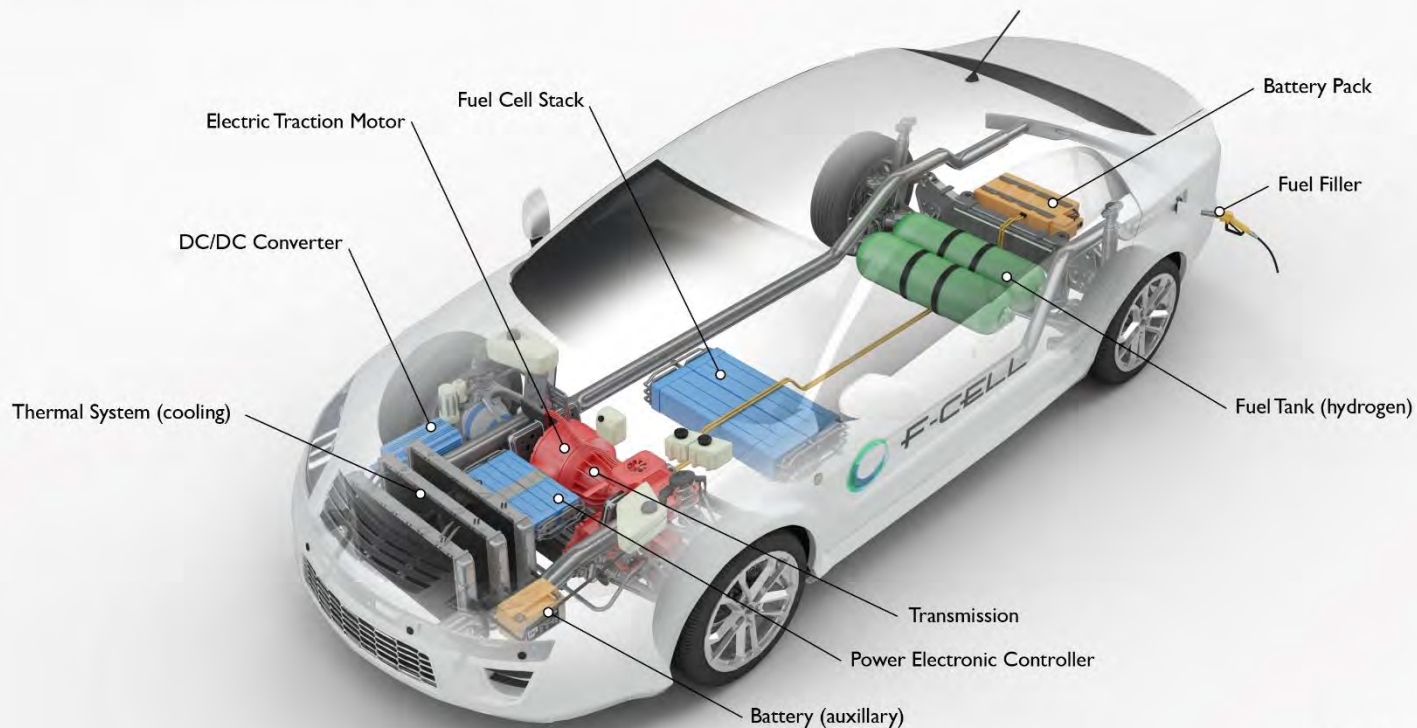
Fuel Cell Stack





Automovil con celdas de combustible (FCEV)

Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle

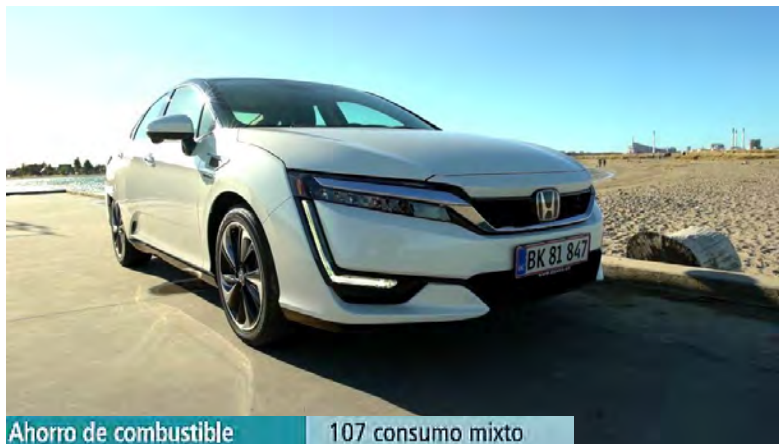




Modelos comerciales (FCEV) – Toyota Mirai / Honda Clarity



Ahorro de combustible (km/kg) ¹³	106 consumo mixto 106 ciudad 106 carretera
Rango (kms)	502
Costo anual de combustible ¹⁴	USD 1,250
Características del vehículo	
Tipo de vehículo	Compacto
Motor	AC inducción (56 kW)
Batería	245 V NiMH



Ahorro de combustible (km/kg) ¹³	107 consumo mixto 108 ciudad 106 carretera
Rango (kms)	589
Costo anual de combustible ¹⁴	USD 1,250
Características del vehículo	
Tipo de vehículo	Sedan
Motor	AC Sincrónico de imanes permanentes (130 kW)
Batería	346 V Lithium Ion



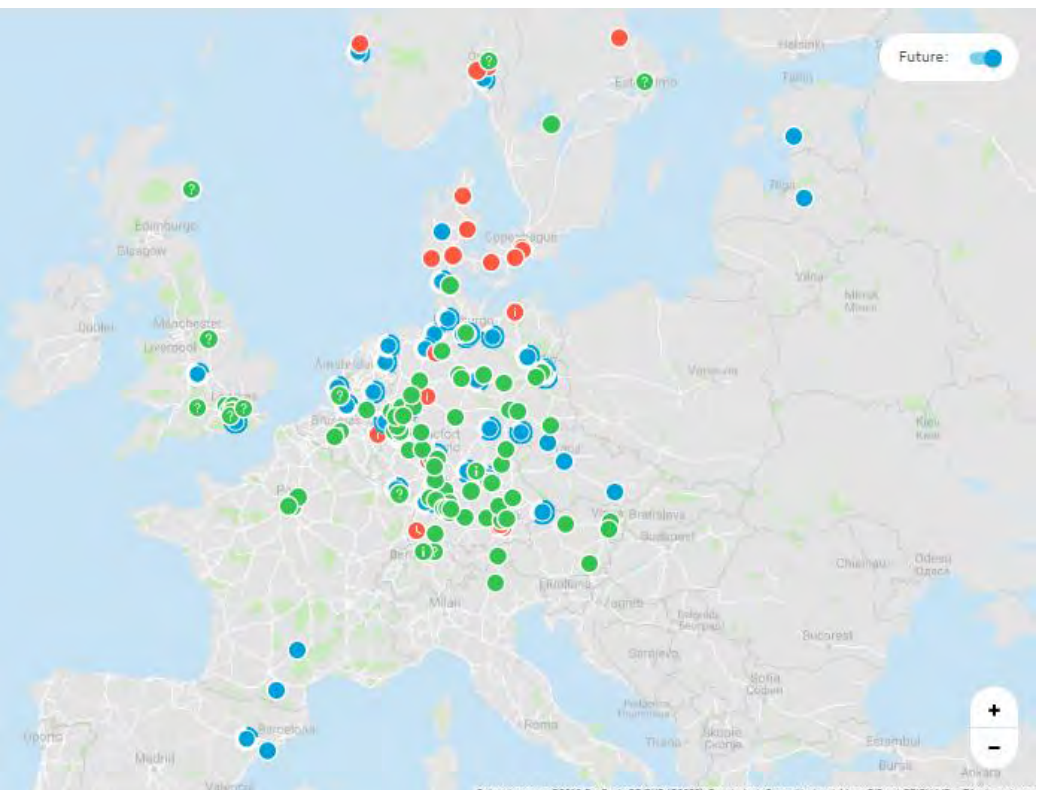
Modelos comerciales (FCEV) – Hyundai Nexo

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Ahorro de combustible (km/kg) ¹³	97 consumo mixto 103 ciudad 90 carretera
Rango (kms)	612
Costo anual de combustible ¹⁴	USD 1,400
Características del vehículo	
Tipo de vehículo	Small SUV - 2WD
Motor	AC inducción (95 kW)
Batería	240 V Lithium Ion

Estaciones de carga - Hidrogeneras



2.580 act / 40k al
2020 / 200k al 2025
/ 800k al 2030

100 act / 160 al
2020 / 320 al 2025 /
900 al 2030



487 act / 10%
parque al 2035

70 act / 400 al 2025
/ 1.000 al 2030



5.899 act / 13.400 al
2020 / 37.400 al
2023 / **1 MM al 2030**

63 act / 94 al 2023 /
200 al 2025 / 1.000
al 2030



1.791 act / 5k al
2020 / 50k al 2025 /
1 MM al 2030

20 act / 100 al 2020
/ 300al 2025 / 1.000
al 2030



900 act / 97k al
2022 y **6 MM al**
2040

14 act / 310 al 2022
y 1.200 al 2040



324 act / 5k al 2023
/ 20k y 50k al 2028

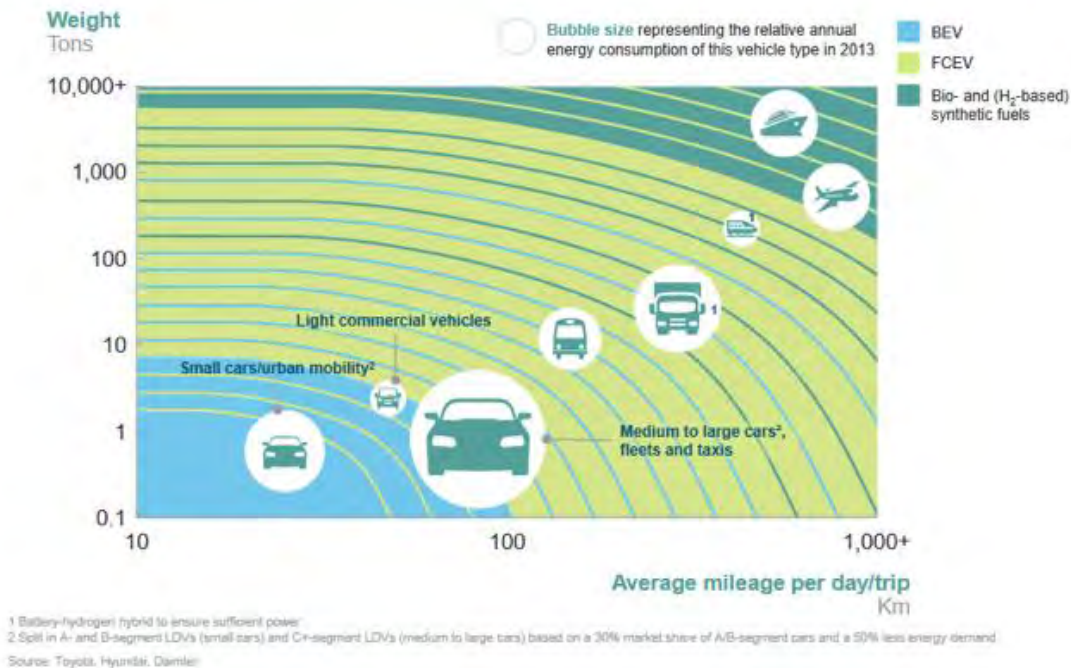
23 act / 100 al 2023
/ 400-1.000 al 2028



Tecnología para transporte – ¿100% Batería o Fuel Cell?

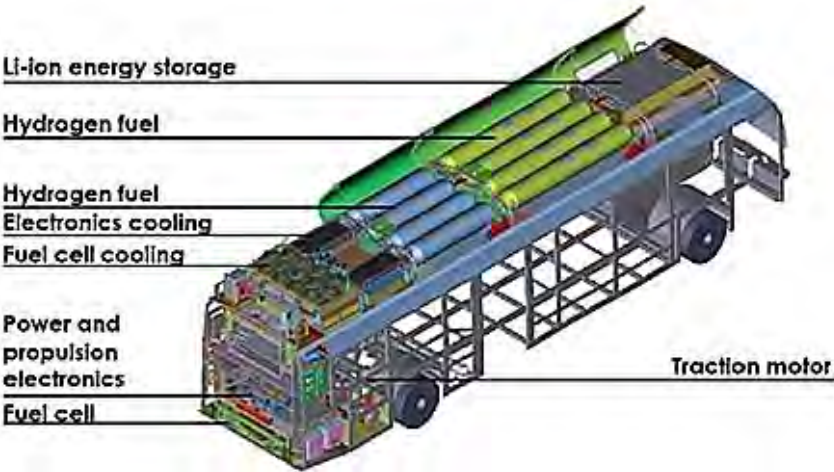
Figure 5: FCEVs will play an essential role in decarbonizing transport
Projected economic attractiveness

La respuesta no es trivial, pero la tendencia apunta a el uso de hidrógeno mediante Fuel Cells para mayores autonomías y pesos del transporte





Buses con celdas de combustible (FCEV)



18 act / 100 al 2020
/ 1.200 al 2030



35 act / 2.000 al
2022



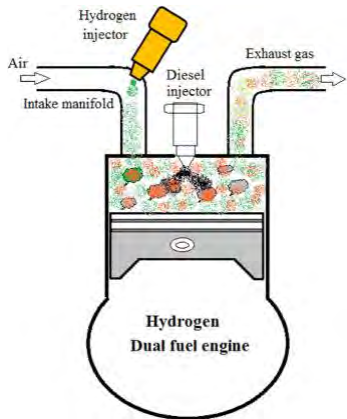
Camiones con celdas de combustible (FCEV)

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH





Camiones combustión Dual Hidrógeno Diesel



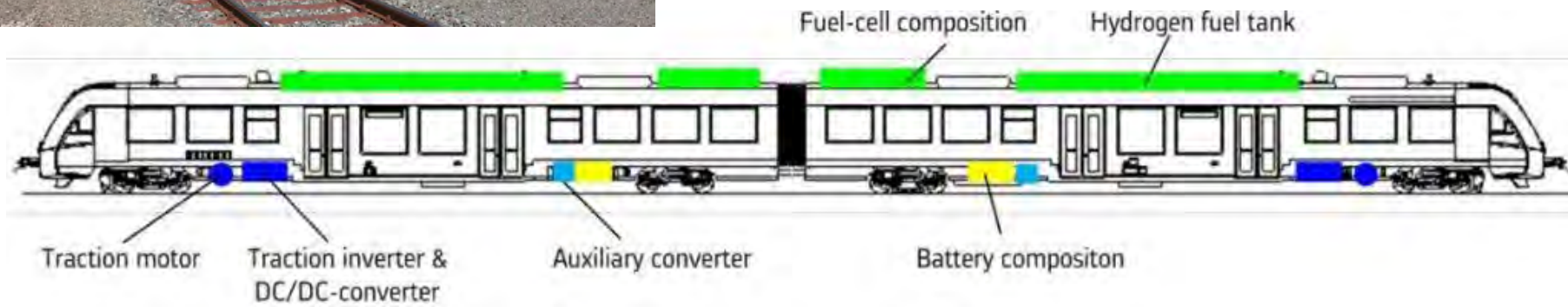
Mercedes-Benz de 26 toneladas
con carrocería Heil PowerLink y
levantacontenedores Terberg



Barredora municipal en Aberdeen, Escocia.



Trenes con celda de combustible





Trenes con celda de combustible



- 390 kW underframe-mounted traction motor
- Maximum speed of 140 km/hr, weighs 107 tonnes
- Hybrid unit, each coach has a 200 kW fuel cell that charges a 225 kW battery to give a peak power output of 425 kW per coach – peak 7.9 kW / tonne power to weight ratio
- On routes with frequent stops, energy savings from regenerative braking of around 30%
- Roof tanks on each coach hold 89 kg Hydrogen at 350 bar giving a range of between 600 and 800 km. Refuelled in 15 minutes.





Trenes con celda de combustible – siguientes países

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

United Kingdom



Francia



Alemania - Zillertalbahn



Siemens Train





Drones – Mayor autonomía



Un consorcio de empresas del Reino Unido ha volado con éxito un avión multirrotor con una célula de combustible de hidrógeno durante 70 minutos.





Barcos – Mayor sustentabilidad y disminución de impactos





INCREASED PRODUCTIVITY

Battery-powered lift trucks lose approximately 14% of their speed over the last half of the battery charge. GenDrive fuel cells maintain constant power at all times, keeping the vehicle running at full speed throughout the entire shift.



LOWER OPERATIONAL COSTS

The GenDrive fuel cell solution eliminates the need to change, charge and manage batteries. The units run longer than lead-acid batteries and can be fueled in as little as two minutes, substantially reducing vehicle and personnel downtime. Labor normally used to charge batteries can be tasked with other important business objectives. Fueling the GenDrive is as simple as fueling a car.



ZERO EMISSIONS

Safe. Clean. Efficient. The GenDrive fuel cell solution produces no harmful emissions and eliminates the costs associated with handling and storing toxic materials.



MORE COMMERCIAL SPACE

Compact hydrogen fueling stations replace large battery charging rooms, freeing up valuable warehouse space for other purposes. Since battery rooms are no longer needed, approximately 7% of the distribution center is recovered to set up inventory and revenue-generating operations.



TRANSPARENT TRANSITION

GenDrive fuel cell units fit seamlessly into the space occupied by batteries on all lift trucks, making them a simple and cost-effective solution for professionals to adopt.

Generación Eléctrica





Proyecto Gas Power Free Carbon - Nuon's Magnum en Groningen

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Mitsubishi Hitachi Power Systems (MHPS) fabrica la turbina de gas del ciclo combinado (CCGT) de Nuon / Vattenfall Magnum y esta realizando la factibilidad técnica de la combustión de H₂.

El proyecto Gas-Free Gas Power pretende convertir una de las tres centrales eléctricas de CCGT de 440MW a hidrógeno para 2023.

Por su parte la empresa Statoil se centrará en la producción de hidrógeno con gas natural y Gasunie está investigando cómo transportar y almacenar el hidrógeno en la central de Magnum.



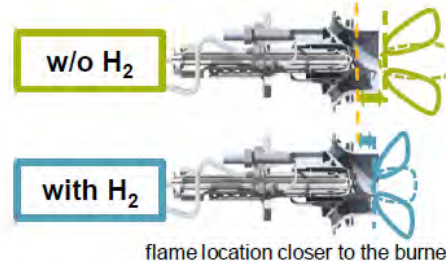
Física de la combustión de hidrógeno en una turbina a gas comparado con gas natural

Mayor temperatura / velocidad de la llama

Índice de Wobbe inferior (40.6 vs. 48.5 MJ / Nm³) > volúmenes mayores para el mismo contenido de energía

Comportamiento diferente de la mezcla de hidrógeno/aire en comparación con el gas/aire

Llama inestable para cargas muy bajas



FUENTE: SIEMENS

Efectos resultantes a gestionar

Incremento del NO_x para alto contenido de H₂

Riesgo de flashbacks para alto contenido de H₂

Flujos de combustible mayores a ser manejados en el sistema de combustible

Cambio de características de riesgo de explosión

Requisito de usar un combustible estándar para el arranque y el apagado (para 100% H₂)

Turbinas a gas con H2



Siemens Hydrogen Gas Turbines for our sustainable future – The mission is to burn 100% hydrogen

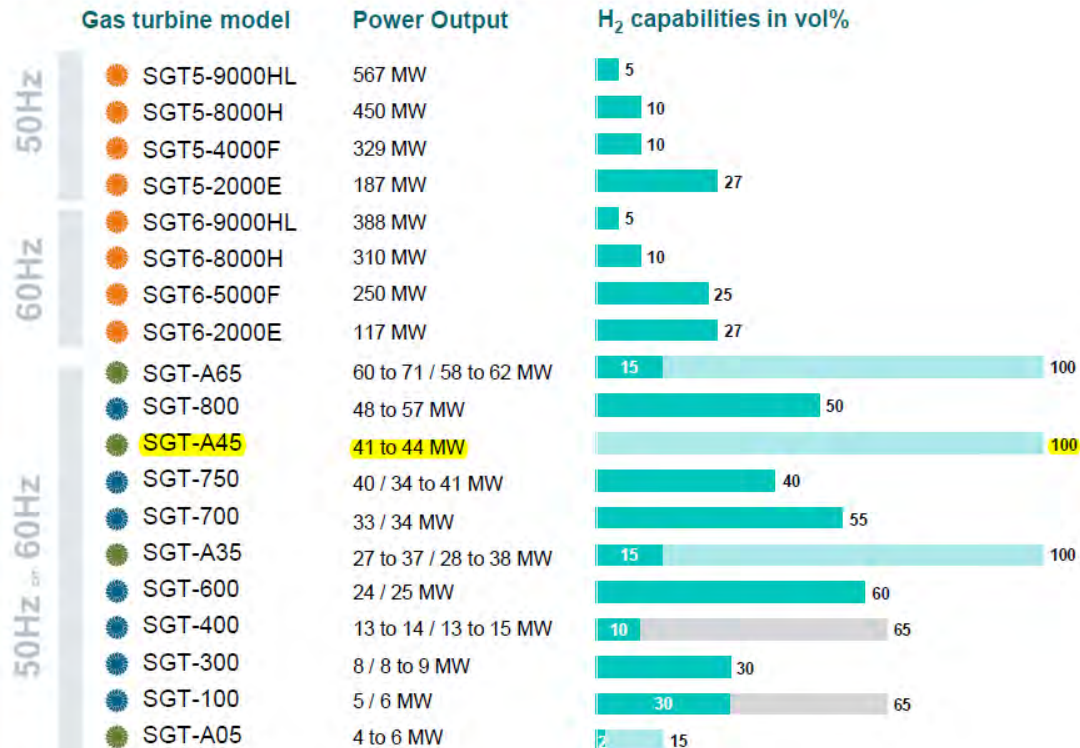
Heavy-duty
gas turbines



Industrial
gas turbines



Aeroderivative
gas turbines

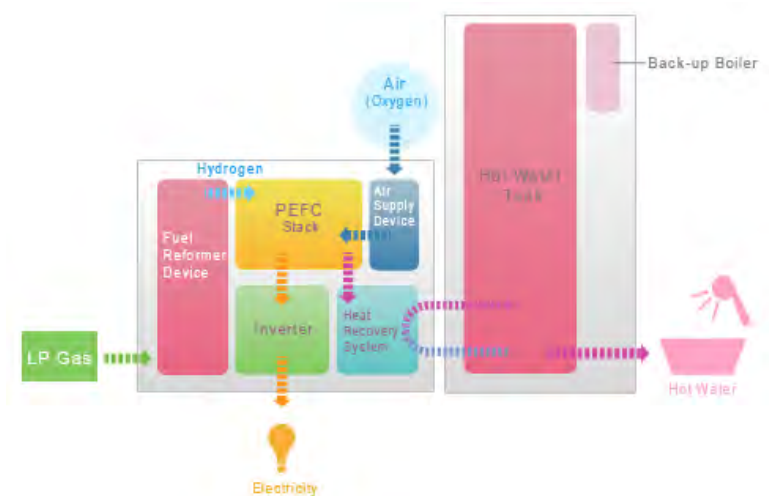


DLE burner
WLE burner
Diffusion burner with unabated NOx emissions

Co generación domiciliaria con Fuel Cell



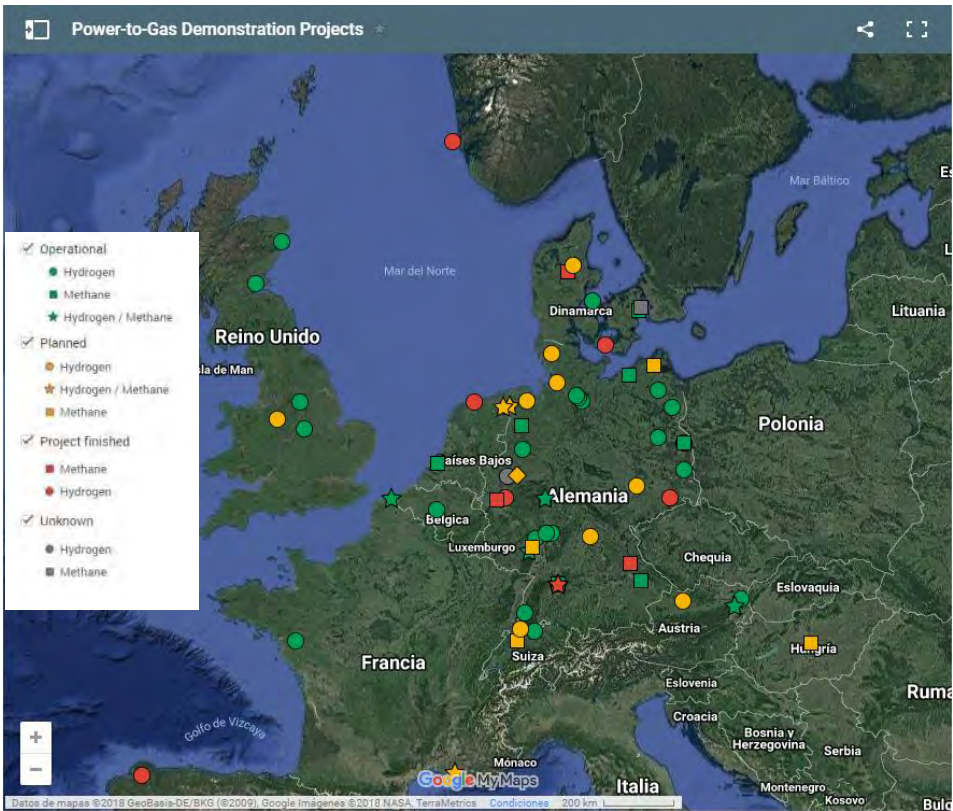
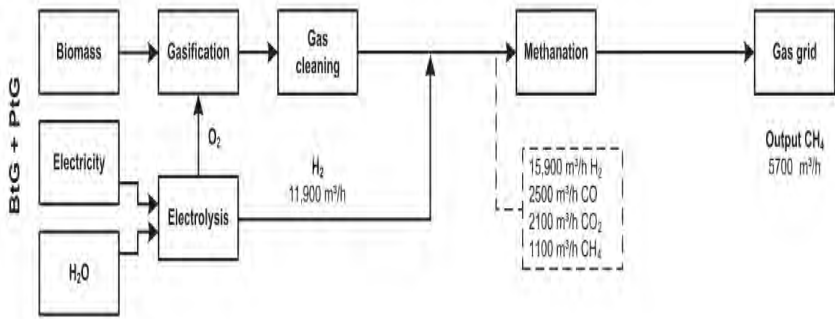
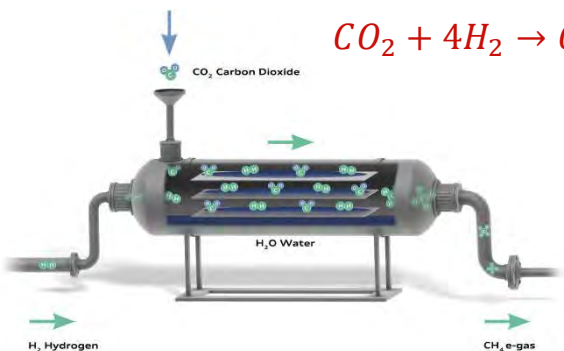
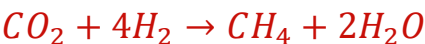
Tokyo Gas Co. ha anunciado que a partir del 20 de diciembre de 2018 ha vendido 110,000 unidades del sistema de celdas de combustible de uso residencial ENE-FARM





Conversión de Hidrógeno: Power to Gas - Methanation

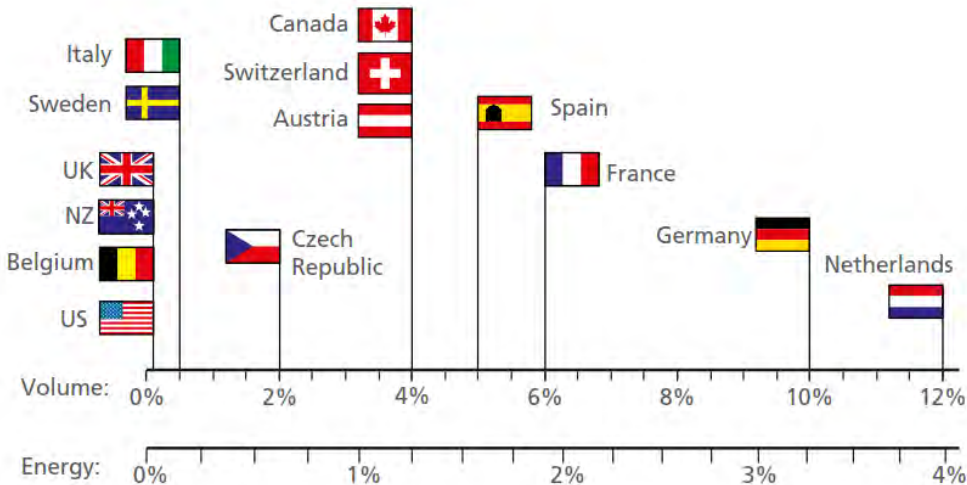
La reacción de Sabatier





Conversión de Hidrógeno: Power to Gas - Methanation

WindGas Falkenhagen



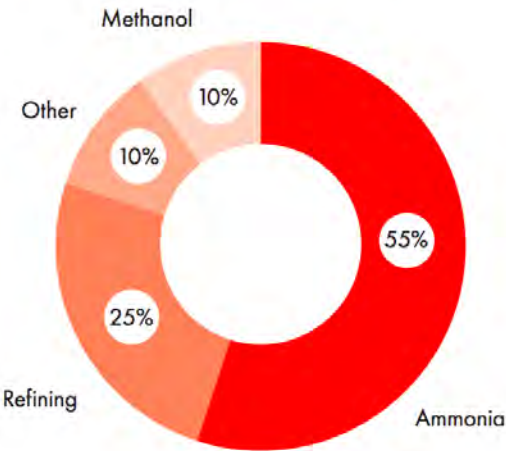
Industria Química



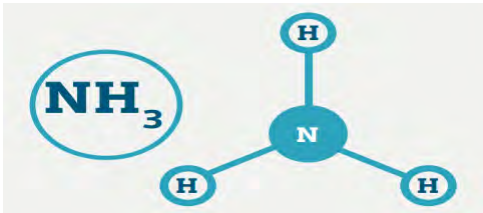


Producción de amoniaco

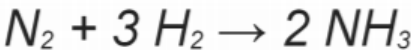
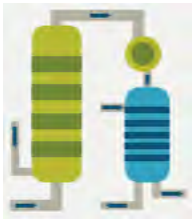
19 GLOBAL USAGE OF HYDROGEN



Zakkour/Cook 2010; own diagram



Proceso
Haber-Bosch



180 Millones
de toneladas



Materia prima
fertilizantes &
otras industrias



Combustible

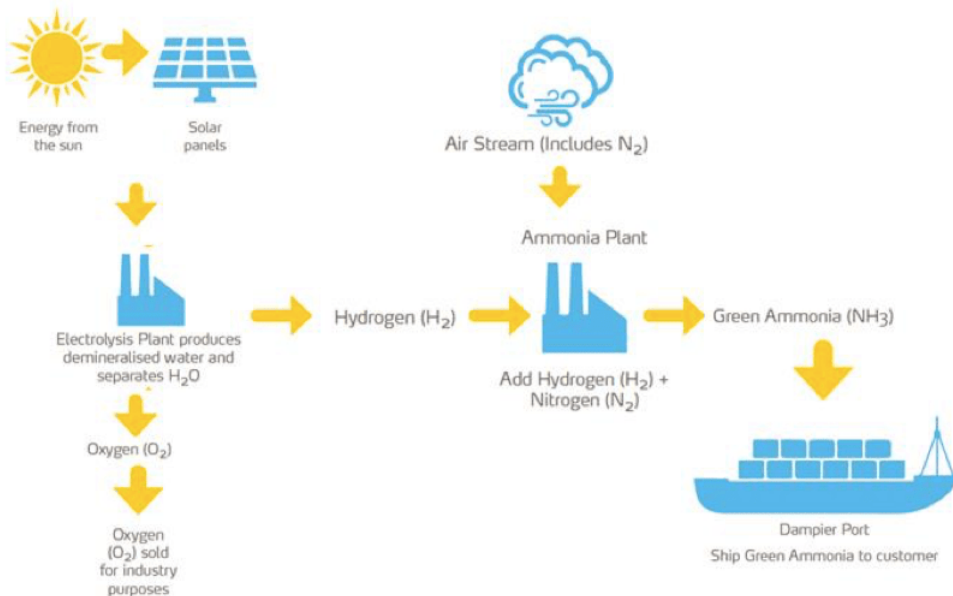


Carrier de H_2





Yara Pilbara's Renewable Ammonia Project



- Currently in feasibility study for project to deliver 80 tpd of 'green' ammonia
- Integrate green hydrogen into existing facility
- > 100MW, so over 200ha solar array required
- First step in developing a "green" ammonia market

Combustible sintético - Audi



Audi e-diesel plant Laufenburg

11/17

1. Renewable electricity

Renewable energy obtained from hydropower.



2. Electrolysis

Electrolysis splits water into hydrogen and oxygen. Oxygen dissipates into the surrounding air.

O₂

H₂

CO₂
CO₂ from sustainable sources or from the air.

3. Conversion

A two-step process turns CO₂ and hydrogen into hydrocarbon chains.



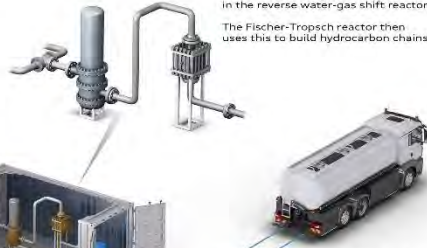
Heat for use in residential areas or in industry.

Renewable waxes for cosmetics, foodstuffs and chemical industries

Chemical synthesis

In the first step, hydrogen and CO₂ are converted to synthesis gas in the reverse water-gas shift reactor;

The Fischer-Tropsch reactor then uses this to build hydrocarbon chains.

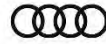


Infrastructure compatibility

e-diesel is compatible with existing infrastructure and engine technologies. It replaces fossil fuel.



Almost CO₂-neutral e-diesel for mobility



AUDI y Global Bioenergies S.A. en Leuna (Sajonia-Anhalt), han desarrollado gasolina dintetica que no depende del petróleo crudo, es compatible con la infraestructura existente y ofrece la posibilidad de un ciclo cerrado de carbono

El Audi "e-benzin" es esencialmente un isooctano líquido.

Actualmente se produce a partir de biomasa en un proceso de dos pasos. En el primer paso, se produce isobuteno gaseoso (C₄H₈) y en el segundo paso, se hidrógeno adicional para transformarlo en isooctano (C₈H₁₈). El combustible está libre de azufre y benceno y, por lo tanto, es especialmente bajo en contaminantes cuando se quema.

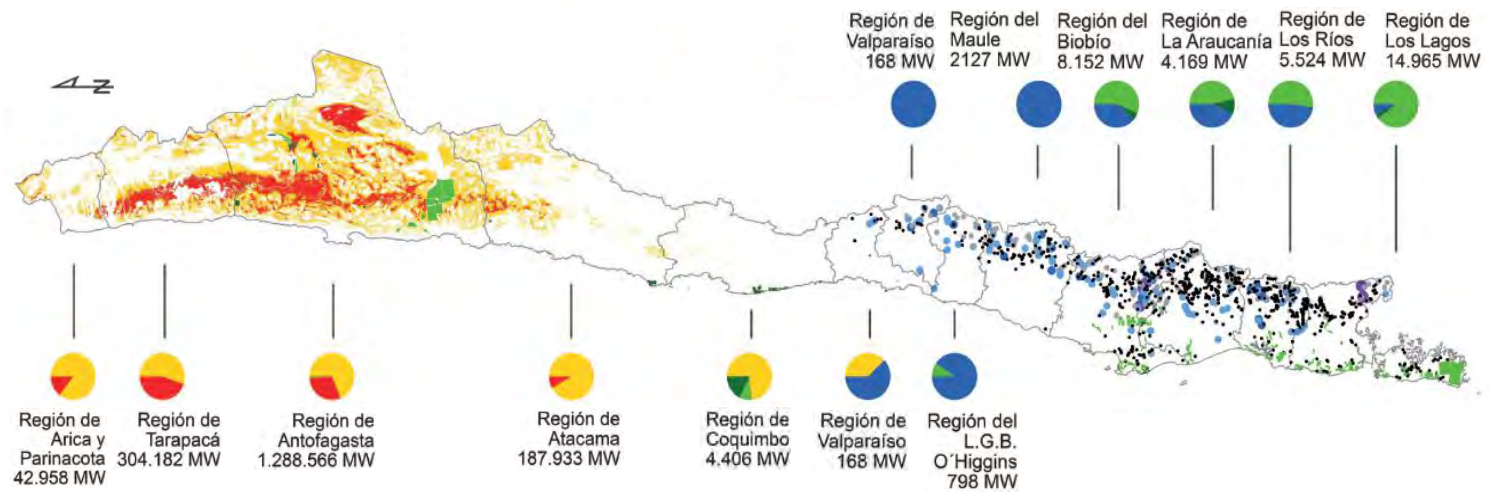


Potencial de Chile

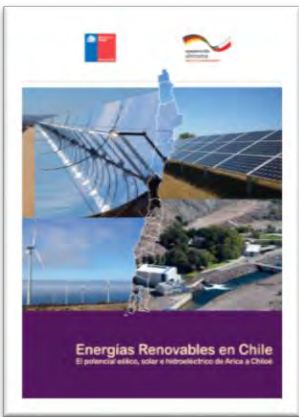




Potencial renovable > 1.865 GW (solar, eólico e hidro)



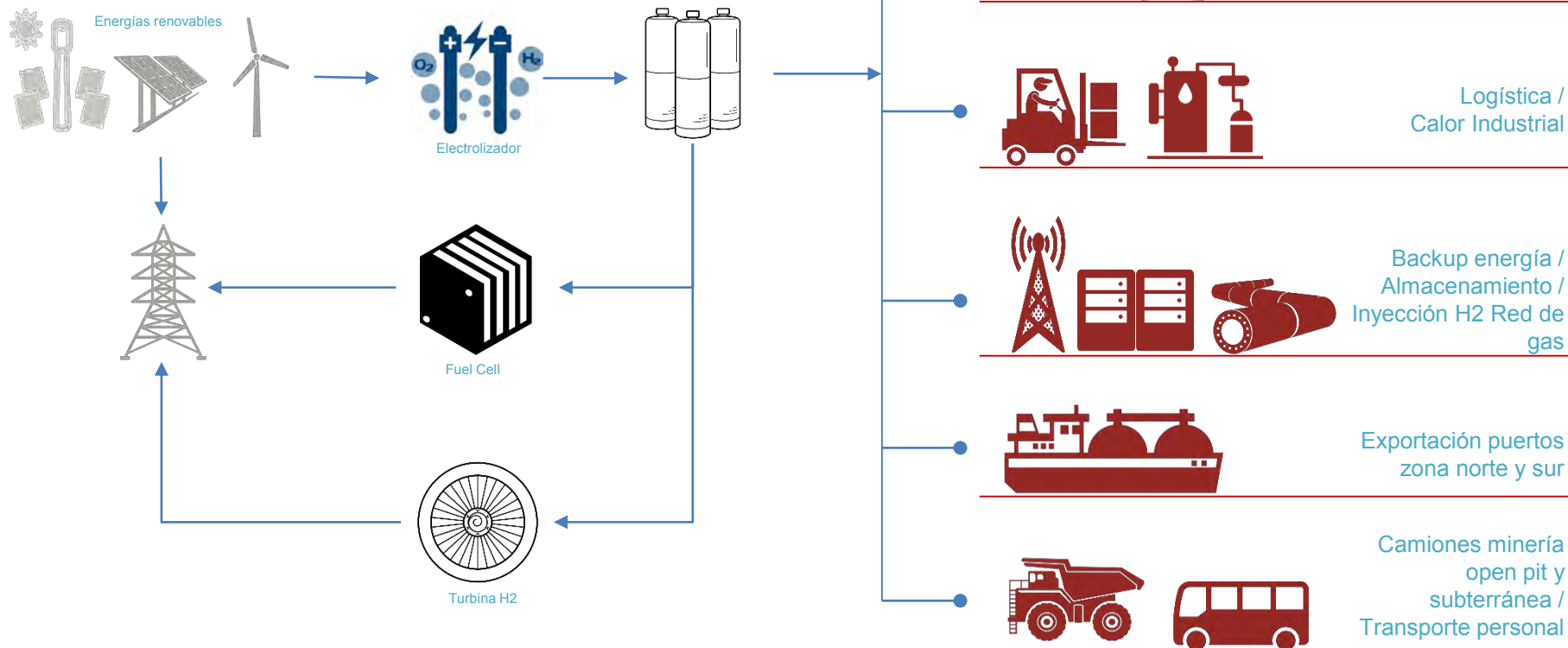
Proporción por región



Última licitación de energía para distribuidoras de Noviembre 2017, precios FV menores a **30 USD/MWh**



Potenciales usos del hidrógeno en Chile

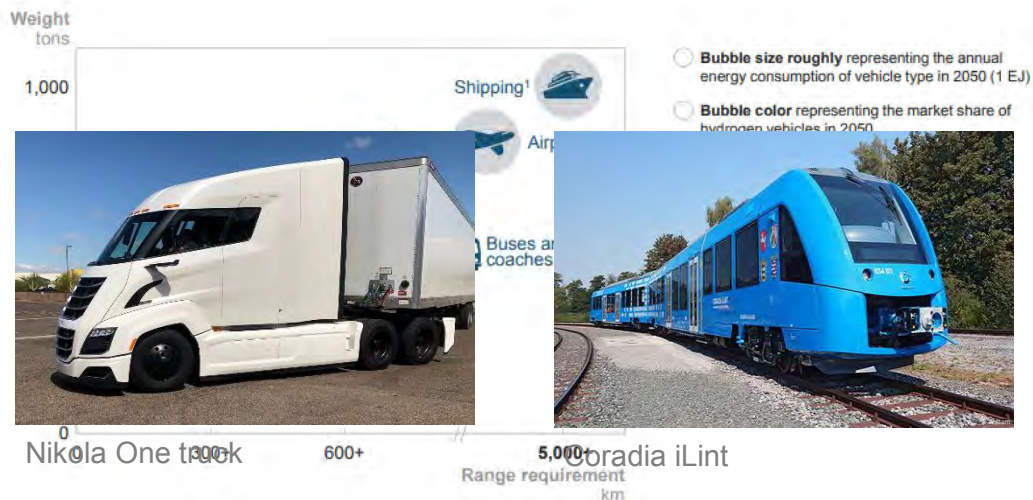




Drivers del hidrógeno - Minería

Para el transporte de largas distancias y transporte pesado, el hidrógeno se ha presentado como la solución futura frente a la electromovilidad

El camión minero (>350 toneladas) tiene un consumo que oscila entre 3.000 y 4.000 litros de Diesel diario. El potencial de ahorro con mezclas con hidrogeno es muy grande.



SOURCE: IEA ETP; IHS; A Portfolio of Powertrains for Europe (2010); Thiel (2014); Hydrogen Council

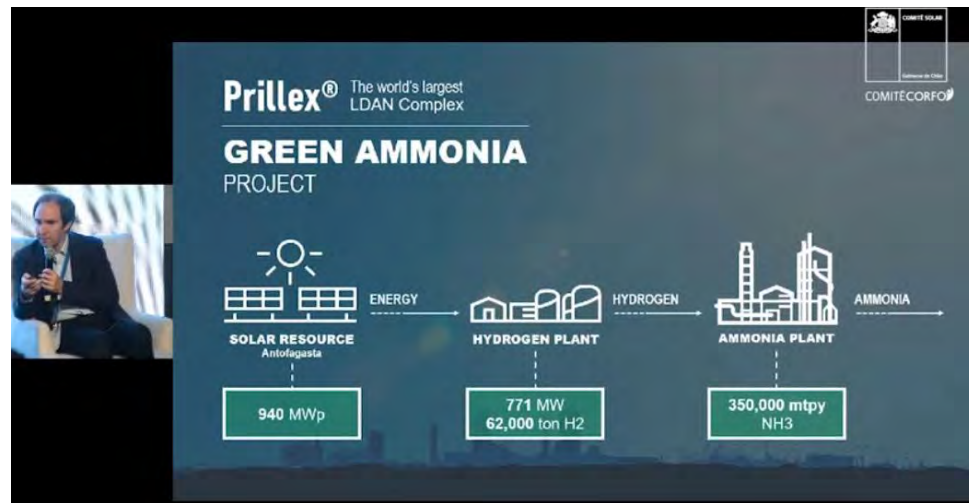




Casi la totalidad del amoniaco que consume Chile, es importado. Enaex es una empresa que provee explosivos para la minería e insumo para fertilizantes

Producción de amoníaco verde

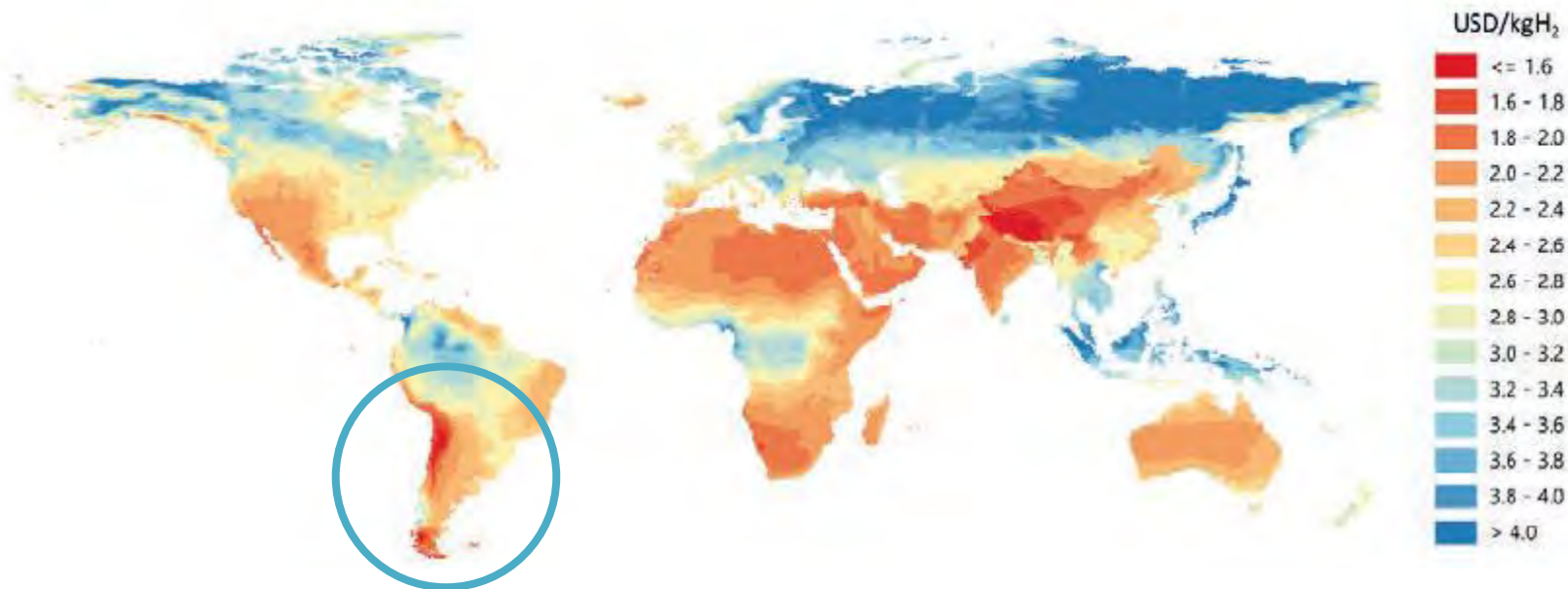
- Producción de Nitrato de Amonio
- Escala GW
- Enaex compra Cachimayo



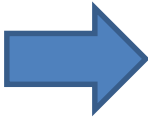
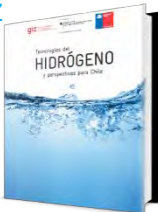
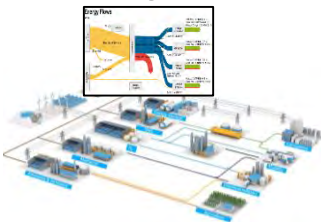
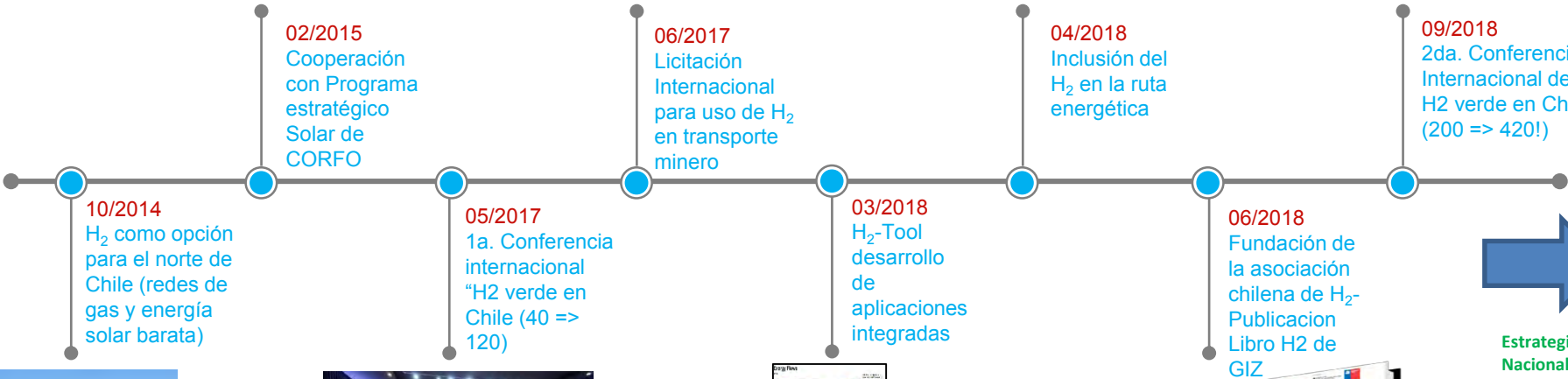


Costos hidrógeno en diferentes zonas del mundo (proyección)

Figure 14. Hydrogen costs from hybrid solar PV and onshore wind systems in the long term



Desarrollo del hidrógeno en Chile



Estrategia
Nacional del
H₂



Brechas de normativa del hidrógeno

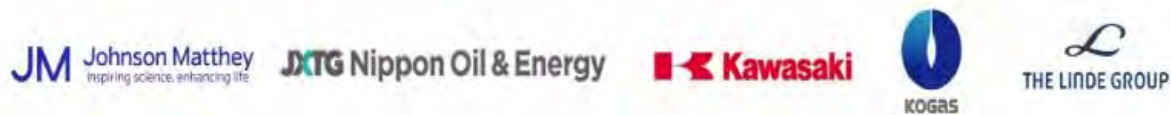
- **NCh1377.Of1990** Gases comprimidos - Cilindros de gas para uso industrial - Marcas para identificación del contenido y de los riesgos inherentes
- **NCh1025.Of1990** Gases comprimidos - Cilindros de gas para uso médico y para esterilización - Marcas de identificación del contenido y de los riesgos inherentes
- **DS N°280**, de 2009, del Ministerio de Economía, Reglamento de Seguridad del Transporte y Distribución de Gas de Red



Normativa	Descripción
ISO 13984:1999	Liquid hydrogen -- Land vehicle fuelling system interface
ISO 13985:2006	Liquid hydrogen -- Land vehicle fuel tanks
ISO 14687:1999. (ISO 14687:1999/Cor 1:2001, ISO 14687:1999/CD Cor 2)	Hydrogen fuel -- Product specification
ISO/PRF TS 14687-2	Hydrogen fuel -- Product specification -- Part 2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles
ISO/PAS 15594:2004	Airport hydrogen fuelling facility operations
ISO/DIS 15869.2	Gaseous hydrogen and hydrogen blends -- Land vehicle fuel tanks
ISO/TR 15916:2004	Basic considerations for the safety of hydrogen systems
ISO 16110-1:2007	Hydrogen generators using fuel processing technologies -- Part 1: Safety
ISO/CD 16110-2	Hydrogen generators using fuel processing technologies -- Part 2: Procedures to determine efficiency
ISO/DIS 16111	Transportable gas storage devices -- Hydrogen absorbed in reversible metal hydride
ISO/TS 16111:2006	Transportable gas storage devices -- Hydrogen absorbed in reversible metal hydride
ISO/CD TS 20012	Gaseous hydrogen -- Service stations
ISO/DIS 22734-1	Hydrogen generators using water electrolysis process -- Part 1: Industrial and commercial applications
ISO/CD 22734-2	Hydrogen generators using water electrolysis process -- Part 2: Residential applications
ISO/CD 26142	Hydrogen detector

LO NUEVO





**Hydrogen
Council**

60 empresas en total, que representan colectivamente más de 2,6 billones de euros en ingresos y 4,2 millones de empleos en todo el mundo.



Technology

Hydrogen Is the Fuel of the Future. For Real This Time, IEA Says

By [Dan Murtaugh](#)

14 de junio de 2019 3:00 GMT-4

Japan, US, EU to cooperate on hydrogen energy

#Biz / Tech #World #US #Japan

Saturday, June 15, 14:50



Bloomberg News June 13, 2019 6:45 PM, EDT

"We should look into establishing a hydrogen society. We need to move further toward fuel cells."

Wan Gang, a vice chairman of China's national advisory body for policymaking





Muchas Gracias!

Programa 4e
Energías Renovables y Eficiencia Energética
en Chile

Contacto:

Rodrigo Vásquez / Asesor Programa 4e

Rodrigo.vasquez@giz.de