



Ministerio
de Industria
Energía y Minería



Proyecto Verne

Producción de Hidrógeno Verde y su uso
en Vehículos Pesados

Agosto 2020



1. Rutas de Salida
2. Punto de Encuentro
3. Alarmas programadas



1. El Hidrógeno en la Transición Energética
2. Panorama Energético de Uruguay
3. Demanda en Uruguay
4. Proyecto Piloto
5. Localización
6. Tecnología
7. Ejemplos de Plantas de Producción y HRS
8. Seguridad y Normativa
9. Para Conocer Más

- 1. El Hidrógeno en la Transición Energética**
2. Panorama Energético de Uruguay
3. Demanda en Uruguay
4. Proyecto Piloto
5. Localización
6. Tecnología
7. Ejemplos de Plantas de Producción y HRS
8. Seguridad y Normativa
9. Para Conocer Más

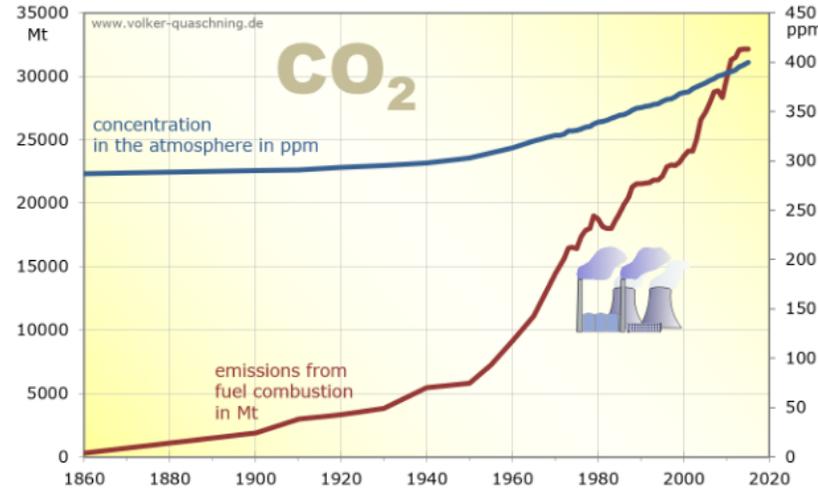


El Hidrógeno en la Transición Energética

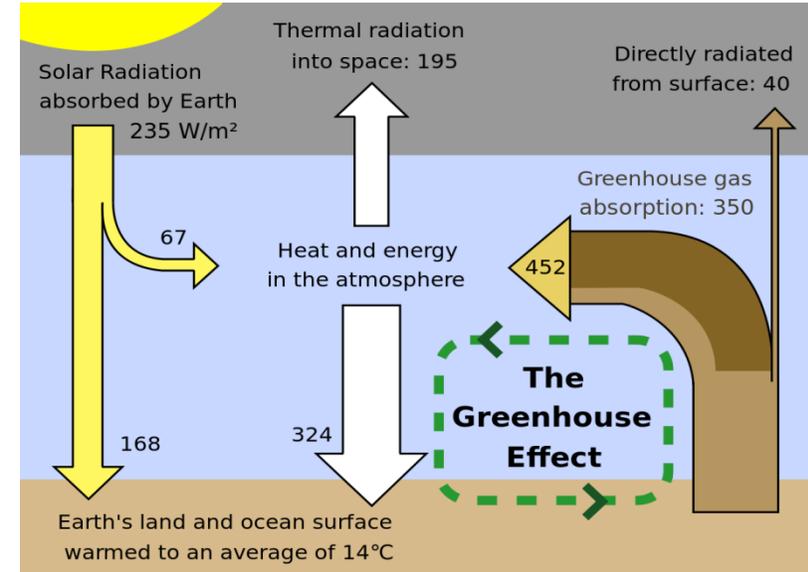


Efecto invernadero y cambio climático

Development of global CO₂ emissions from fuel combustion and CO₂ concentration in the atmosphere

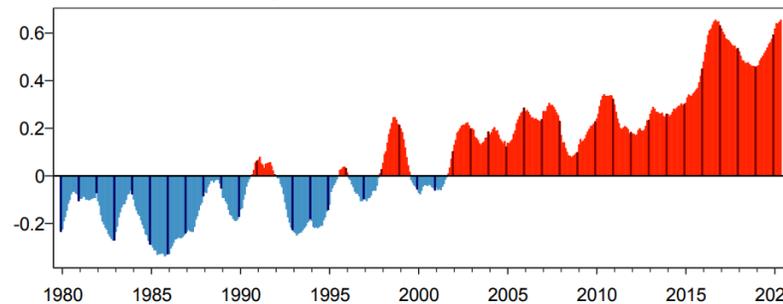


https://www.volker-quaschnig.de/datserv/CO2/index_e.php

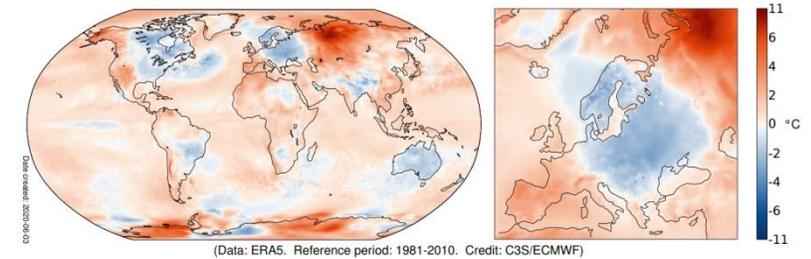


- Calentamiento
- Eventos extremos
- Aumento nivel y acidificación océanos
- Pérdida biodiversidad
- Afecta los más vulnerables

Twelve-month global surface air temperature anomalies

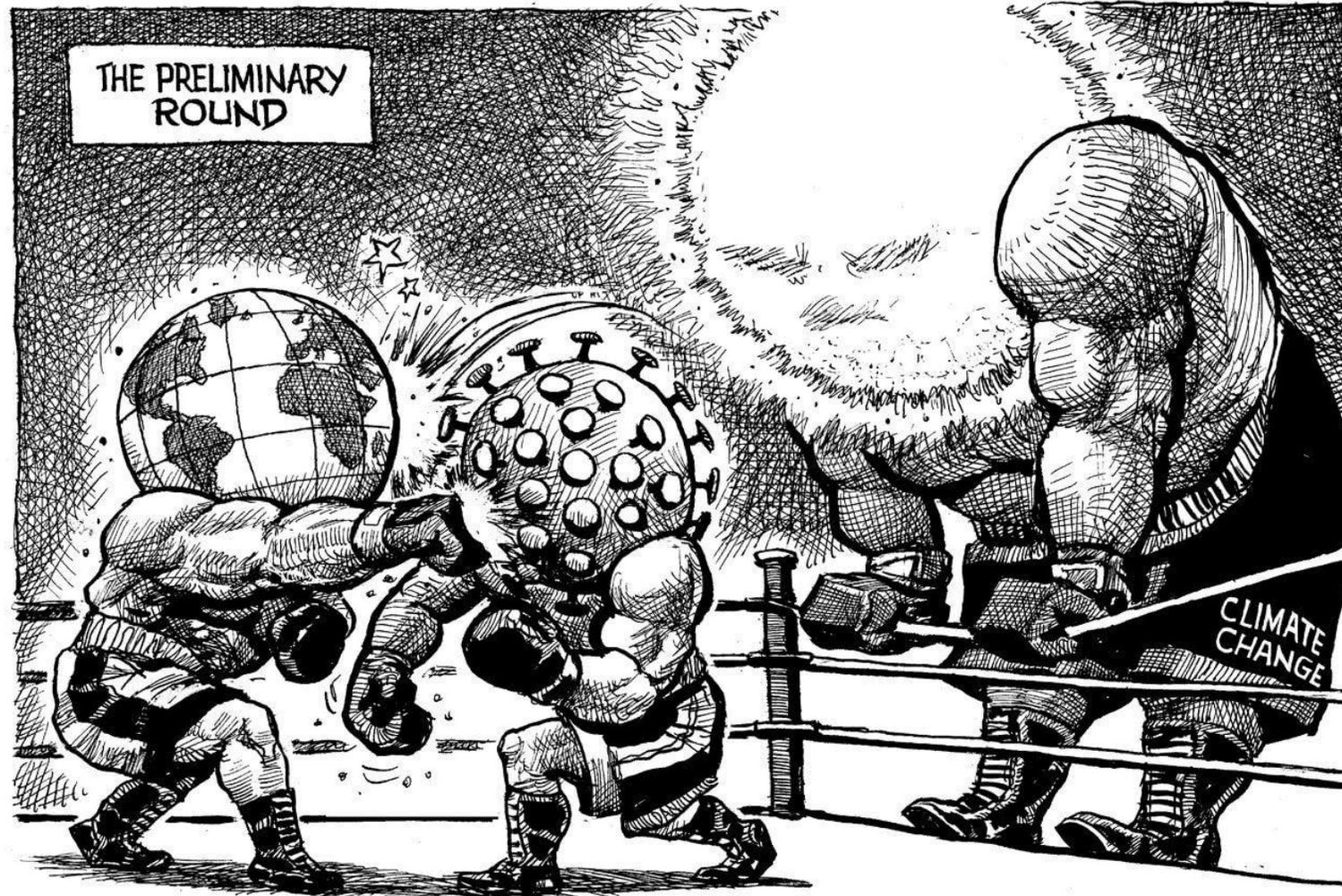


Surface air temperature anomaly for May 2020



<https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-may-2020>

El round preliminar ...

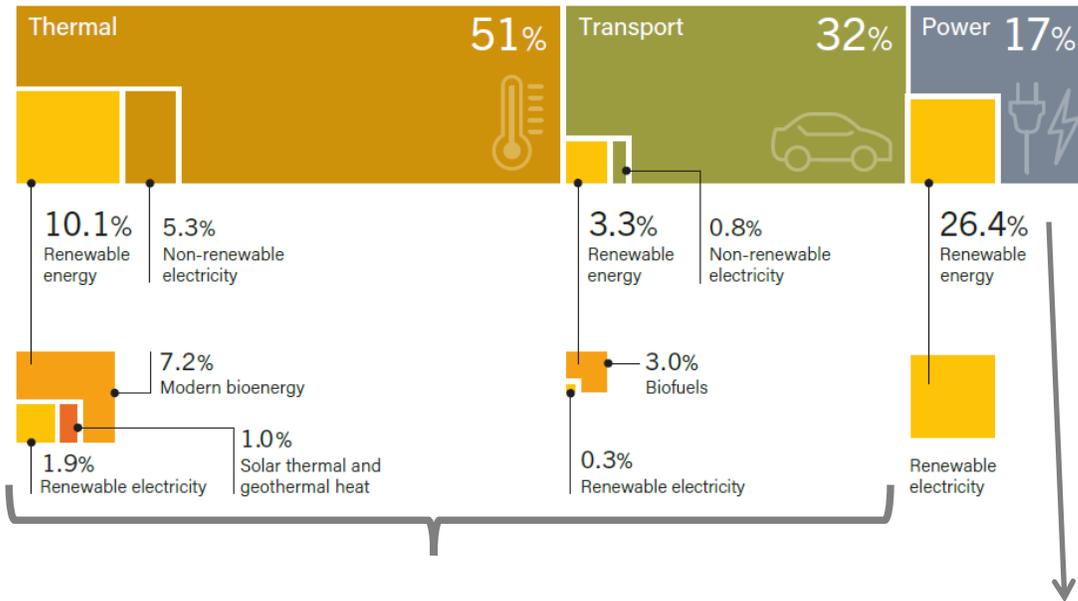


Energía no es sólo electricidad ...

Consumo final por sector

REN 21 - Global Status Report 2020

FIGURE 3. Renewable Share of Total Final Energy Consumption, by Final Energy Use, 2017



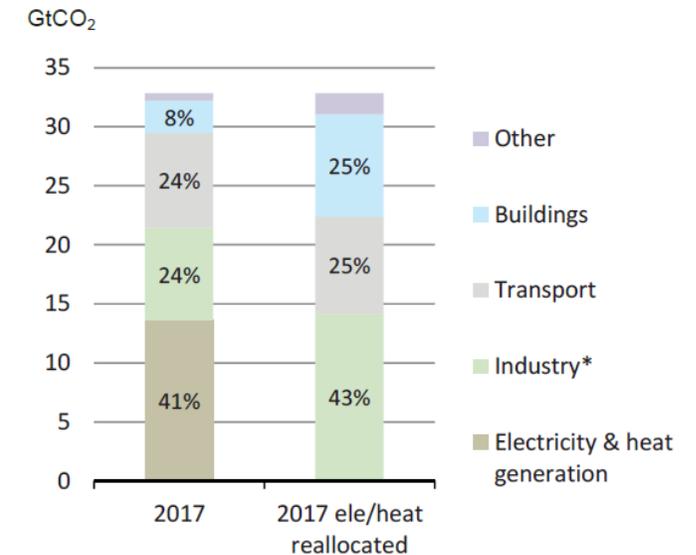
Participación renovables por uso

- Generación eléctrica 4,5%
- Transporte 1,1 %
- Calor 5,2 %
- **Total 10,8%**

Emisiones de CO2 de la combustión fósiles

IEA - CO2 emissions from fuel combustion 2019

Figure 6. Global CO₂ emissions by sector, 2017



- Electricidad 41 %
- Transporte 25% (marítimo 2,5% aéreo 2,5%)
- Industria 24%
- Cemento 8% (si fuera un país, sería el tercer emisor de CO₂)
- Hierro y acero 4 ~ 7%

Sectores de difícil abatimiento

- Uso masivo de energía molecular de alta densidad energética (ej. UK 2018: gas 880 TWh, electricidad 300 TWh; transporte utiliza el 60% del petróleo)
- Procesos industriales de alta temperatura

Sector de "fácil" abatimiento

- 25600 TWh en 2017, se multiplicó por 4 en 40 años
- Renovables PV y eólica sustituye electrones por electrones
- **Carbón 39 %, GN 25%**, renovables 26 %, nuclear 10 %
- Desafío: almacenamiento gran capacidad y largo plazo

Para avanzar en la descarbonización ...

Para avanzar en la **descarbonización de los sectores de difícil abatimiento** se necesita, en forma **complementaria a la electricidad renovable**, un vector energético con las siguientes características:

- **Abundante** (condición básica para su economía).
- Cuya **producción pueda ser limpia** (sin emisiones).
- Cuyo **uso sea limpio** (sin emisiones).
- De **características similares a los fósiles** que se utilizan en los sectores de difícil abatimiento (**molecular, alta densidad energética**).
- Que pueda **almacenarse en forma masiva y por largos períodos**.
- Que pueda utilizar, al menos parcialmente, la infraestructura de transporte y distribución existente de gas natural y combustibles líquidos.
- Que pueda producirse a **costo competitivo con los fósiles** que desplaza.

Por qué hidrógeno ?

Why hydrogen? Simply, it can do things electrons cannot. As a molecule, it can be used as a convertible ‘currency’ between renewable energy, chemical feedstock, transport fuel, residential and industrial heat. It is an excellent clean energy store for long periods and large energy needs. It sits alongside and in partnership with electricity as a consummate carbon-free energy vector.

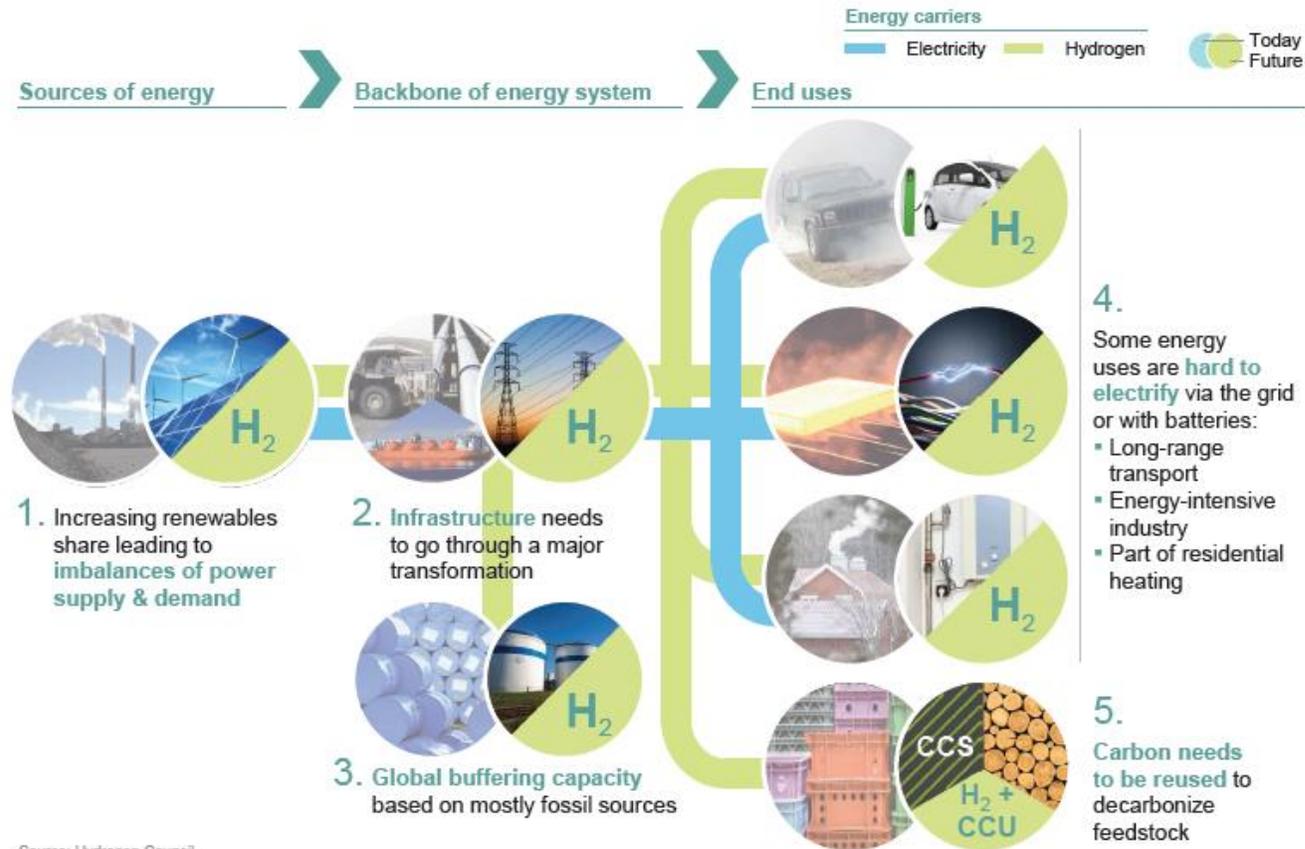


Forbes

<https://www.forbes.com/sites/davidhart/2020/06/08/why-hydrogen-why-now-because-climate-economy-and-finance-say-so/#76f312e7749e>

Electricidad e hidrógeno juntos para la descarbonización

Hydrogen as a zero-emission energy carrier needed to overcome the challenges around the energy transition



Source: Hydrogen Council

Por qué ahora ?

Forbes

EDITORS' PICK | 9,623 views | Jun 8, 2020, 05:00pm EDT

Why Hydrogen, Why Now? Because Climate, Economy And Finance Say So

<https://www.forbes.com/sites/davidhart/2020/06/08/why-hydrogen-why-now-because-climate-economy-and-finance-say-so/#76f312e7749e>

Se han alineado tres condiciones clave

- **Consenso en la necesidad de descarbonización / carbono neutralidad**
- **Costos decrecientes de las tecnologías del hidrógeno y las energías renovables**
 - Costos producción hidrógeno verde bajaron 50% desde 2015, y pueden bajar otro 30% para 2025, por economías de escala y fabricación estandarizada, entre otros.
 - Desarrollo de renovables dedicadas para incrementar el factor de utilización de los electrolizadores
 - Continua baja de los costos de las energías renovables
 - <https://www.businesswire.com/news/home/20200715005085/en/IHS-Markit-Production-Carbon-Free-%E2%80%9CGreen%E2%80%9D-Hydrogen-Cost>
- **Preferencia del mercado de capitales por inversión en energías sostenibles (incluso empresas O&G)**

Por qué hidrógeno ?

- **Abundante:** Está presente en elementos muy abundantes como el agua, cualidad muy valorada por los economistas de la energía
- **Se puede producir de varias fuentes:** A partir de agua y energía eléctrica renovable (hidrógeno verde) - A partir de fósiles con captura de carbono (hidrógeno azul) - A partir de fósiles sin captura de carbono (hidrógeno gris)
- **Hidrógeno verde, limpio en su producción:** El proceso de producción a partir de agua y energía eléctrica de fuente renovable es limpio, no tiene emisiones de CO₂.
- **Limpio en su uso:** Su uso (generación de energía eléctrica en celdas de combustible, combustión directa en gasodomésticos, turbinas, procesos industriales, etc.) es limpio, no tiene emisiones de CO₂, sólo produce agua.
- **Competitivo:** Costos estables y más bajos a mediano plazo que los fósiles que puede reemplazar
- **Alta densidad energética por unidad de peso:** 3 veces mayor que la del diesel y 10 veces mayor que las baterías, muy importante para el transporte pesado
- **Almacenable, transportable, mezclable:** Importante cualidad para sistemas con alta penetración renovables; así como para utilización de infraestructura existente
- **Versátil: Permite descarbonizar sectores de transporte pesado, industriales y residenciales no electrificables directamente (hard-to-abate sectors).** Por esto se lo llama electricidad gaseosa / navaja suiza del sector energético.
- **Seguro:** Incoloro, inodoro, no tóxico, no corrosivo. 14 veces más liviano que el aire. Ampliamente conocido y utilizado nivel mundial desde hace más de 60 años. Se producen 75 millones de toneladas por año.

Por qué hidrógeno ? - Versatilidad

El hidrógeno vincula el mundo de los electrones con el mundo de las moléculas, permitiendo descarbonizar sectores donde la electrificación directa no es una opción (hard –to-abate sectors), mediante los caminos Power to X o PTX

- **Electricidad a movilidad:** Vehículos de alta intensidad de energía y uso (camiones y buses pesados / larga distancia, camiones minería, autoelevadores, maquinaria construcción, reach stackers, trenes pasajeros, barcos).
- **Electricidad a industria:** producción de cemento, producción de acero (reducción del hierro)
- **Electricidad a gas:** sustitución parcial / total de gas natural en redes, almacenamiento de excedentes
- **Electricidad a químicos :** producción de materias primas químicas básicas (amoníaco, metanol, etc.)
- **Electricidad a combustibles sintéticos:** síntesis de combustibles a partir de hidrógeno y CO2 capturado: gas natural, gasolina, diesel, kerosene aviación, etc.
- **Electricidad a electricidad:** almacenamiento eléctrico gran capacidad y duración, re-electrificación con celdas y con turbinas de gas

Por qué ahora ?

Se visualiza importante para un futuro energético de bajo carbono, para:

- Descarbonizar sectores de alto impacto como transporte e industria que son difícilmente electrificables directamente o por baterías (PTX)
- Aportar **capacidad de almacenamiento de gran capacidad y larga duración** para la creciente integración de renovables
- Aportar **capacidad de reserva** para el sistema energético global (15% consumo anual)
- Viabilizar **acoplamiento regional**: transporte de energía renovable de países/regiones con alto potencial/baja demanda a países/regiones de bajo potencial/alta demanda

Se visualizan trayectorias económicas y de política energética favorables

- Existen los insumos y las tecnologías necesarias, en trayectoria al costo necesario
- Tendencia a **baja de costo de producción por aumento de escala electrolizadores y baja costo de electricidad renovable**
- Tendencia a **baja de costo de componentes y sistemas** por producción a escala (celdas de combustible, compresores, tanques, dispensadores, etc.). Analogía: trayectorias de solar y la eólica.

Impulsores e indicadores del momento del hidrógeno

Exhibit 1 | Drivers and indicators of hydrogen's momentum

Drivers of renewed interest in hydrogen



Stronger push to limit carbon emissions

10

Years remaining in the global carbon budget to achieve the 1.5°C goal

66

Countries that have announced net-zero emissions as a target by 2050



Falling costs of renewables and hydrogen technologies

80%

Decrease in global average renewable energy prices since 2010

55x

Growth in electrolysis capacity by 2025 vs. 2015

Indicators of hydrogen's growing momentum



Strategic push in national roadmaps

70%

Share of global GDP linked to hydrogen country roadmaps to date¹

10 m

2030 target deployment of FCEVs announced at the Energy Ministerial in Japan



Industry alliances and momentum growing

60

Members of the Hydrogen Council today, up from 13 members in 2017

30+

Major investments announced² globally since 2017, in new segments, e.g. heavy duty and rail

1. Based on 18 country roadmaps announced as of publication
 2. Not exhaustive

Impulsores e indicadores del momento del hidrógeno

A nivel mundial, se observa un **acelerado desarrollo de las baterías y el hidrógeno**, destacándose el **liderazgo a nivel del sector privado y de generación de políticas públicas** de la **Unión Europea** (Alemania, Francia, Reino Unido, Dinamarca, etc.), **Asia** (China, Japón, Corea, etc.) y **Estados Unidos** (California); acompañado de un fuerte impulso económico y de creación de empleo de calidad.

En América Latina se destacan en sus avances **Chile, Costa Rica y Uruguay**.

Hydrogen Council

<http://hydrogencouncil.com/>

IEA Hydrogen

<https://www.iea.org/topics/hydrogen/>

FCH JU - Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking

<https://www.fch.europa.eu/>

International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy

<https://www.iphe.net/>

Clean Energy Ministerial

<http://www.cleanenergyministerial.org/>

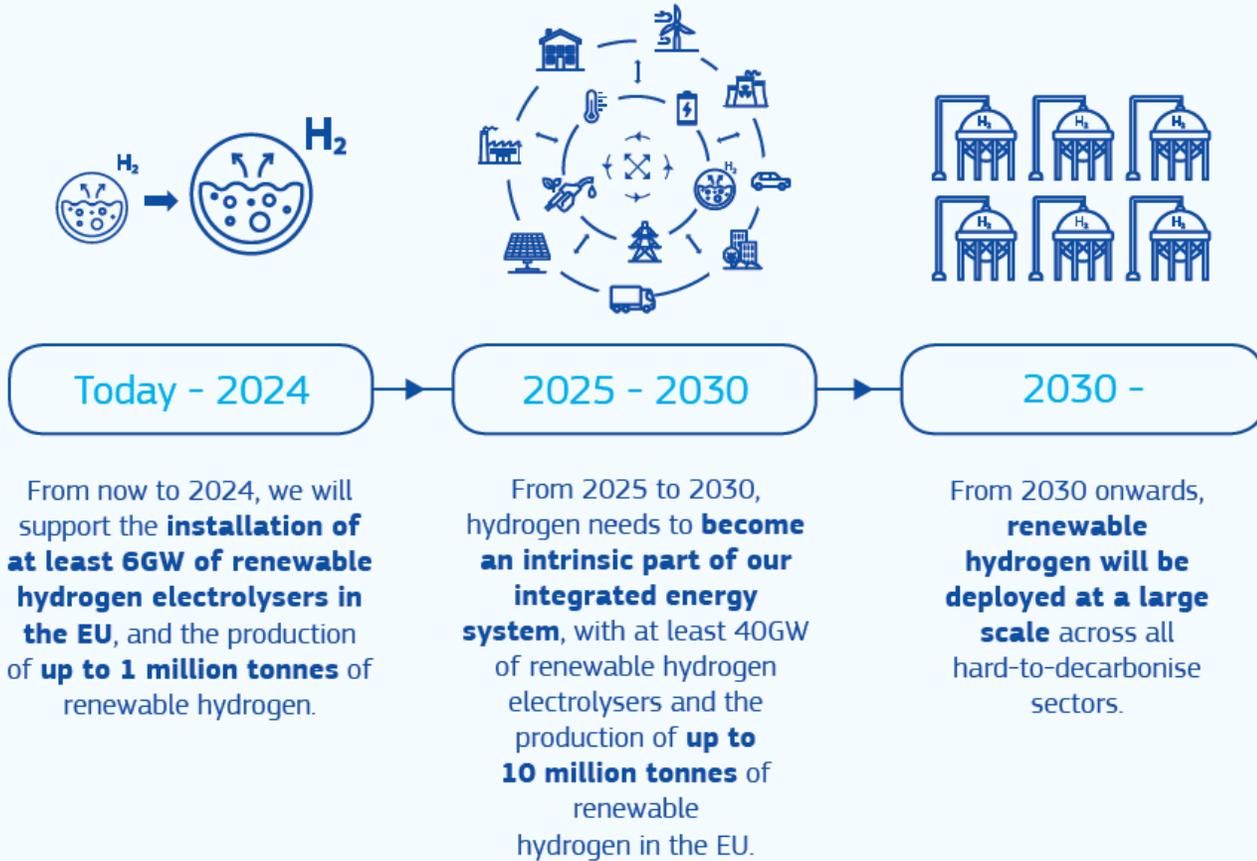


- Iniciativa global
- Nivel CEO
- Empresas de energía, transporte, industria, bancos
- Visión unificada y de largo plazo sobre el rol del hidrógeno en la transición energética



Compromisos concretos - Europa

The path towards a European hydrogen eco-system step by step :



EU Strategy for Energy System Integration

Three main pillars:

- A more 'circular' energy system, with **energy efficiency** at its core
- A **greater direct electrification** of end-use sectors
- For those sectors where electrification is difficult, the strategy promotes **clean fuels, including renewable hydrogen** and sustainable biofuels and biogas

EU Hydrogen Strategy

- 6 GW by 2024 (24X present capacity 250 MW)
- 40 GW by 2030 (160X present capacity 250 MW)
- European Clean Hydrogen Alliance

Compromisos concretos - Alemania

German Hydrogen Strategy – At a glance

David Wortmann
Managing Director, DWR eco
wortmann@dwr-eco.com

Jakob Medick
Senior Analyst, DWR eco
medick@dwr-eco.com



Strategic Decisions

- Long-term target of **5 GW electrolyzer capacity by 2030 and additional 5 GW by 2035, 2040** at the latest
- Focus on **green hydrogen production**
 - Acknowledgement that European imports of *blue or turquoise* hydrogen might play a role in Germany to cover excess demand
- **External hydrogen partnerships** for technology export and hydrogen import (MENA, Ukraine, Southern Europe), use Germany's EU presidency (Q3/Q4 2020) to bring forward EU Hydrogen Strategy
- **Key target sectors** to be decarbonized using hydrogen:
 - Steel Industry
 - Chemical Industry
 - Petrochemistry (Refineries)
 - Transport (Aviation, Shipping, Public, Heavy Road, Commercial)
 - Heating (in the long run)
- **Market ramp-up in Germany until 2023** through action plan
 - Scaling of market national/international until 2030

Action Plan

A total of 39 measures to support *production, target sectors, infrastructure, R & D, international cooperation and governance* to support the development of a national hydrogen market as a baseline for future scaling.

All measures of the Action Plan are to be implemented this year.

Category	Measure
Production	Reduction of H2 production costs through exemption of EEG surcharge and review of other state-induced price components
	Investment support for electrolyzers in industry (Program "Hydrogen use in industrial production" (2020-2024)) and regulatory incentives for green H2 production linked with wind offshore
	Refineries: Ambitious transposition of RED-II Directive to incentivise the use of green hydrogen in fuel production (2 GW devoted to refineries, to be underpinned by additional measures, if needed)
Sectors	Aviation: Renewable fuel quota of at least 2 percent by 2030 for green kerosene
	Heavy Transport: CO2-based toll system for long-haul vehicles, accelerated roll-out of H2 refuelling system primarily in heavy transport segment
	Industry: Carbon Contracts for Difference to incentivize investment in carbon-neutral technologies in steel and chemical industries
Infrastructure	Heating: Investment support for fuel cell systems and H2-based process heating applications, amendment of CHP law facilitating "hydrogen-ready" heating systems
	Prepare existing gas infrastructure for H2 uptake (H2 blending), remove regulatory barriers for H2-only infrastructures
International	Using German Council Presidency to promote hydrogen through development of standards (Guarantee of Origin scheme) and creation of a „Important Project of Common European Interest (IPCEI)“ to build up EU hydrogen supply chains
R & D	Additional funding for research with focus on applications in aviation, shipping and industry, development of research hubs in regions affected by structural transformation (former coal regions)
Governance	Establishment of State Secretary Committee representing involved Ministries (Environment, Economy, Transport, Research) that shall be advised by National Hydrogen Council (25 experts from business, science & civil society)
	Annual evaluation and progress report that allows reassessment and improvement of existing set of measures in case of target deviation

Compromisos concretos - Japón

The Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells ~ Industry-academia-government action plan to realize Hydrogen Society ~ (overall)

- In order to achieve goals set in the Basic Hydrogen Strategy,
- **Set of new targets to achieve (Specs for basic technologies and cost breakdown goals), establish approach to achieving target**
- **Establish expert committee to evaluate and conduct follow-up for each field.**

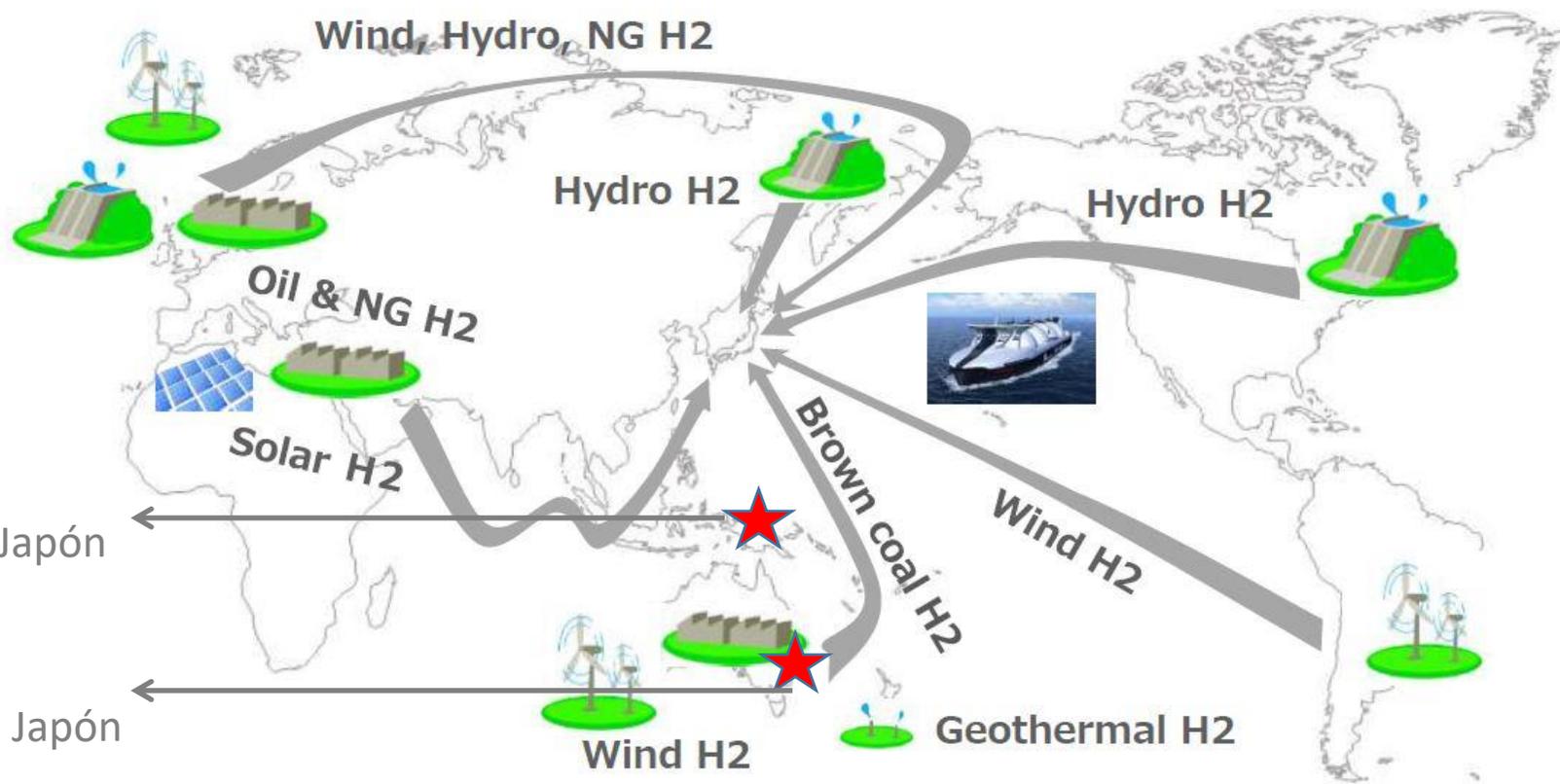
		Goals in the Basic Hydrogen Strategy	Set of targets to achieve	Approach to achieving target						
Use	Mobility	FCV 200k by 2025 800k by 2030	2025 <ul style="list-style-type: none"> • Price difference between FCV and HV (¥3m → ¥0.7m) • Cost of main FCV system <table border="1"> <tr> <td>FC</td> <td>¥20k/kW → ¥5k/kW</td> </tr> <tr> <td>Hydrogen Storage</td> <td>¥0.7m → ¥0.3m</td> </tr> </table> 	FC	¥20k/kW → ¥5k/kW	Hydrogen Storage	¥0.7m → ¥0.3m	<ul style="list-style-type: none"> • Regulatory reform and developing technology 		
		FC	¥20k/kW → ¥5k/kW							
		Hydrogen Storage	¥0.7m → ¥0.3m							
	HRS 320 by 2025 900 by 2030	2025 <ul style="list-style-type: none"> • Construction and operating costs <table border="1"> <tr> <td>Construction cost</td> <td>¥350m → ¥200m</td> </tr> <tr> <td>Operating cost</td> <td>¥34m → ¥15m</td> </tr> </table> • Costs of components for HRS <table border="1"> <tr> <td>Compressor</td> <td>¥90m → ¥50m</td> </tr> <tr> <td>Accumulator</td> <td>¥50m → ¥10m</td> </tr> </table> 	Construction cost	¥350m → ¥200m	Operating cost	¥34m → ¥15m	Compressor	¥90m → ¥50m	Accumulator	¥50m → ¥10m
Construction cost	¥350m → ¥200m									
Operating cost	¥34m → ¥15m									
Compressor	¥90m → ¥50m									
Accumulator	¥50m → ¥10m									
Bus 1,200 by 2030	Early 2020s <ul style="list-style-type: none"> • Vehicle cost of FC bus (¥105m → ¥52.5m) 	<ul style="list-style-type: none"> • Increasing HRS for FC bus 								
	Power	Commercialize by 2030	2020 <ul style="list-style-type: none"> • Efficiency of hydrogen power generation (26% → 27%) ※1MW scale 	<ul style="list-style-type: none"> • Developing of high efficiency combustor etc. 						
	FC	Early realization of grid parity	2025 <ul style="list-style-type: none"> • Realization of grid parity in commercial and industrial use 	<ul style="list-style-type: none"> • Developing FC cell/stack technology 						
Supply	Fossil Fuel +CCS	Hydrogen Cost ¥30/Nm ³ by 2030 ¥20/Nm ³ in future	Early 2020s <ul style="list-style-type: none"> • Production: Production cost from brown coal gasification (¥several hundred/Nm³ → ¥12/Nm³) • Storage/Transport : Scale-up of Liquefied hydrogen tank (thousands m³ → 50,000m³) Higher efficiency 4.2 kWh/kg → 6 kWh/kg 	<ul style="list-style-type: none"> • Scaling-up and improving efficiency of brown coal gasifier • Scaling-up and improving thermal insulation properties 						
	Green H ₂	System cost of water electrolysis ¥50,000/kW in future	2030 <ul style="list-style-type: none"> • Liquefaction • Cost of electrolyzer (¥200,000m/kW → ¥50,000/kW) • Efficiency of water electrolysis (5kWh/Nm³ → 4.3kWh/Nm³) 	<ul style="list-style-type: none"> • Demonstration in model regions for social deployment utilizing the achievement in the demonstration of Namie, Fukushima • Development of electrolyzer with higher efficiency and durability 						

※In addition, promote development of guidelines and technology development for expansion of hydrogen use in the field of FC trucks, ships and trains.

Compromisos concretos - Japón

3. Concept of Hydrogen Chain

Expected CO₂-free H₂ Supply chain



Preferencia del mercado de capitales



UN Environment Programme Finance Initiative

- Principles for Responsible Investment
- Net-Zero Asset Owner Alliance

BlackRock About us Products Investment themes Insights Education

Sustainability as BlackRock's New Standard for Investing

FINANCIAL TIMES

Barclays pressed to stop financing some fossil fuel groups

Funds put financial industry at centre of climate debate with landmark resolution

Guardian to ban advertising from fossil fuel firms

Move follows efforts to reduce carbon footprint and increase reporting on climate crisis

- Why the Guardian will no longer accept fossil fuel advertising
- Support Guardian journalism today, by making a [single or recurring contribution](#), or [subscribing](#)

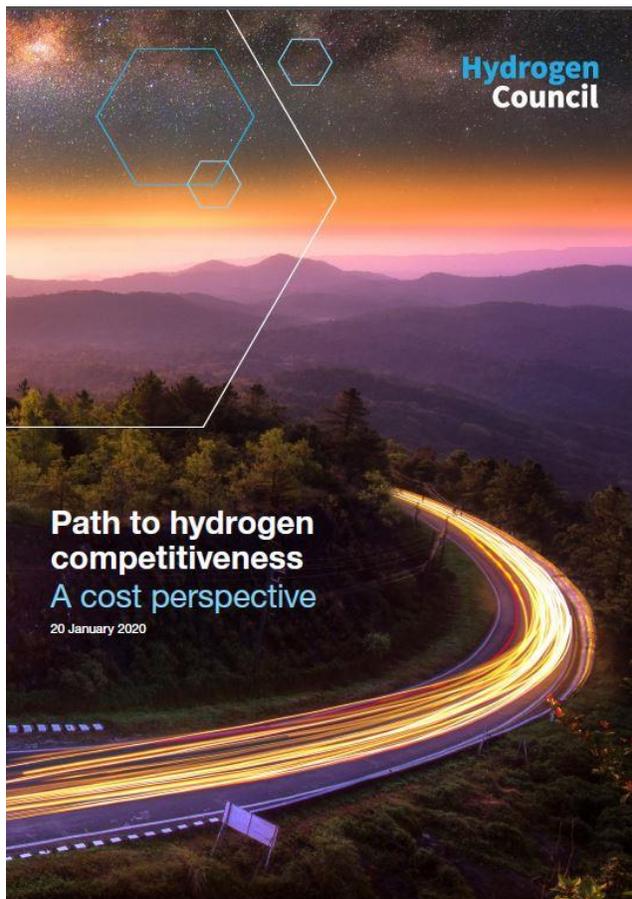


Preferencia del mercado de capitales



Fuente: BP 2Q 2020 Results

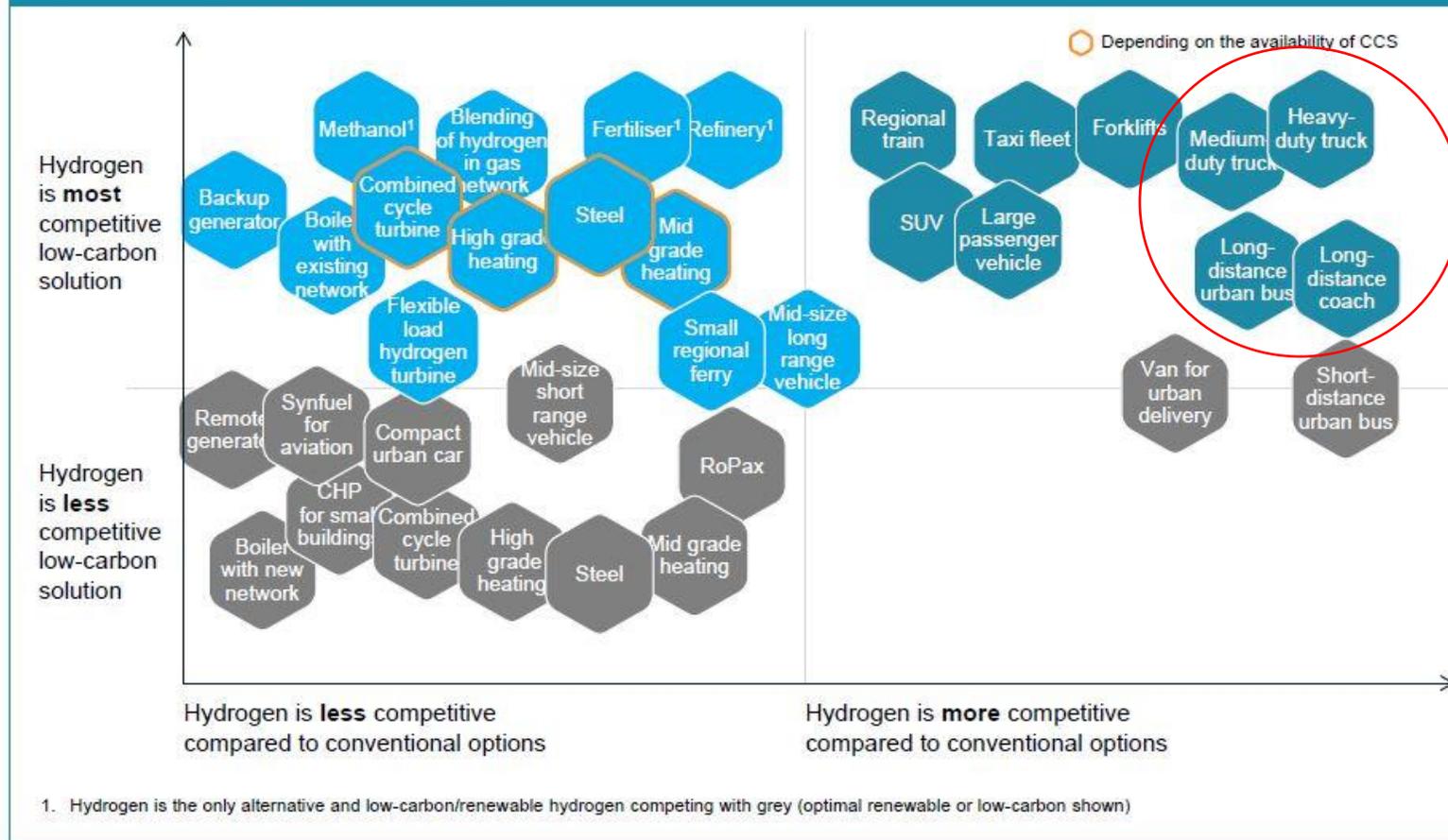
Path to hydrogen competitiveness: a cost perspective - Jan 2020



- Se proyecta una disminución de costos de hasta 50% para 2030
- Estudio basado en datos reales de la industria, con 25.000 puntos de datos recopilados y analizados, de 30 compañías en toda la cadena de valor del hidrógeno, en cuatro geografías clave (EE. UU., Europa, Japón / Corea y China)
- De los 35 casos de uso analizados, el hidrógeno a escala puede ser la solución de bajo carbono y bajo costo en 22 casos de uso, como en la industria del acero y la calefacción para edificios existentes. Y puede superar las soluciones basadas en fósiles a escala en 9 casos de uso, por ejemplo, en transporte pesado y trenes.

Competitividad vs otras soluciones bajo carbono y convencionales

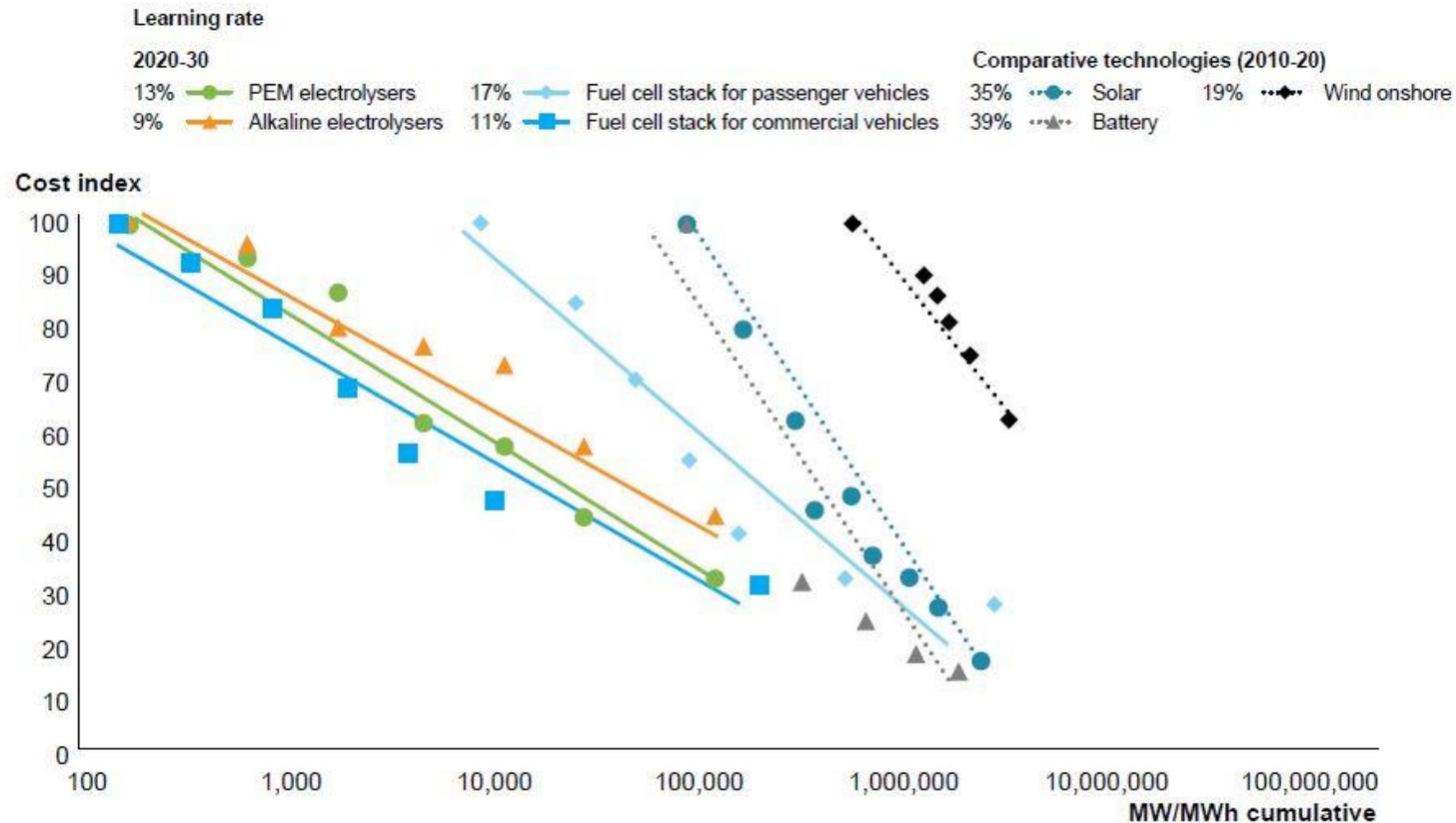
Exhibit 5 | Competitiveness of hydrogen applications versus low-carbon and conventional alternatives



Reducción de costos: curvas de aprendizaje

Exhibit 8 | Learning rates for hydrogen applications

Capex development of selected technologies over total cumulative production
Indexed to 2020 values (2010 for comparative technologies)¹



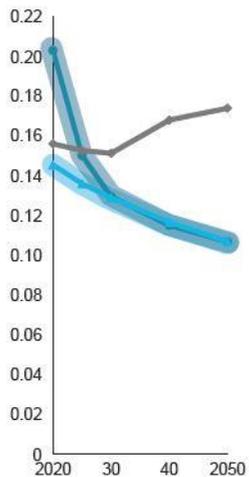
Reducción de costos: TCO vehículos pesados

Exhibit 20 | TCO trajectory of trucks

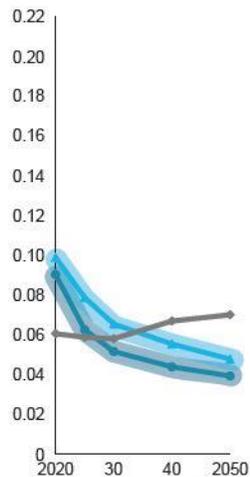
TCO for trucks
USD/ton per km

FCEV BEV ICE

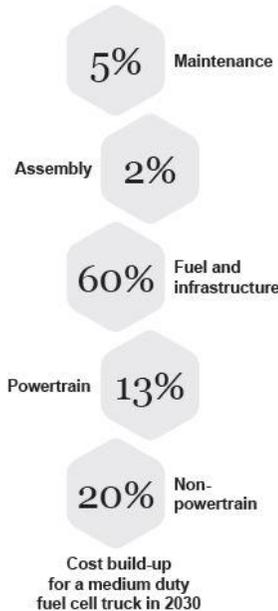
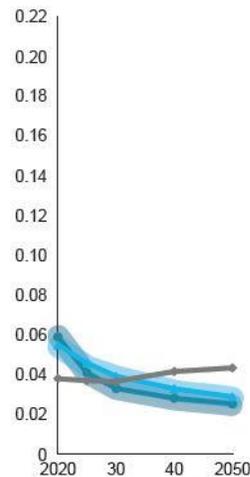
LCV for urban transportation



MDT for regional transportation



HDT for long-haul transportation



Range in tank: 300 km



Range in tank: 500 km



Range in tank: 600 km



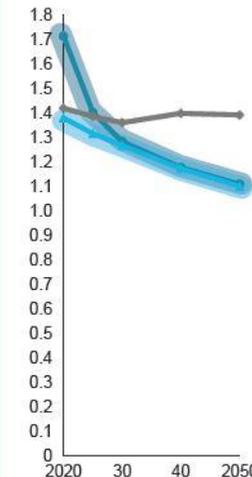
SOURCE: McKinsey Center for Future Mobility; CARB Advanced clean truck; ICCT

Exhibit 21 | TCO trajectory of buses

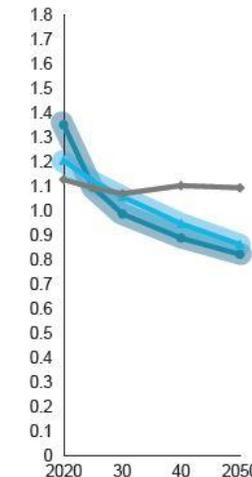
TCO for buses
USD/km

FCEV BEV ICE

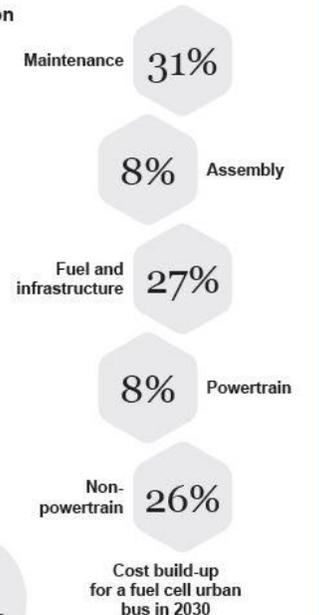
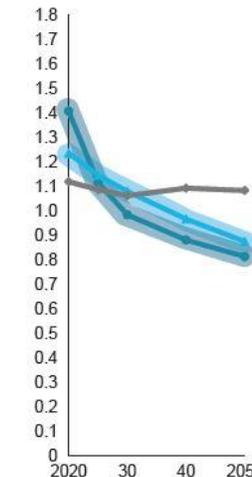
Bus for short-distance urban transportation



Bus for long-distance urban transportation



Long-haul coach for (inter)national transportation



Range in tank: 150 km



Range in tank: 450 km



Range in tank: 500 km



SOURCE: McKinsey Center for Future Mobility

1. El Hidrógeno en la Transición Energética
- 2. Panorama Energético de Uruguay**
3. Demanda en Uruguay
4. Proyecto Piloto
5. Localización
6. Tecnología
7. Ejemplos de Plantas de Producción y HRS
8. Seguridad y Normativa
9. Para Conocer Más



Ministerio
de Industria
Energía y Minería

▲ ANCAP



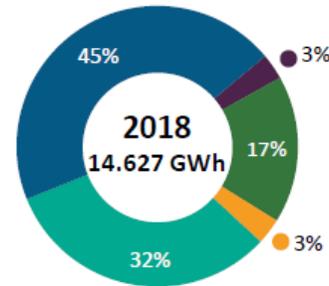
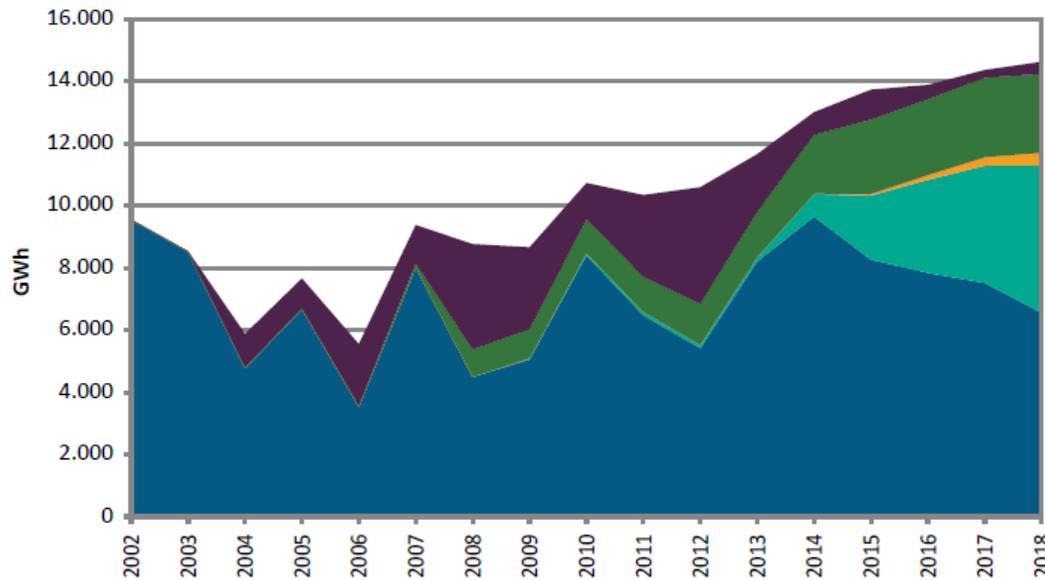
Panorama Energético de Uruguay



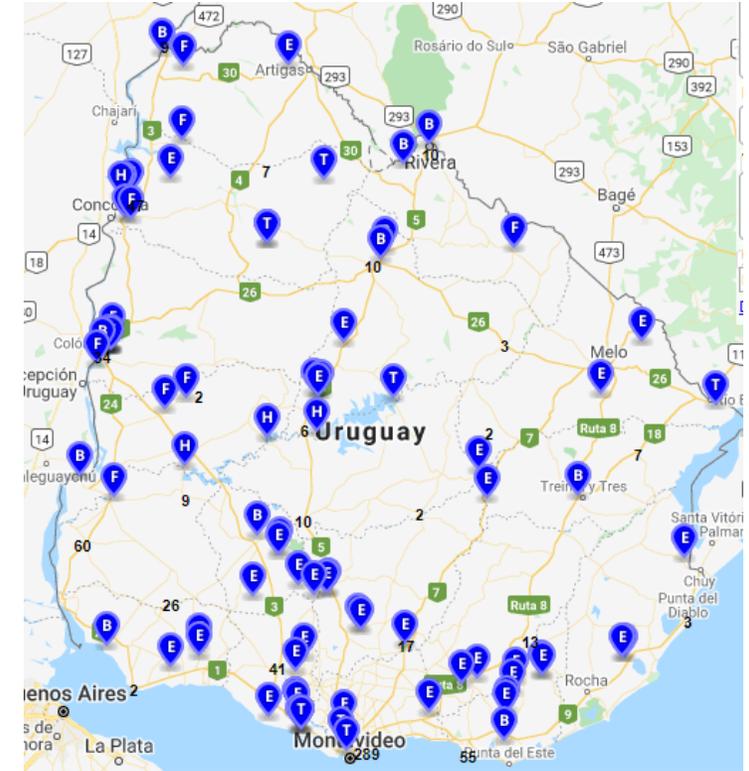
Panorama energético de Uruguay – El logro

El logro - La descarbonización de la generación: La introducción de eólica, solar y biomasa, complementando la tradicional hidráulica, ha resultado en una matriz eléctrica 98% renovable.

GRÁFICO 9. Generación de electricidad por fuente / *Electricity generation by source*



- TÉRMICA - FÓSIL / THERMAL - FOSSIL
- TÉRMICA - BIOMASA / THERMAL - BIOMASS
- SOLAR
- EÓLICA / WIND
- HIDRO / HYDRO

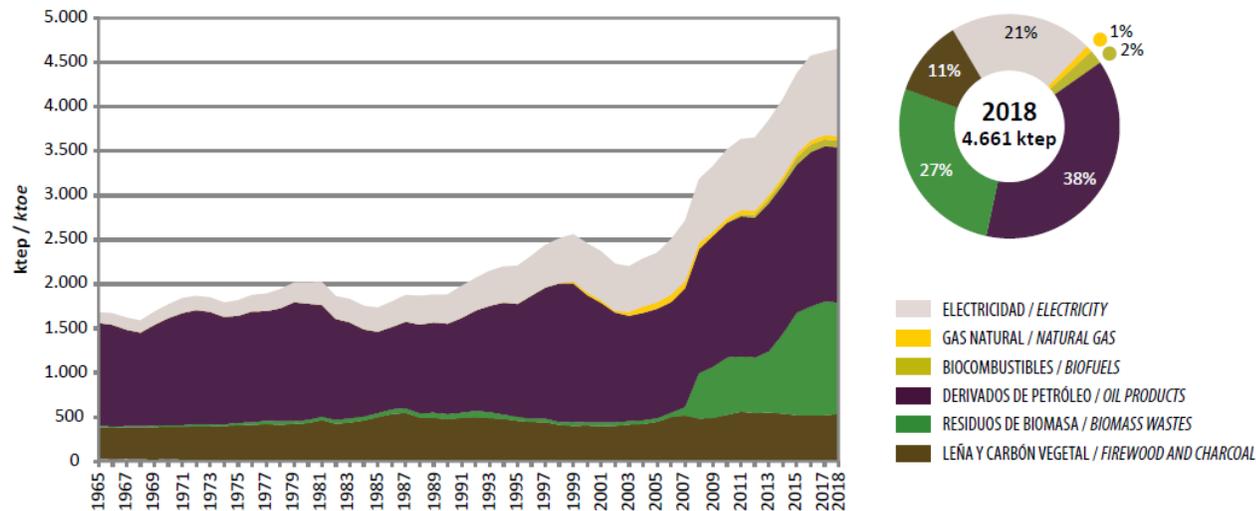


<https://portal.ute.com.uy/institucional/infraestructura/fuentes-de-generacion>

Panorama energético de Uruguay – El desafío

El desafío - Aumentar la electrificación de los sectores transporte, industrial y residencial. La participación de la electricidad en la matriz de consumo es 21 %. La participación del petróleo (principalmente para transporte) es 38 %. **Contexto:** A nivel global, la participación de la electricidad es 19 %, del cual sólo la cuarta parte - 5 % - es de fuente renovable.

GRÁFICO 14. Consumo final energético por fuente / *Final energy consumption by source*



Nota/Note: No se incluye el consumo final energético de carbón mineral, derivados de carbón y solar por resultar en valores pequeños respecto al resto de las fuentes.
Final energy consumption of coal, coal products and solar energy is not included because the values are small compared to the other sources.

<https://ben.miem.gub.uy/balance.html>

Electrificación del transporte

Materialidad del sector transporte:

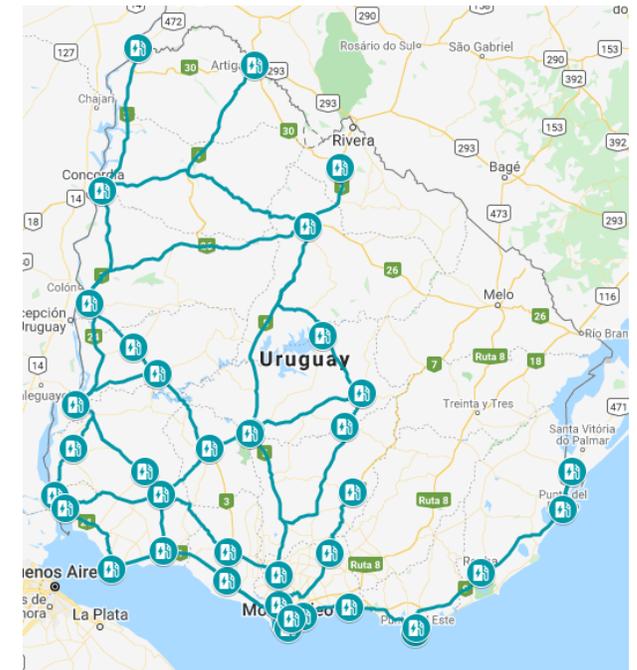
- 70 % del petróleo importado
- 64 % de las emisiones de CO₂

Electrificación del transporte: una prioridad en ejecución

- Primera Ruta Eléctrica de América Latina
- Incentivos para empresas y particulares: TGA 0, Reducción IMESI, Devolución IRAE
- MOVES - vehículos eléctricos a batería: buses, camiones, taxis y utilitarios urbanos
- VERNE - vehículos eléctricos pesados a hidrógeno y celda de combustible

Flota eléctrica a batería:

- 33 buses, 62 taxis, 120 utilitarios de 20 empresas, 92 utilitarios de UTE, 206 vehículos particulares, 1 camión 4 ton



<https://movilidad.ute.com.uy/carga.html?tab=red-de-carga>

Hidrógeno para el transporte pesado

La electrificación del transporte se está segmentando en vehículos eléctricos a:

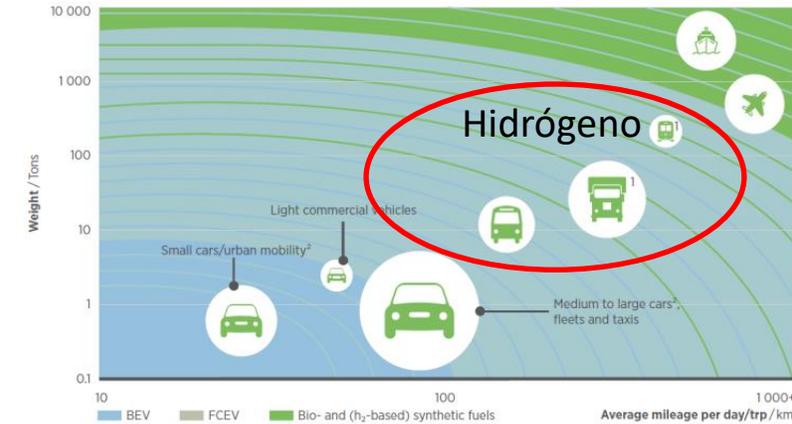
- **Batería** (battery electric vehicle - BEV) para vehículos **livianos/corta distancia** (autos particulares, flotas de taxis y utilitarios, logística última milla, buses y camiones urbanos, etc.)
- **Hidrógeno y celdas de combustible** (fuel-cell electric vehicle - FCEV) para vehículos de **uso intensivo de energía, típicamente pesados/larga distancia** (camiones y buses carreteros, camiones de minería, auto-elevadores, trenes, maquinaria de construcción, reach stackers, barcos, etc.).

Hoy circulan miles de buses FC (los primeros desde hace 10 años), centenares de camiones y decenas de trenes, y hay ambiciosas metas de producción e incorporación.

Ventajas del hidrógeno y las celdas de combustible: un orden de magnitud

- Densidad energética sistema hidrógeno (hidrógeno + tanques + celda) ~ 10 veces mayor que baterías
 - **Peso del sistema hidrógeno ~ 10 veces menor que baterías**, clave para transporte pesado
 - **Tanques y celdas emplean materiales comunes** (plástico, fibras carbono, aluminio, acero) en cantidad ~ 10 veces menor. Cantidad platino celdas ~ convertidor catalítico
 - **Menor costo y riesgo de suministro** de materias primas (baterías usan litio, cobalto, etc.)
 - **Menor desafío de fabricación y de disposición final / reciclaje**
- Carga de hidrógeno en tanques es proceso físico, carga de baterías es proceso electroquímico.
 - **Tiempo recarga hidrógeno 10 a 20 min ~ 10 veces menor que baterías**
 - La carga rápida frecuente no afecta la vida útil del tanque. Si afecta las baterías.
 - **Menor costo de infraestructura para grandes flotas de vehículos pesados**

Figure 15: Segmentation of the transport market



https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA_Hydrogen_from_renewable_power_2018.pdf



Ejemplo numérico

Camión T12-S2, 42 ton, autonomía 1.000 km, requiere ~ 1.400 kWh (~ 1,4 kWh/km)

A hidrógeno y celdas combustible: H₂ 80 kg + tanques 1.200 kg + celda 300 kW 400 kg => ~ 1,7 ton, ~ 120.000 USD
(Supuestos: tanques 500 USD/kg, celda 250 USD/kWh)

A batería: 1.600 kWh (batería opera entre estados de carga 5% y 95%) => ~ 10 ton, ~ 260.000 USD
(Supuestos: densidad energética 0,16 kWh/kg, costo 160 USD/kWh)

Impacto en capacidad carga (payload):

Batería ocupa 36% de la capacidad de carga

Impacto en tiempo de carga:

Batería carga en ~ 3 hs (cargador 450 kW); tanque de hidrógeno carga en ~ 20 minutos

Impacto en infraestructura de carga:

Se necesitan (t carga batería/ t carga H₂) ~ **9 veces más cargadores que picos de hidrógeno**

Carga rápida de batería en ~ tiempo hidrógeno (si fuera posible) => 1.400 kWh en ~ 20 min => **4,2 MW** (2.800 A @ 1.500 V)



El transporte pesado en términos eléctricos

Importante energía almacenada a bordo

Camión/bus interurbano, eficiencia motor ~ 40%

500 litros diesel (autonomía ~ 1500 km) ~ 5 MWh energía química ~ 2 MWh energía eléctrica en rueda

Camión minería 300 ton, eficiencia motor ~ 40%

3.600 litros diesel/día ~ 36 MWh energía química ~ 14 MWh energía eléctrica en rueda

Portacontenedores 10.000 TEU, eficiencia motor ~ 55%

11.000 m³ diesel ~ 110.000 MWh energía química ~ 60.000 MWh energía eléctrica en hélice

Importante potencia de carga

Asumiendo uso en camiones eficiencia motor ~ 40%

Surtidor 2.000 litros/hora ~ 21 MW potencia química ~ 8 MW potencia eléctrica

Oportunidad: Gana-gana ambiental y económico

- **Ambientalmente sostenible: cero emisiones** de gases (CO₂, Nox, etc.) , material particulado (PM) y ruido
- Mantenimiento significativamente menor
 - Motor eléctrico de velocidad variable, no requiere caja cambios
 - Aprox. 20 piezas móviles en lugar de 2000
 - No requiere lubricantes
 - Opera a baja temperatura
- Más eficiente
 - Eficiencia red eléctrica a rueda (well-to-wheel): batería típico 85 %, hidrógeno típico 30 %
 - Recupera la energía de frenado, importante en tránsito urbano
 - Mejor aerodinámica (no tiene la limitante del volumen del motor de combustión bajo el capot)
- Costo de energía estable y competitivo con el combustible que desplaza
 - Energía renovable autóctona, costo estable, proyección de costo competitivo en pocos años
- Mejor experiencia para conductores, pasajeros y peatones
 - Velocidad variable de forma continua (sin cambios)
 - Mejor distribución del peso, centro de gravedad más bajo, mayor estabilidad
 - Sin ruidos ni vibraciones

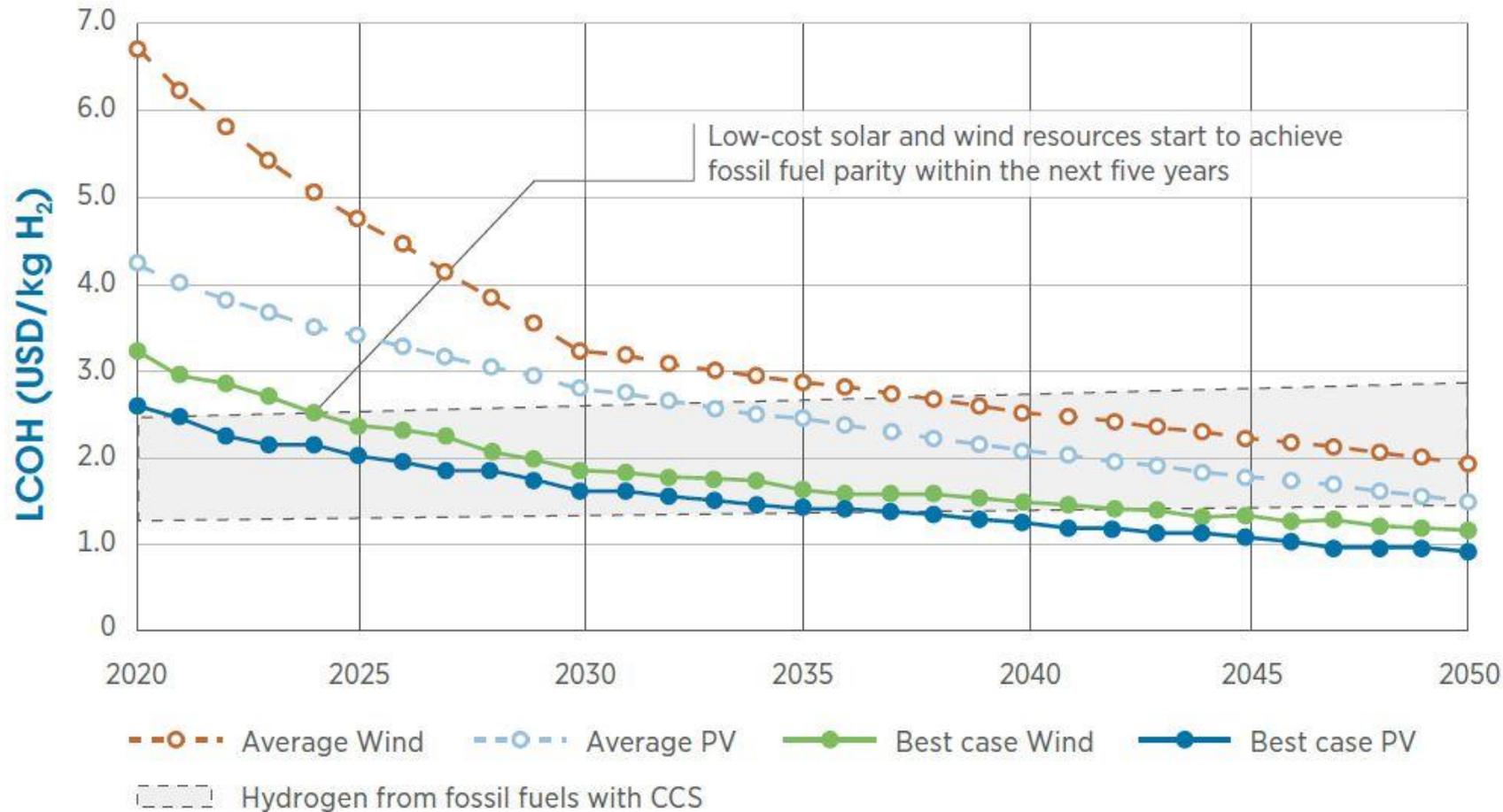


Menor costo total de propiedad (TCO)

Oportunidad: Soberanía, estabilidad, competitividad, desarrollo

- El hidrógeno verde es un vector energético **producido con recursos autóctonos renovables**, lo que brinda:
 - **Soberanía energética** y reducción de uso de divisas
 - **Estabilidad de costos** frente a volatilidad del precio del petróleo
 - **Incremento de competitividad** del sector transporte
- Impulsa un nuevo ecosistema de energía renovable que **genera desarrollo**
 - **Dinamizará la economía y generará empleo de calidad**
 - Posibilidades de **exportación de hidrógeno, materias primas y combustibles sintéticos verdes**

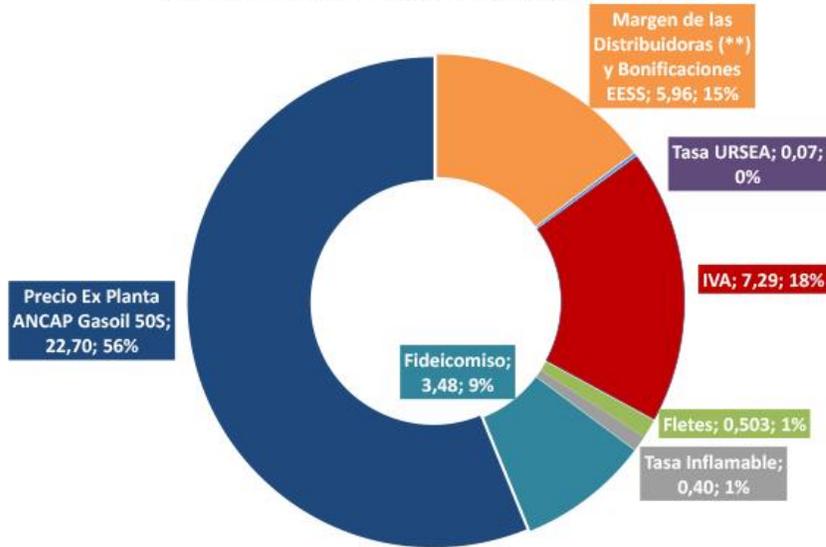
Oportunidad: Hidrógeno hacia la paridad con fósil



- Aproximadamente **80% del costo del hidrógeno es el costo de la electricidad**
- El costo de la electricidad renovable depende del recurso solar y eólico (factores de capacidad) de cada país / región
- Uruguay tiene muy buen potencial y **excelentes factores de capacidad (combinado solar+ eólica aprox. 57 %); comparables a los mejores del mundo: eólica offshore, eólica onshore Patagonia, Australia, etc.**

Oportunidad: Hidrógeno hacia la paridad con diesel

Composición Tarifa_ENE-20_Precio máximo Gasoil 50S 40,4 \$/l



Diesel

45,5 MJ/kg ~ 10,6 kWh/l @ 40% eficiencia motor ~ 4,2 kWh/l en rueda

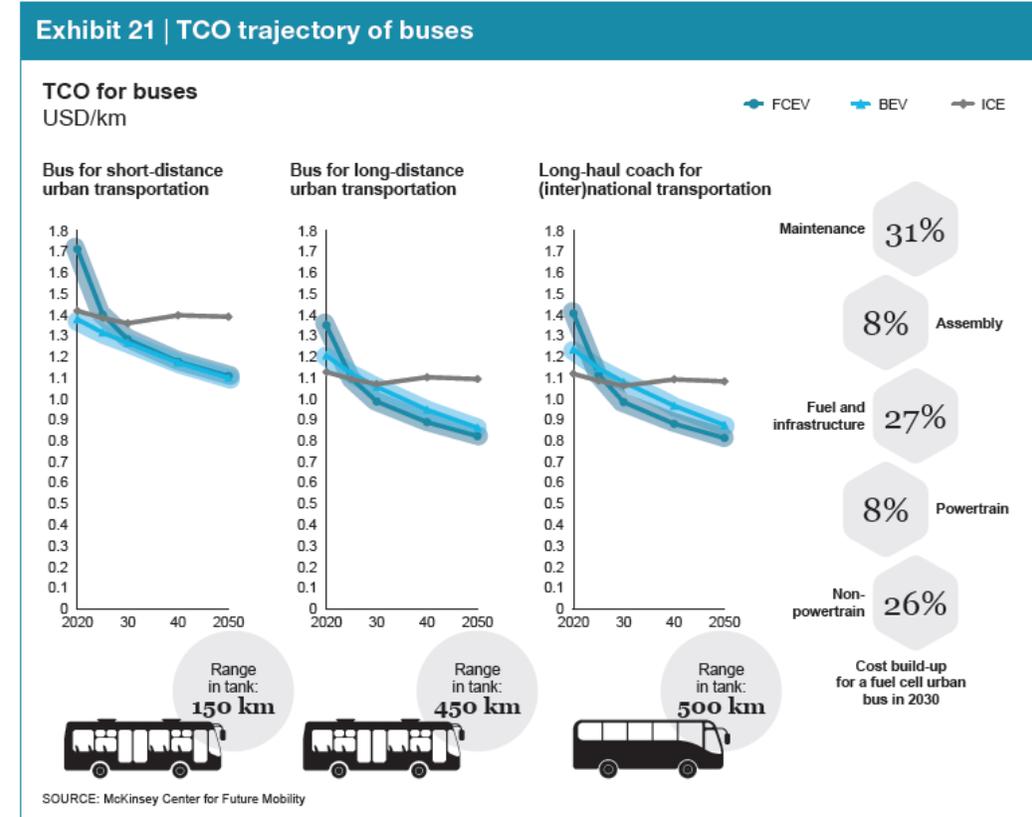
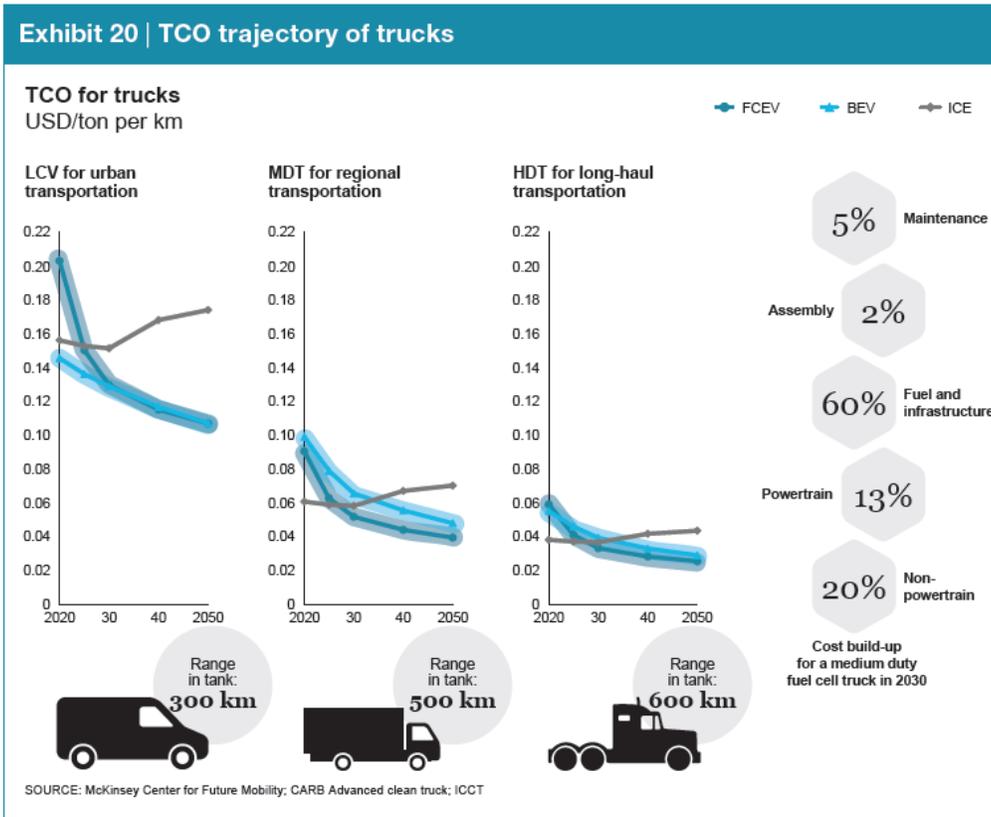
Hidrógeno

120 MJ/kg ~ 33,3 kWh/kg @ 60% eficiencia celda ~ 20 kWh/kg en rueda

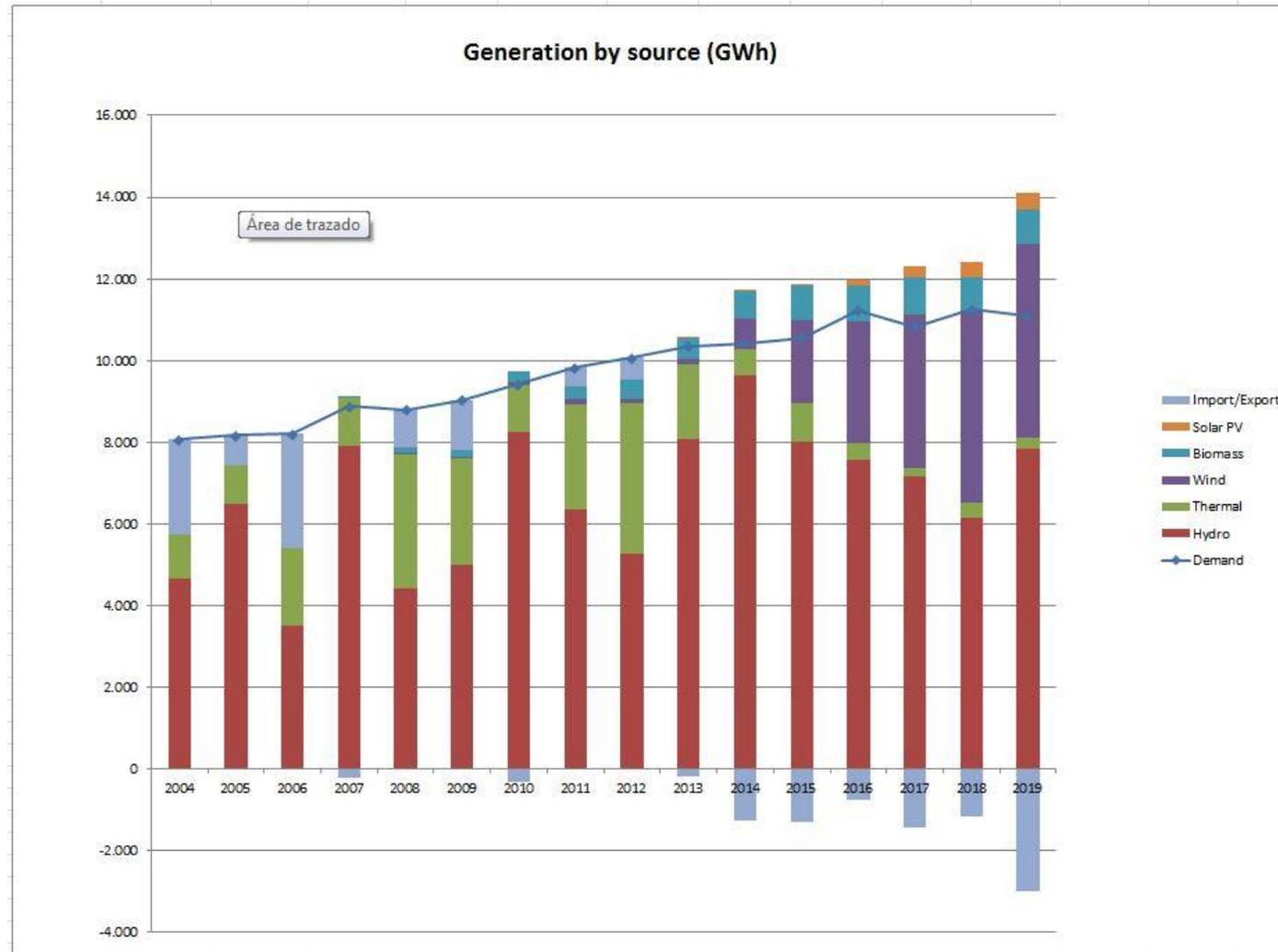
1 kg H₂ ~ 4,76 l diesel

En surtidor \$ 192 ~ USD 4,5

Oportunidad: Trayectoria decreciente de TCO de vehículos FC



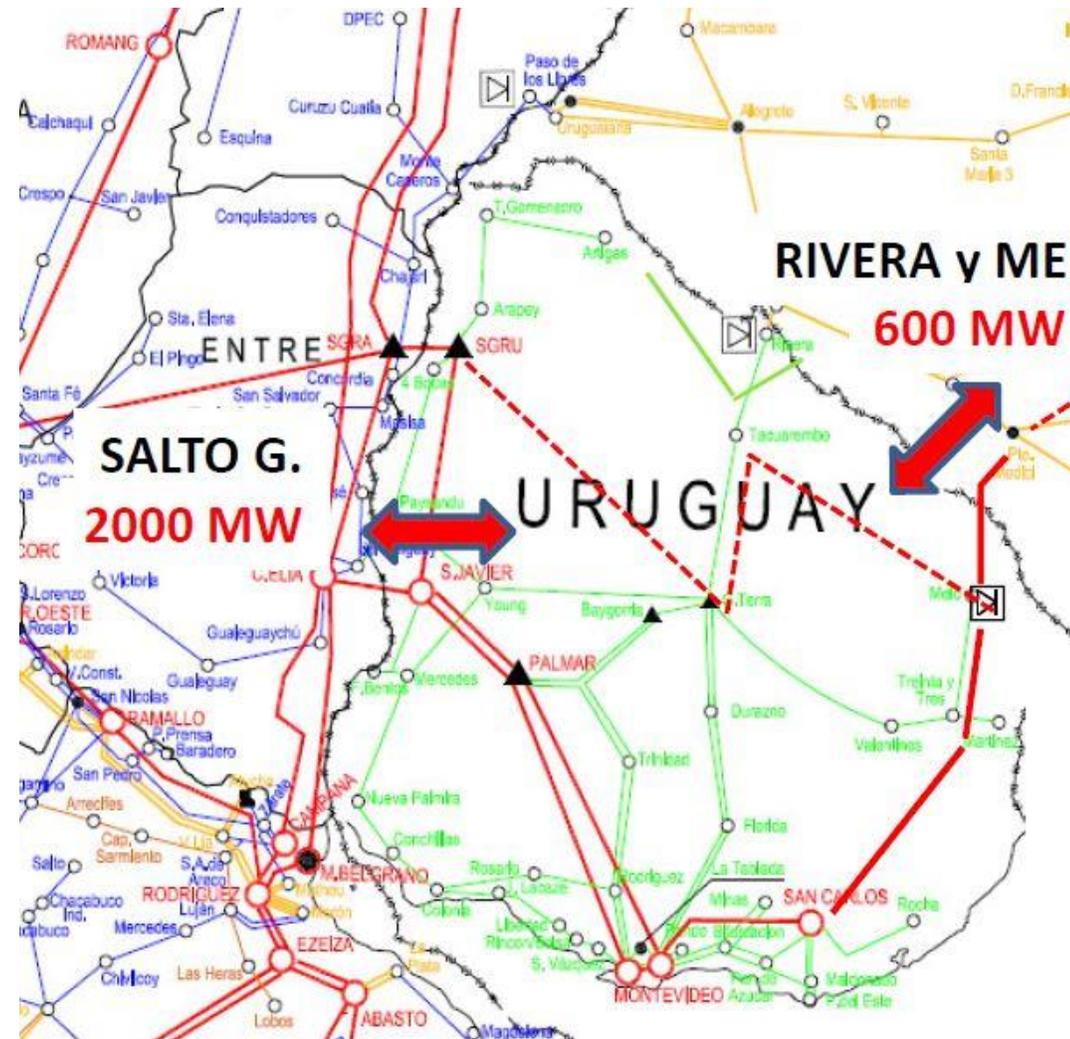
Oportunidad - Excedentes estructurales



Excedentes estructurales

- Valor esperado 2 TWh
- Variabilidad anual +/- 50%
- Su uso requiere muy importante y oneroso almacenamiento

Oportunidad - Excelente cobertura en alta y media tensión



1. El Hidrógeno en la Transición Energética
2. Panorama Energético de Uruguay
- 3. Demanda en Uruguay**
4. Proyecto Piloto
5. Localización
6. Tecnología
7. Ejemplos de Plantas de Producción y HRS
8. Seguridad y Normativa
9. Para Conocer Más



Demanda en Uruguay



Demanda en Uruguay – Transporte carretero

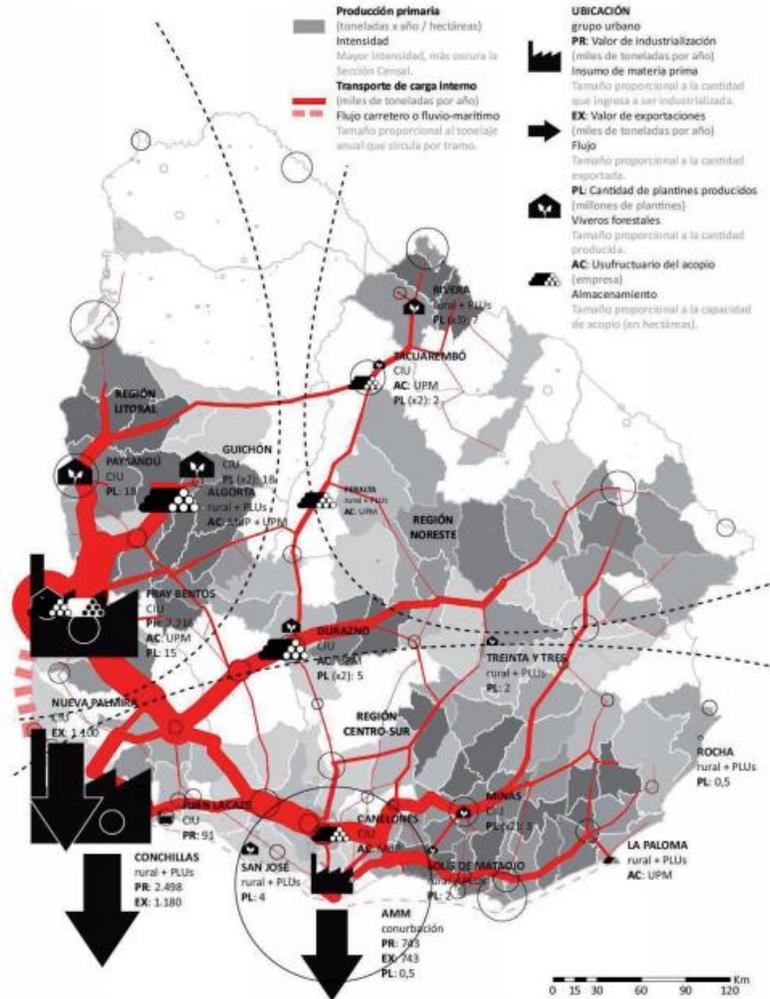
- **Transporte carretero: 37 millones de toneladas**
 - 13.000 camiones y 7.000 tractores
 - Se ha multiplicado por 5 en los últimos 15 años
- **Por cadenas**
 - **Forestal 40%**
 - **Granos 22%**
 - **Otras cadenas 11 % (vestimenta, bebidas, automóviles, electrodomésticos, químicos, etc.)**

Cadena	2016	2017	2018
Forestal	14.320.537	14.945.476	15.140.033
Granos	9.040.848	7.645.781	8.377.175
Otras cadenas logísticas	4.175.111	4.247.758	4.287.262
Leche y otros	2.232.757	2.453.426	2.554.205
Pecuarios	1.990.312	2.015.124	2.002.718
Minería	1.972.428	2.006.748	2.025.411
Combustibles	1.889.015	1.900.000	1.820.000
Otros prod. agrícolas	1.119.641	1.088.574	1.028.926
TOTAL	36.740.649	36.302.888	37.235.730

Demanda en Uruguay – Corporativos y cadena forestal

- **Potenciales clientes ancla: transportistas que trabajan para dadores de carga corporativos**
 - Coca Cola, Unilever, AmBev, etc.
 - Laboratorios farmacéuticos
 - Postal y paquetería
- **Potenciales clientes ancla: cadena forestal**
 - Plantas de celulosa
 - UPM Fray Bentos 2008 (1,3 millones de toneladas/año celulosa)
 - Montes del Plata 2014 (1,4 millones de toneladas/año celulosa)
 - UPM Paso de los Toros (2022; inversión 3.000 millones dólares; 2,1 millones de toneladas/año celulosa)
 - Producción de hidrógeno en sitio (generación de electricidad propia con excedentes; agua tratada)
 - Flotas cautivas (viaje redondo plantaciones – planta)
 - Vehículos pesados: hoy camiones simples (45 tons) y bitrenes (57 ton), próximamente tritrenes (74 ton)
 - **Altos requisitos corporativos de sostenibilidad**
 - **Vehículos bajas emisiones**
 - **Renovación vehículos cada 5 años**
- **Potenciales clientes ancla: camiones de recolección de residuos**

Demanda en Uruguay – Cadena forestal



Demanda en Uruguay – Buses

- **3.000 buses urbanos**
 - **Ley No 19670 Art 349 - Decreto No 165/2019 – Subsidio para sustituir buses diesel por eléctricos**
 - **Hasta un 4% de la flota, ~ 120 buses**
 - 30 se incorporan en 2020
 - Altos requisitos técnicos: piso bajo, aire acondicionado, etc.
 - **~ 30 % de las rutas no son factibles con buses eléctricos, por distancia recorrida y por aire acondicionado**
 - Buena disponibilidad de buses urbanos FC
- **3.600 buses interurbanos (coach), con bodega 15 m³, velocidad 90-100 km/h**
 - Todavía no hay disponibilidad de buses interurbanos (coach) FC

Demanda en Uruguay – Ferrocarril, Ferries, Fluvial

- **Ferrocarril Central**

- Capacidad de carga: 4 millones toneladas/año (UPM Paso de los Toros 2 millones toneladas/año)
- Inversión en infraestructura USD 1.100 millones
- 300 km
- Eventual sustitución de locomotoras diesel-eléctricas por celdas combustible-eléctricas

- **Ferries Montevideo - Buenos Aires**

- Buquebus Francisco 2013: 1.000 pasajeros, 150 automóviles, 100 km/h
- Opera a gas natural licuado (GNL)

- **Hidrovía Paraguay-Paraná (Uruguay, Argentina, Brasil, Paraguay, Bolivia)**

- Posibilidad de **exportación de hidrógeno, materias primas químicas y combustibles sintéticos verdes** en base a hidrógeno a regiones/países que están transicionado hacia una economía del hidrógeno.

Demanda en Uruguay – Sustitución de importaciones

- Compra de crudo ~ **16 MMbbl / año**
- Volumen máximo de gasoil sustituible ~ **450.000 m³/año (de un total de 850.000 m³/año)**
- Reducción de crudo ~ **7,6 MMbbls/año**
- Reducción de divisas: a 60 USD/bbl ~ **460 MMUSD/año**, a 80 USD/bbl ~ **600 MMUSD/año**
- La electrificación vía baterías en vehículos livianos / corta distancia sustituye gasolina; mientras la electrificación vía hidrógeno en vehículos pesados / larga distancia sustituye diesel.
- La sustitución de diesel por hidrógeno complementa la sustitución de gasolina por baterías, para mantener el equilibrio de refinería (nafta aprox. 380.000 m³/año)

Sustitución de diesel – Qué implica ?

- **100% del sustituible (450.000 m³/año)**
 - 100.000 T H₂/año
 - 1.400 MW combinado solar + eólica FC 57%
 - 6.900 GWh/año ~ 53% de la generación anual esperada
 - 2.700 m³/d agua ~ consumo de 27.000 habitantes
 - Reducción emisiones CO₂ ~ 1.200.000 T/año ~ 18 millones de árboles
- **10 % del sustituible (45.000 m³/año)**
 - 10.000 T H₂/año
 - 140 MW combinado solar + eólica FC 57%
 - 690 GWh/año ~ 5,3% de la generación anual esperada
 - 270 m³/d agua ~ consumo de 2.700 habitantes
- **Proyecto piloto 500 kg H₂/día**
 - 180 T H₂/año
 - 2,5 MW combinado solar + eólica FC 57%
 - 13 GWh/año ~ 0,1% de la generación anual esperada
 - 5 m³/d agua ~ consumo de 50 habitantes

Proyectos de inversión en producción y uso de hidrógeno

- **Ley N° 16.906 de Promoción de Inversiones**
- **Beneficiarios** los contribuyentes del Impuesto a las Rentas de las Actividades Económicas (IRAE) que realicen actividades industriales o agropecuarias.
- **Opera sobre:**
 - **II. Instalaciones industriales**, que comprenderán las que sean necesarias para poder realizar un ciclo productivo, que incluirá desde la recepción de la materia prima o la extracción hasta la entrega del producto manufacturado, extraído o conservado, realizada por la empresa industrial.
 - **IV. Vehículos utilitarios**, que comprende los **camiones, los chasis para camiones, tractores para remolques**, remolques y zorras.

Proyectos de inversión en producción y uso de hidrógeno

- Para otorgar las exoneraciones, se tendrá especialmente en cuenta aquellas inversiones que:
 - A) Incorporen progreso técnico que permita mejorar la competitividad.
 - B) Faciliten el aumento y la diversificación de las exportaciones, especialmente aquellas que incorporen mayor valor agregado nacional.
 - C) Generen empleo productivo directa o indirectamente.
 - D) Permitan la integración productiva incorporando valor agregado nacional en los distintos eslabones de la cadena productiva.
 - E) Fomenten las actividades de las micro, las pequeñas y las medianas empresas, por su capacidad efectiva de innovación tecnológica y de generación de empleo productivo.
 - F) Contribuyan a la descentralización geográfica y se orienten a actividades industriales, agroindustriales y de servicios, con una utilización significativa de mano de obra e insumos locales.
- Entre 2014 y 2017, recibieron exoneraciones proyectos de transporte por 41 millones de dólares

1. El Hidrógeno en la Transición Energética
2. Panorama Energético de Uruguay
3. Demanda en Uruguay
- 4. Proyecto Piloto**
5. Localización
6. Tecnología
7. Ejemplos de Plantas de Producción y HRS
8. Seguridad y Normativa
9. Para Conocer Más



Ministerio
de Industria
Energía y Minería

▲ ANCAP



Proyecto Piloto



Objetivos

- **Probar un ecosistema de hidrógeno en las condiciones específicas de Uruguay**
 - Identificar barreras y lagunas técnicas, legales y regulatorias
 - Aportar insumos para la construcción de una Hoja de Ruta de hidrógeno
 - Preparar a Uruguay para el momento en que el hidrógeno se escale a adopción masiva
- **Aproximación a la cuantificación de beneficios que esta tecnología puede aportar al sistema eléctrico**
 - Gestión de demanda
 - Utilización de excedentes
- **Contribuir a la formulación de procesos sistemáticos para generar y fortalecer conocimiento y capacidades locales**
 - Operadores de planta de producción y acondicionamiento de hidrógeno
 - Operadores de vehículos
 - Proveedores de equipos y servicios
 - Servicios de primera respuesta ante incidentes: policía y bomberos
 - Generar nuevas áreas de conocimiento en interacción con la academia
- **Generar y diseminar un cambio cultural y concientización en relación a la descarbonización, por electrificación del transporte en base a hidrógeno, en complemento a lo que ya se ha hecho en base a baterías**
- **Construir relaciones gana-gana entre el sector privado y las instituciones públicas**

Actores clave

Sector público: MTOP (regulador de transporte), URSEA (regulador de energía), MVOTMA (medio ambiente), BSE (seguros), MEF/COMAP (exoneraciones), IMM (municipalidad), DNB (bomberos), MINTERIOR (policía)

Sector privado: usuarios de los vehículos (empresas de transporte pasajeros y transporte carretero), proveedores de planta y vehículos, empresas constructoras locales (EPC), bancos privados y multilaterales

Opinión pública: difusión y concientización sobre la sociedad del hidrógeno, seguridad

Marco resolutivo

MIEM (4 Junio 2019)

- Carta a directorios de UTE y ANCAP para realizar piloto de hidrógeno

Resolución Directorio de UTE (17 Junio 2019)

- Durante la realización del Proyecto Piloto de Hidrógeno, un régimen de bonificación comercial sobre la tarifa regulada de la energía eléctrica suministrada, que permita generar hidrógeno a un precio de paridad con el gasoil para el transporte

Resolución Directorio de ANCAP (25 Julio 2019)

- Continuar el trabajo conjunto entre MIEM, UTE y ANCAP para concretar el Proyecto Piloto.

Equipo de Proyecto

Equipo inter institucional MIEM – ANCAP – UTE, conformado en Marzo 2019

Asesoramiento de Inicio (consultor internacional especializado en energías renovables e hidrógeno), contratado en Marzo 2019

- Evaluación de Alternativas, Modelo Económico, proceso de Pedido de Información (RFI), Bases Técnicas para Planta y Vehículos

Misiones para contacto directo con operadores de flota y proveedores de planta y vehículos

- Alemania, China, Argentina, Costa Rica y Reino Unido

El Pedido de Información logró un muy buen posicionamiento de Uruguay en el ámbito internacional del hidrógeno, generando interés en participar y apoyar el proyecto a nivel de gobiernos, organismos multilaterales, inversores y empresas proveedoras.

Mínimo concepto viable

- Producción de hidrógeno verde mediante electrolizador PEM (500 kg/día) y una estación de carga en Montevideo
- 10 vehículos pesados: camiones carreteros y buses con autonomía ~ 500 km
- Consumo de hidrógeno aprox. 7 ~ 9 kg H₂/100 km
- 10 vehículos @ 400 km/día => 280 ~ 360 kg H₂/día
- Consumo energía eléctrica anual 13 GWh (0,1 % generación anual esperada)



Banco Interamericano
de Desarrollo

Cooperación Técnica UR-T1223 - Apoyo a la Creación de un Ecosistema de Hidrógeno en Uruguay

<https://www.iadb.org/en/project/UR-T1223>

- Elaboración de la viabilidad ambiental de localización de un proyecto piloto de hidrógeno
- Asesoramiento en aspectos legales
- USD 200.000



Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

MME Paraguay, MIEM Uruguay, GIZ Alemania

[/vmme/index.php?option=com_content&view=article&id=2017:proyecto-tres-de-cooperacion-triangular-entre-paraguay-uruguay-y-alemania&catid=96:sample-news&Itemid=552](https://vmme/index.php?option=com_content&view=article&id=2017:proyecto-tres-de-cooperacion-triangular-entre-paraguay-uruguay-y-alemania&catid=96:sample-news&Itemid=552)

- Análisis de aspectos técnicos y económicos para el desarrollo de una economía de hidrógeno en Uruguay y Paraguay
- Análisis de aspectos de seguridad requeridos para instalación de una planta de producción de hidrógeno, almacenamiento, uso en unidades vehiculares y también para puntos de abastecimiento para vehículos

1. El Hidrógeno en la Transición Energética
2. Panorama Energético de Uruguay
3. Demanda en Uruguay
4. Proyecto Piloto
- 5. Localización**
6. Tecnología
7. Ejemplos de Plantas de Producción y HRS
8. Seguridad y Normativa
9. Para Conocer Más



Localización



Características deseables

- Área industrial (no residencial / comercial)
- Buena accesibilidad vial para camiones y buses
- Disponibilidad de insumos: potencia eléctrica 1,5 MW en 30 kV, agua potable
- Disponibilidad de área para producción de hidrógeno (producción, almacenamiento, dispensado); con posibilidad de ampliación futura
- Disponibilidad de área para acceso, maniobra y estacionamiento de buses y camiones (y eventualmente locales para limpieza y mantenimiento); con posibilidad de ampliación futura

Capurro

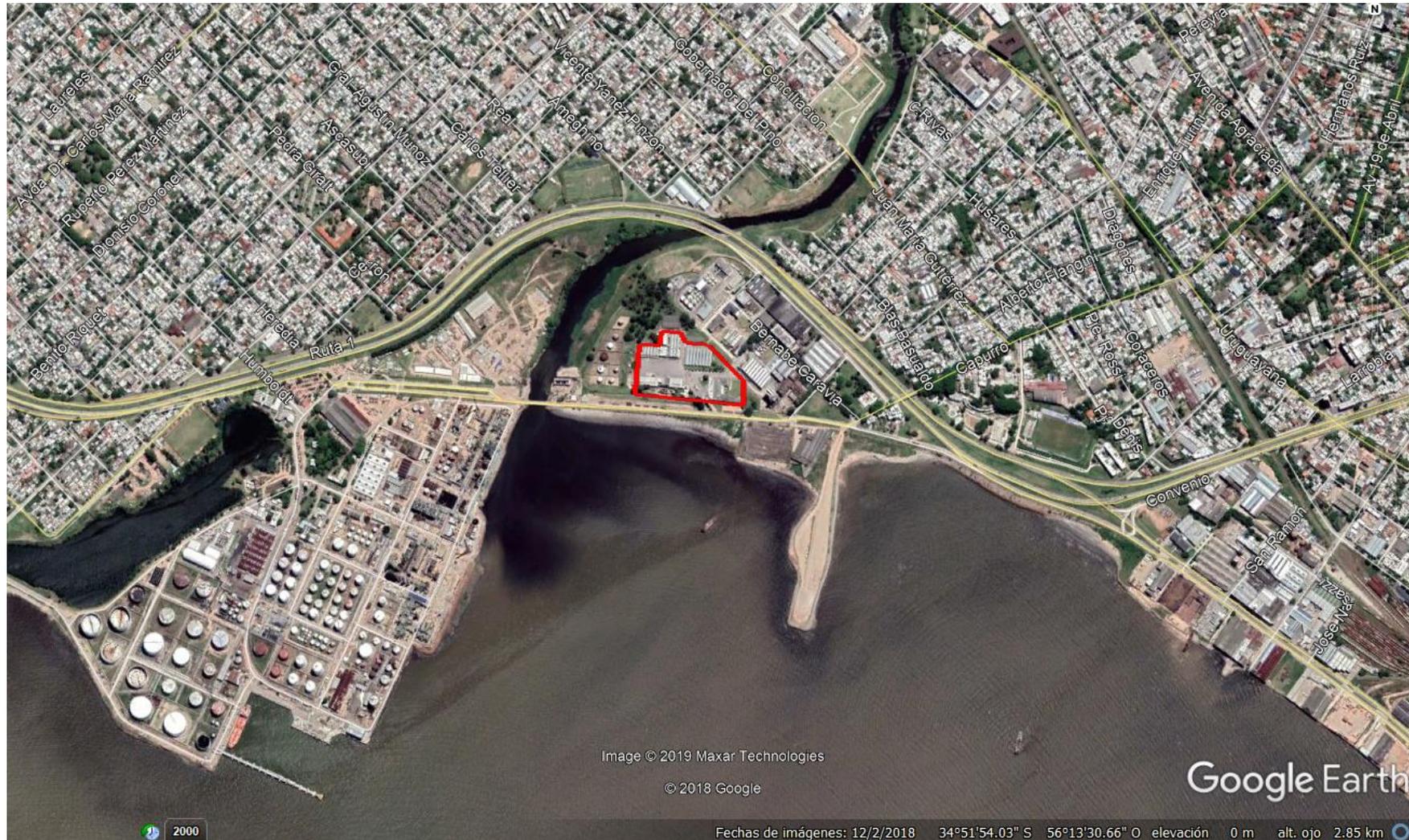


Image © 2019 Maxar Technologies

© 2018 Google

Google Earth

Fechas de imágenes: 12/2/2018 34°51'54.03" S 56°13'30.66" O elevación 0 m alt. ojo 2.85 km

Capurro



Capurro



Posibilidades para ampliación, talleres, salas capacitación, etc.

1. El Hidrógeno en la Transición Energética
2. Panorama Energético de Uruguay
3. Demanda en Uruguay
4. Proyecto Piloto
5. Localización
- 6. Tecnología**
7. Ejemplos de Plantas de Producción y HRS
8. Seguridad y Normativa
9. Para Conocer Más



Ministerio
de Industria
Energía y Minería

▲ ANCAP



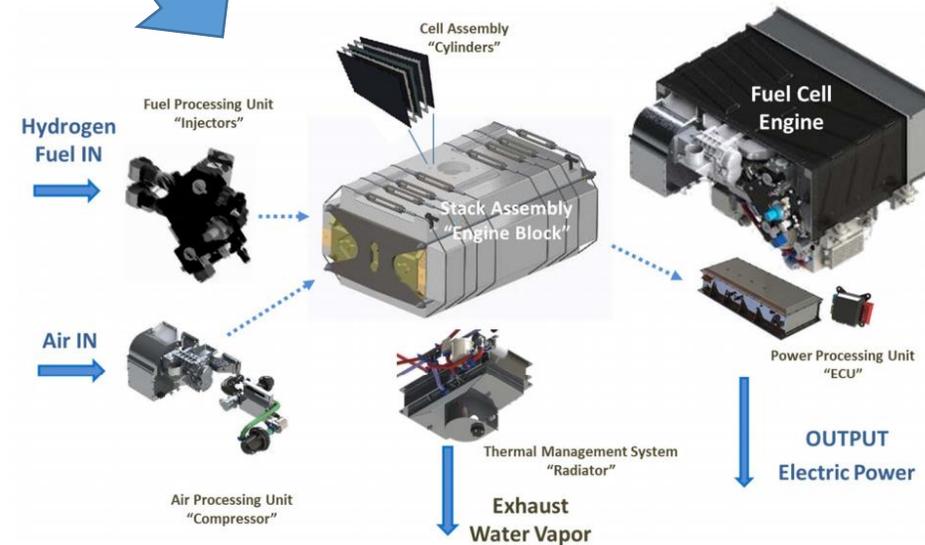
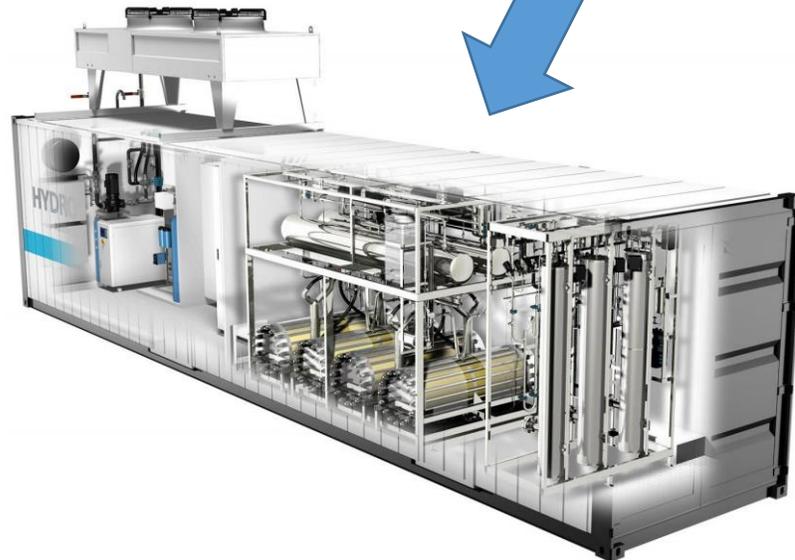
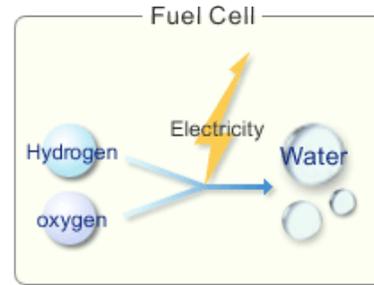
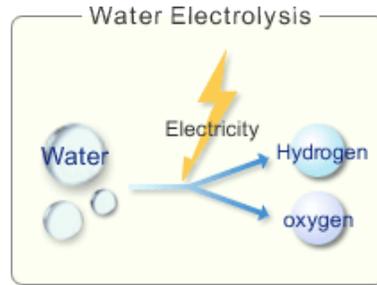
Tecnología



Vehículos eléctricos a batería (BEV) y vehículos eléctricos a celda de combustible (FCEV)

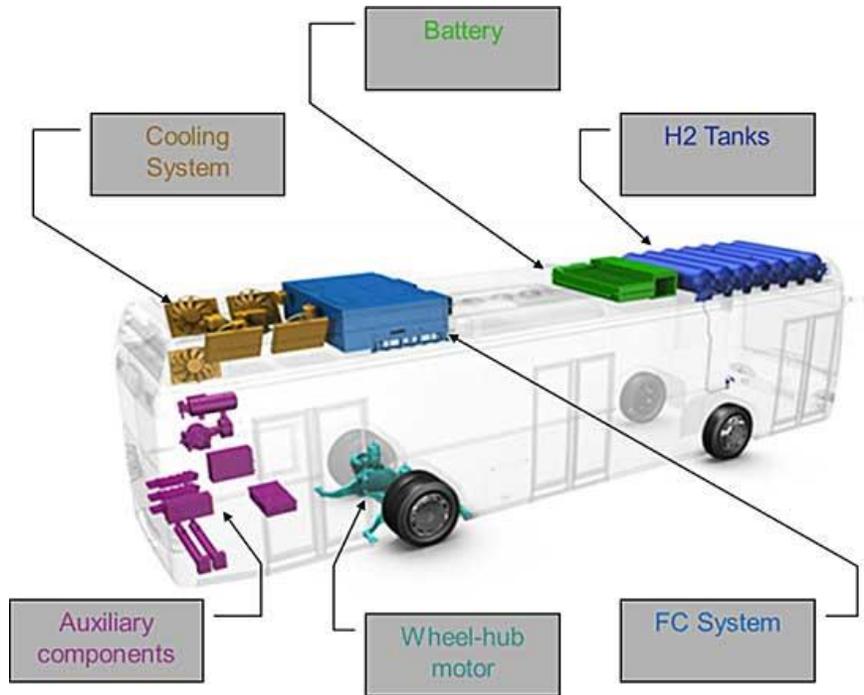
- Los BEV y FCEV son **ambos vehículos eléctricos**, tiene un tren motriz eléctrico
- Difieren en la forma de almacenamiento de la energía a bordo del vehículo: baterías e hidrógeno
- **Baterías:** Mejor opción para vehículos livianos / corta distancia (urbanos)
 - Eficiencia red – rueda ~ 70%
 - Red de distribución eléctrica existente
 - Puntos de recarga relativamente simples
- **Hidrógeno:** Mejor opción para vehículos pesados / larga distancia, y alta penetración de vehículos livianos
 - Eficiencia red – rueda ~ 30%
 - Pesos y tiempos de carga análogos a vehículos pesados diesel
 - Trayectoria decreciente de costos producción, compresión, almacenamiento y dispensado
 - Trayectoria decreciente de costo de celdas de combustible, tanques y vehículos
 - Infraestructura para FCEV es más económica que para BEV. Cfr: Comparative Analysis of Infrastructures: Electric Charging and Hydrogen Fueling <https://www.fz-juelich.de/iek/iek-3/EN/Forschung/Process-and-System-Analysis/News/InfrastructureAnalysis/article.html>

Hidrógeno para transporte: cómo funciona

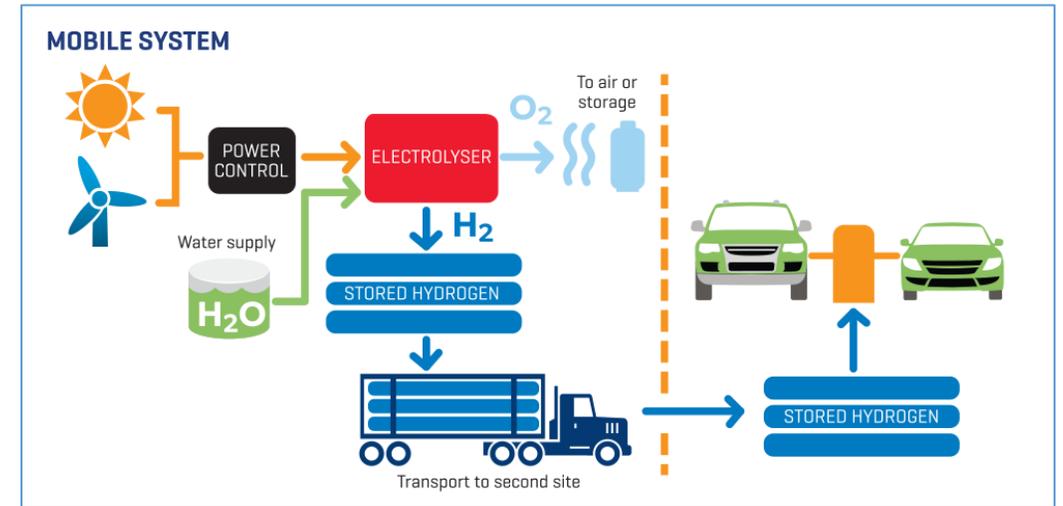


<https://biocat-project.com/news/power-to-gas-technology-provides-new-market-opportunities-for-manufacturers-of-electrolysers/>

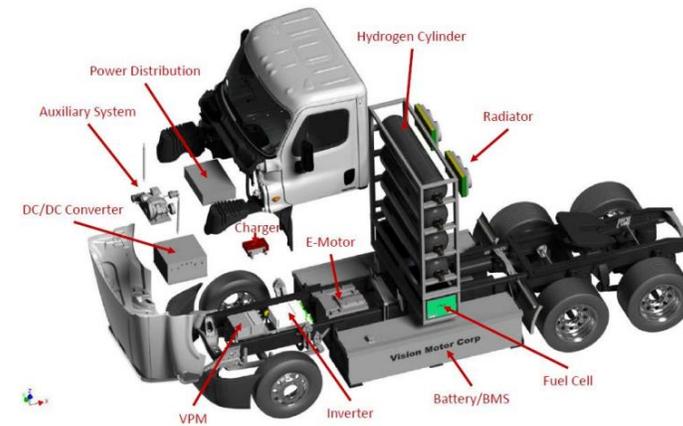
<https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjUjzmerkAhW41bkGHcaOD7EQjhv6BAGBEAI&url=https://www.fair.com%2Fh117%2Fimages%2Fforum%2F2017-04-24-1220.pdf&psig=AOVaw3e8Wh6s18Wubva6BfcpW&ust=1569440041904535>



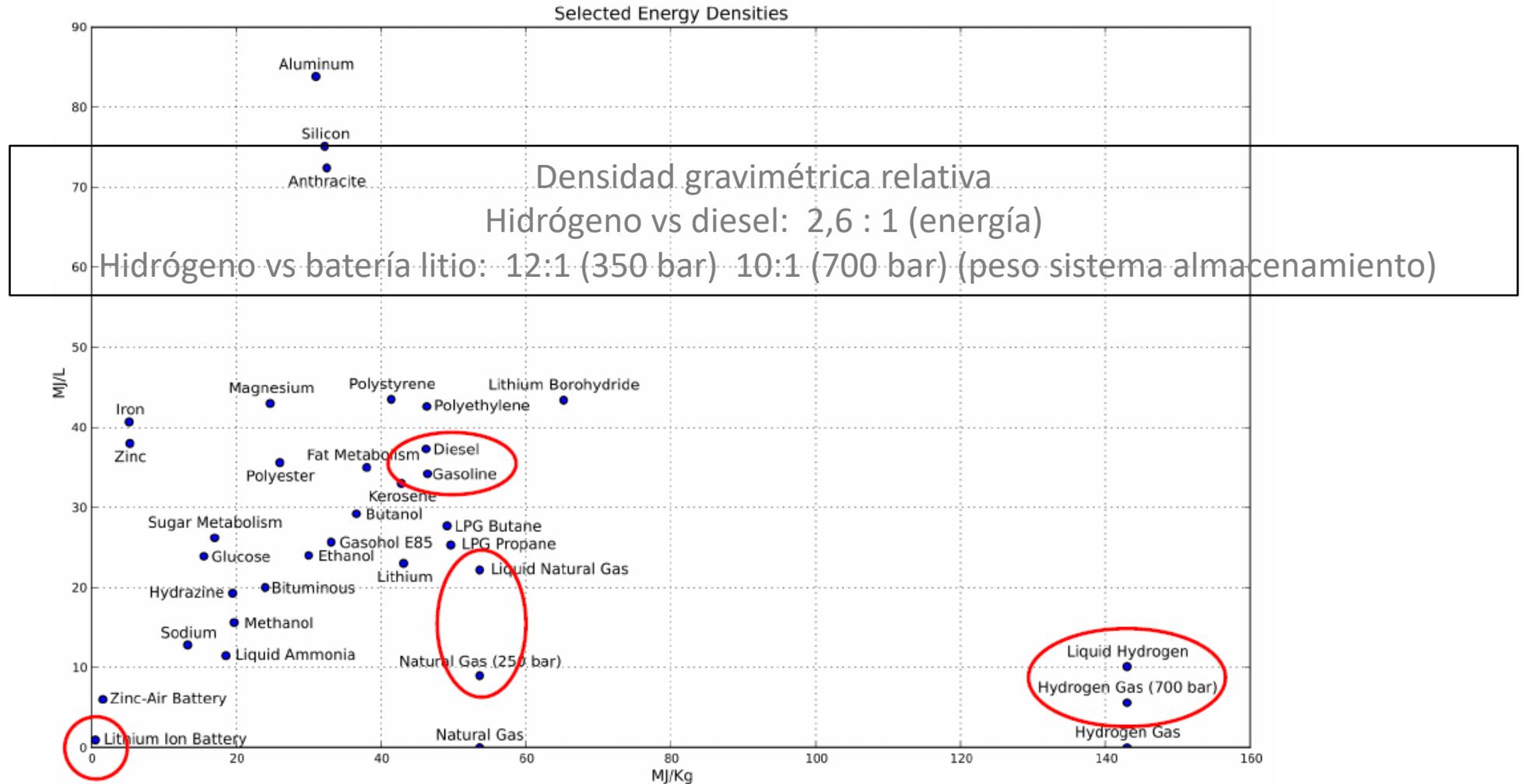
<https://www.fuelcellbuses.eu/wiki/concept-fuel-cell-buses/1213-meter-buses-fuel-cell-buses>



<http://www.antsolutions.com.au/our-solutions/hydrogen-for-mobility/>

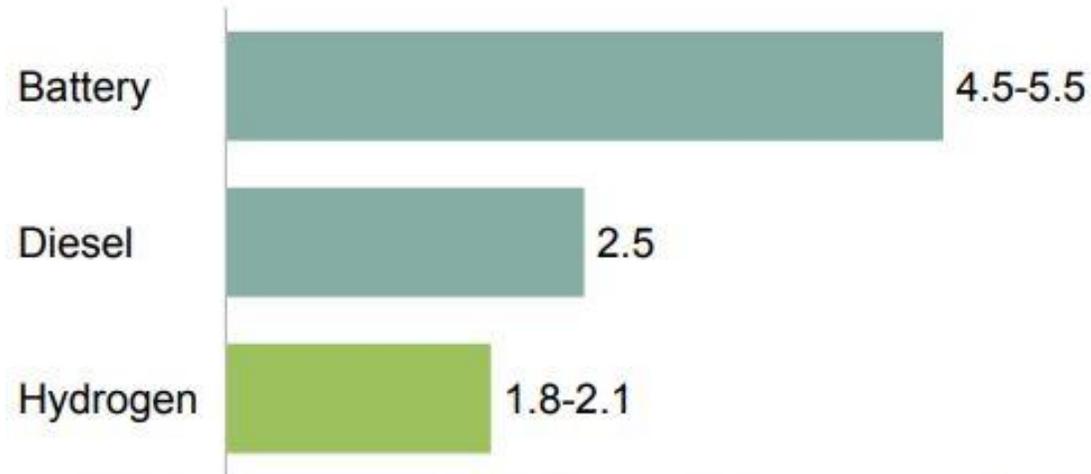


https://ww3.arb.ca.gov/msprog/tech/techreport/fc_tech_report.pdf



Hydrogen as an energy vector for long-haul trucks requires less weight for the powertrain

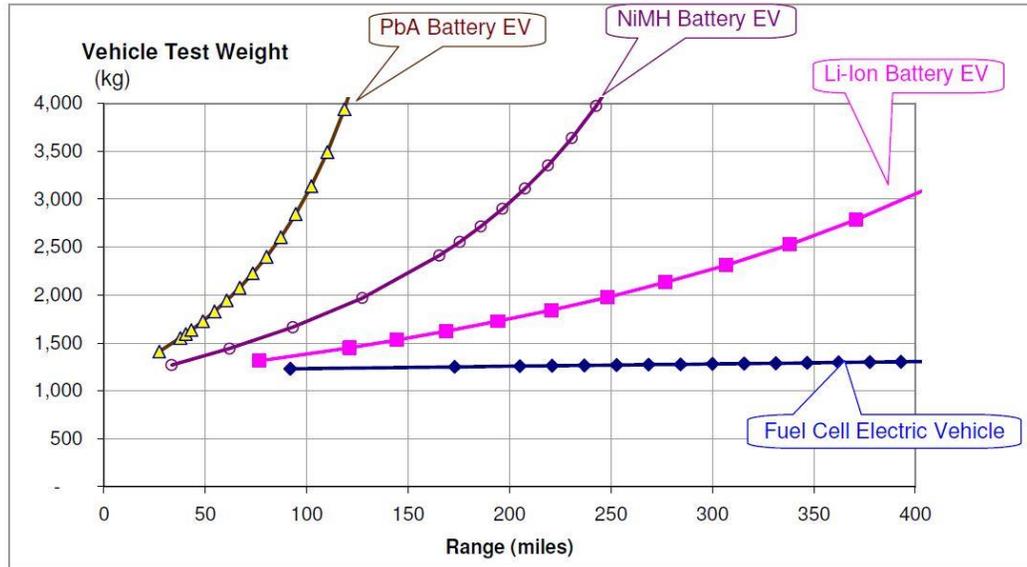
Powertrain weight comparison, in tons (18-ton tractor unit of a semitruck)



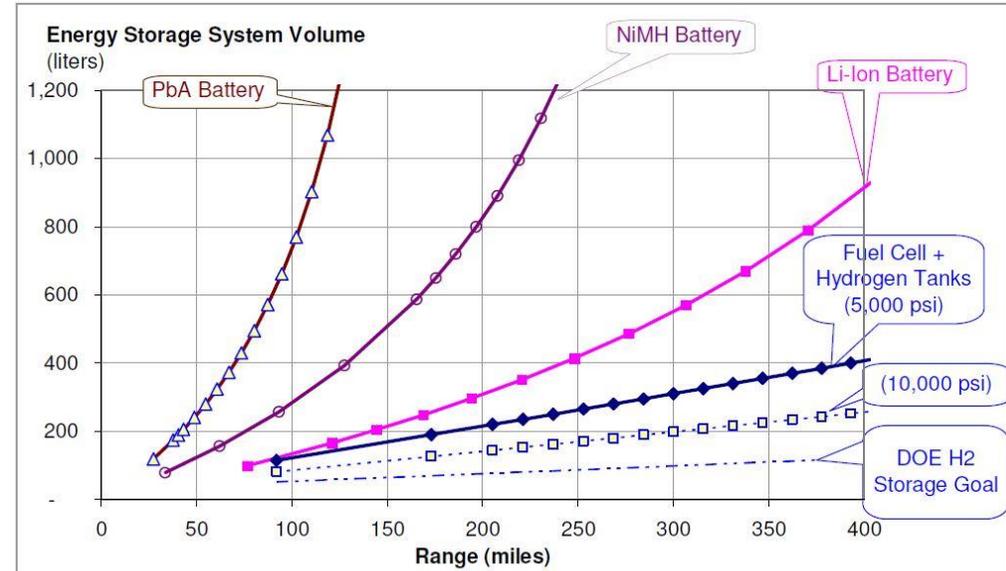
Hydrogen tanks have **10 times** the energy density (by weight) than batteries¹

¹ 0.2 kWh/ kilogram for rechargeable batteries used in battery electric vehicles (BEV) compared to 2.2 kWh/kilogram for onboard hydrogen storage for light-duty fuel cell vehicles (FCEV); Source: U.S. DOE Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, MCFM

SOURCE: DOE; Nikola Motors; Bloomberg; Manager Magazin; Sustainable Transportation Lab



BPEV.XLS: 'Compound' AF142 3/25 /2009



DOE Storage Goal: 2.3 kWh/Liter

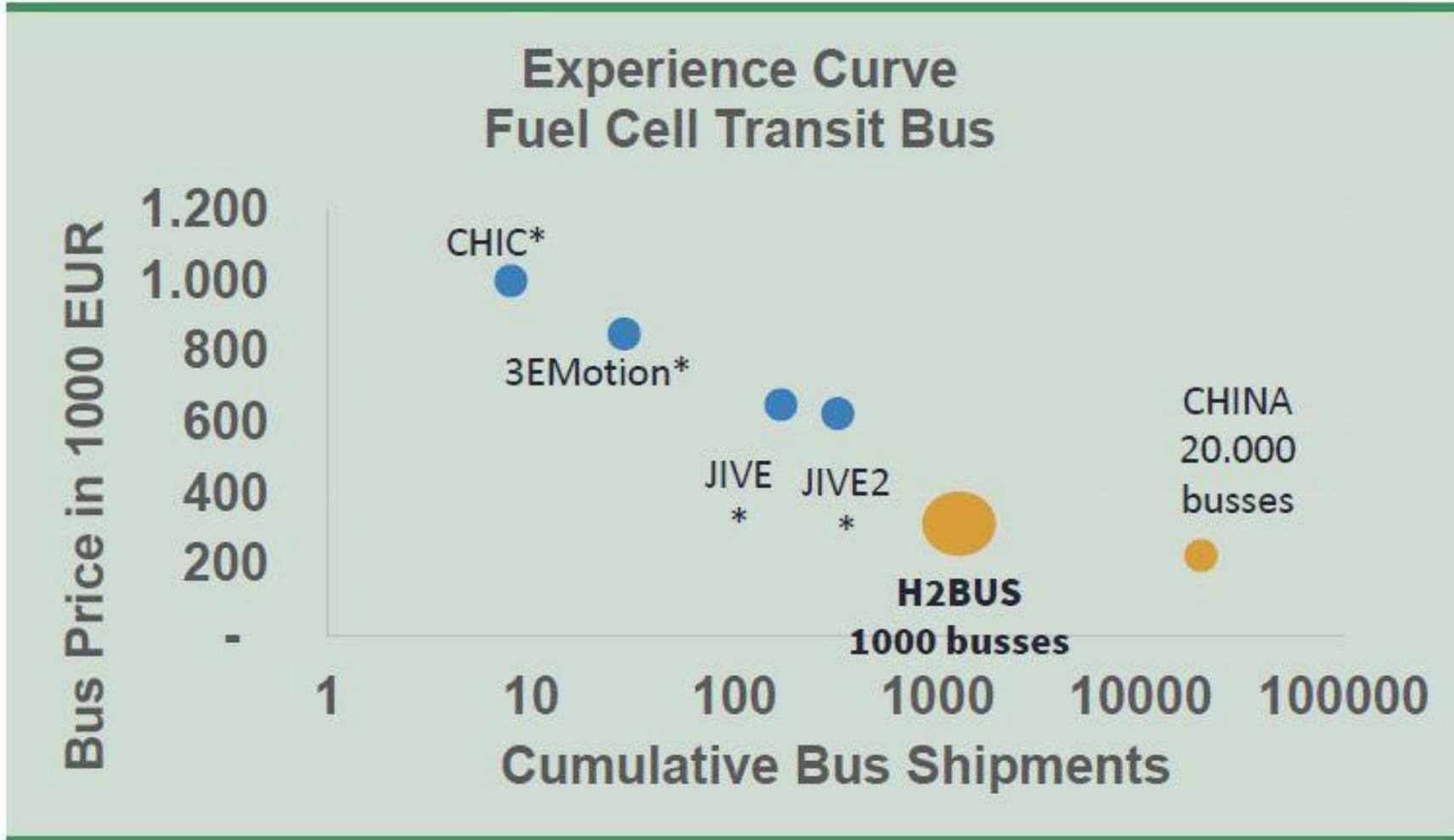
BPEV.XLS: 'Compound' AF114 3/25 /2009

Figure 4. Calculated weight of fuel cell electric vehicles and battery electric vehicles as a function of the vehicle range

Figure 6. Calculated volume of hydrogen storage plus the fuel cell system compared to the space required for batteries as a function of vehicle range

https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f9/thomas_fcev_vs_battery_evs.pdf

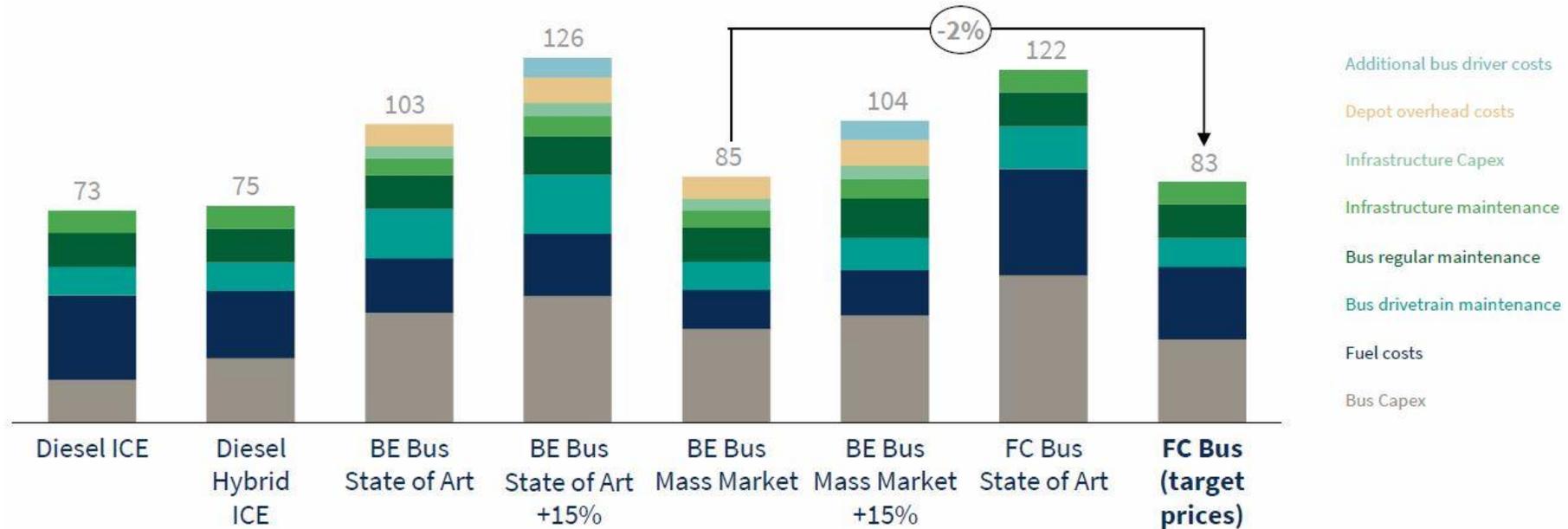
No es lineal: mas batería -> más peso -> más estructura -> más peso -> más motor -> más peso



H2Bus - Affordable Truly Zero-Emission Buses Sep 2019

Under the cost reductions targeted in this project, the fuel cell bus will be the most cost effective zero emission bus

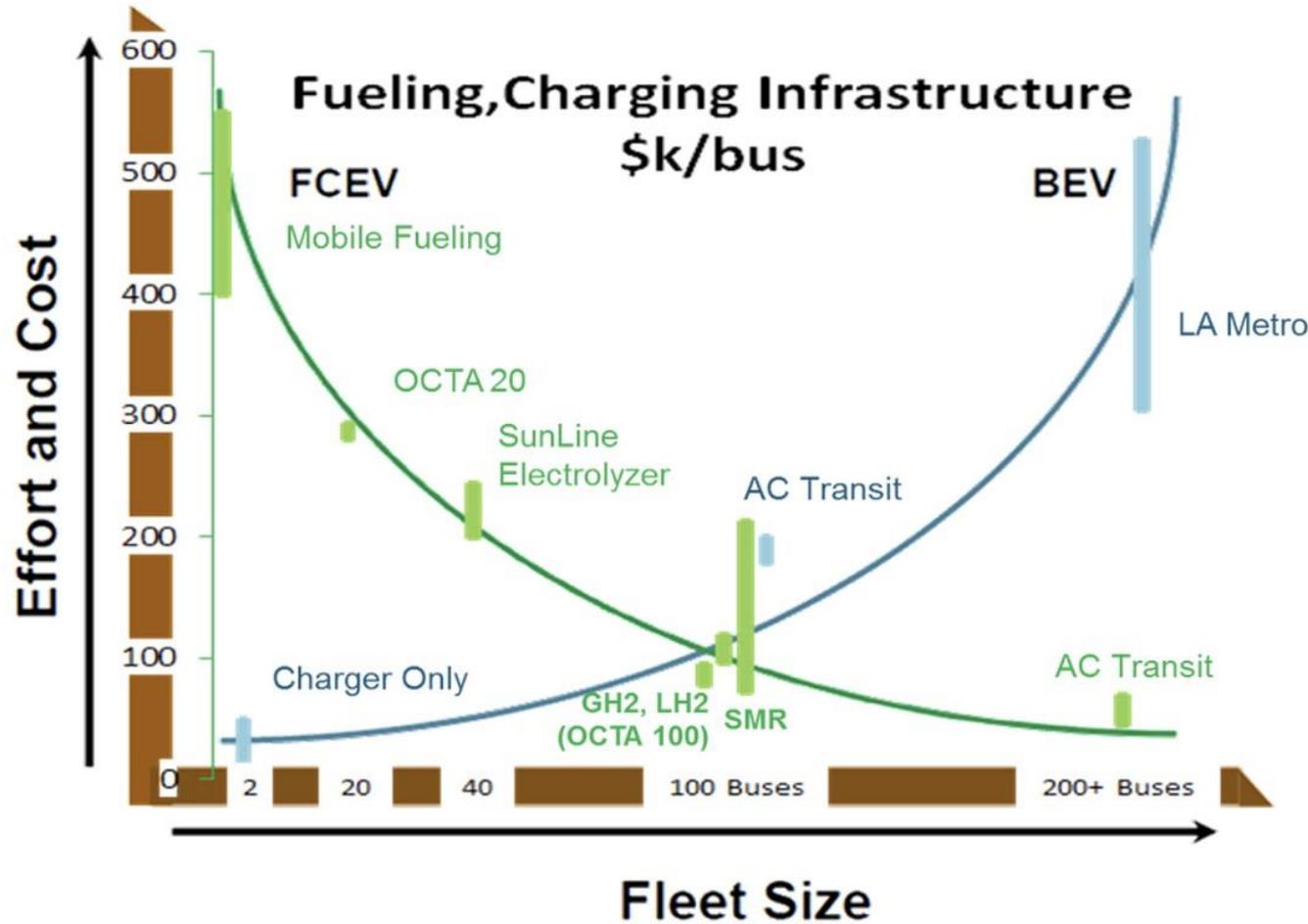
Single-deck urban bus annuitised total cost of ownership '000€/bus/year



For the BE market, additional buses have been accounted for in some scenarios to cover existing routes



BEV y FCEV buses - Infraestructura de recarga



Based on data from publicly released reports on scaling up infrastructure

<https://blog.ballard.com/zeb-conference-2019>

- Camión carretero 42 toneladas autonomía 1000 km
 - A batería: 1600 kWh ~ 10 ton, 260.000 USD
 - **A celda combustible: 80 kg hidrógeno + tanques (1200 kg) + fuel cell (400 kg) ~ 1,7 ton (6 toneladas menos)**
- Bus urbano autonomía 500 km
 - A batería: 800 kWh ~ 5 ton, 130.000 USD
 - **A celda combustible: 40 kg hidrógeno + tanques (600 kg) + fuel cell (400 kg) ~ 1 ton (4 toneladas menos)**

Supuestos:

Consumo camión carretero / bus urbano en eje ~ 1,4 kWh/km (40 l gasoil/100 km)

Paquete baterías automotriz ~ 0,160 kWh/kg (NMC Cell-to-Pack) - 160 USD/kWh

Paquete tanque hidrógeno automotriz 350 bar ~ 2,3 kWh/kg

- Tiempos de carga batería
 - Camión carretero 1000 km ~ 1400 kWh @ 150 kW ~ 9 horas
 - Bus urbano 500 km ~ 700 kWh @ 150 kW ~ 4,6 horas
- **Tiempo de carga hidrógeno**
 - **Camión carretero / bus urbano hidrógeno ~ 20 minutos**
 - Camión carretero 1400 kWh en 20 minutos => 4,2 MW => 2800 A @ 1500 V
 - Bus urbano 700 kWh en 20 minutos => 2,1 MW => 1400 A @ 1500 V
- Performance baterías
 - Buses larga distancia / camiones carreteros hacen importante kilometraje => frecuentes cargas rápidas => **degradación de performance de las baterías**
- Otros temas de baterías: **disposición final, reciclaje**, concentración de productores de materias primas y de fabricantes de baterías, competencia con demanda de baterías para almacenamiento eléctrico a nivel red (grid storage)

Estados Unidos

- Desde 1998
- 32 buses en uso, 22 planeados, principalmente en California

Europa

- Desde 2010
- Proyecto CHIC – 56 buses e infraestructura en 8 ciudades entre 2010 y 2016
- Proyecto JIVE y JIVE2 – 300 buses e infraestructura en 22 ciudades entre 2017 y 2024
- Proyecto H2Bus - 1000 buses e infraestructura para 2020 <https://www.h2bus.eu/>
- Información general <https://www.fuelcellbuses.eu/>

Japón

- Desde 2003
- 18 en varias ciudades, 100 buses y 35 estaciones para Olimpiadas Tokio 2020

Corea

- Desde 2018
- 30 buses en uso, 1000 planeados para 2020

China

- Desde 2008 (Olimpiadas de Beijing) UNDP-GEF-MOST Project: 60 buses
- Demostración en 5 ciudades: Beijing, Shanghai, Zhengzhou, Foshan, Yancheng
- Foshan, 1000 para 2020



TOYOTA Global Network

HOME CORPORATE TOYOTA LEXUS IMAGES & VIDEOS

Nov 25, 2018

Toyota to supply its hydrogen technology to CaetanoBus SA (Portugal) Europe

DOWNLOADS (IMAGES)



Check: www.fuelcellbuses.eu

CaetanoBus SA launches first hydrogen bus with Toyota fuel cell technology

<https://newsroom.toyota.eu/caetanobus-sa-launches-first-hydrogen-bus-with-toyota-fuel-cell-technology/>

Toyota FC bus "Sora" (1)

<https://www.youtube.com/watch?v=94vAFQmw6zw>

Toyota FC bus "Sora" (2)

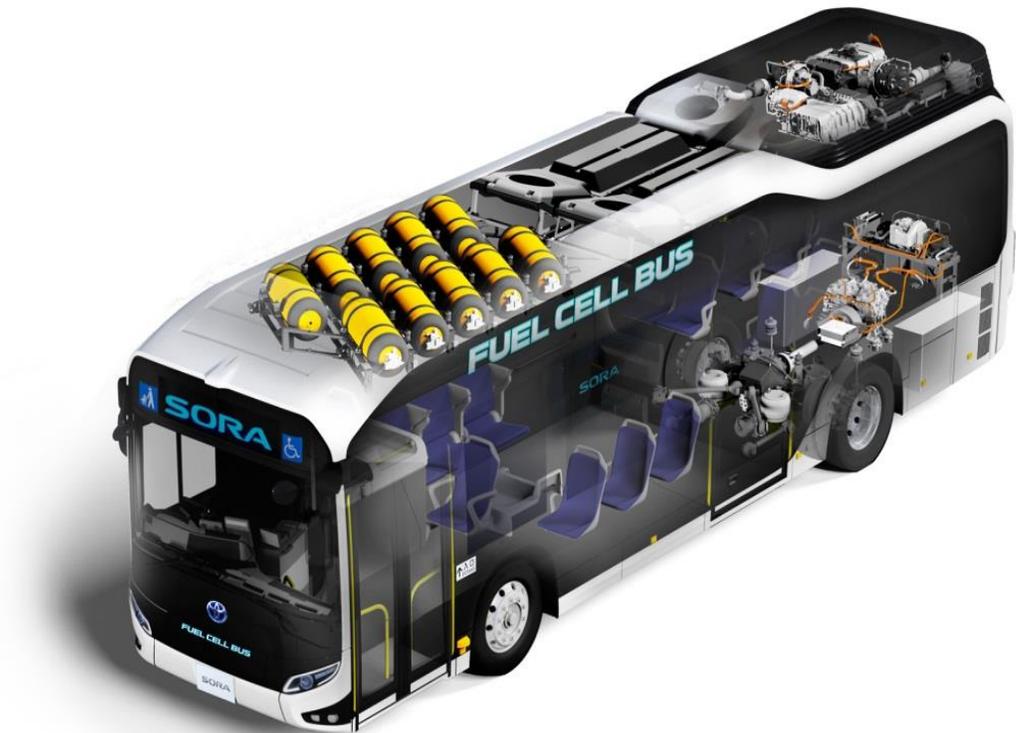
<https://www.youtube.com/watch?v=dqlaK5U-VFg>

Toyota FC bus "Sora" (3)

<https://www.youtube.com/watch?v=It38ojGwmjE>

FC bus production line

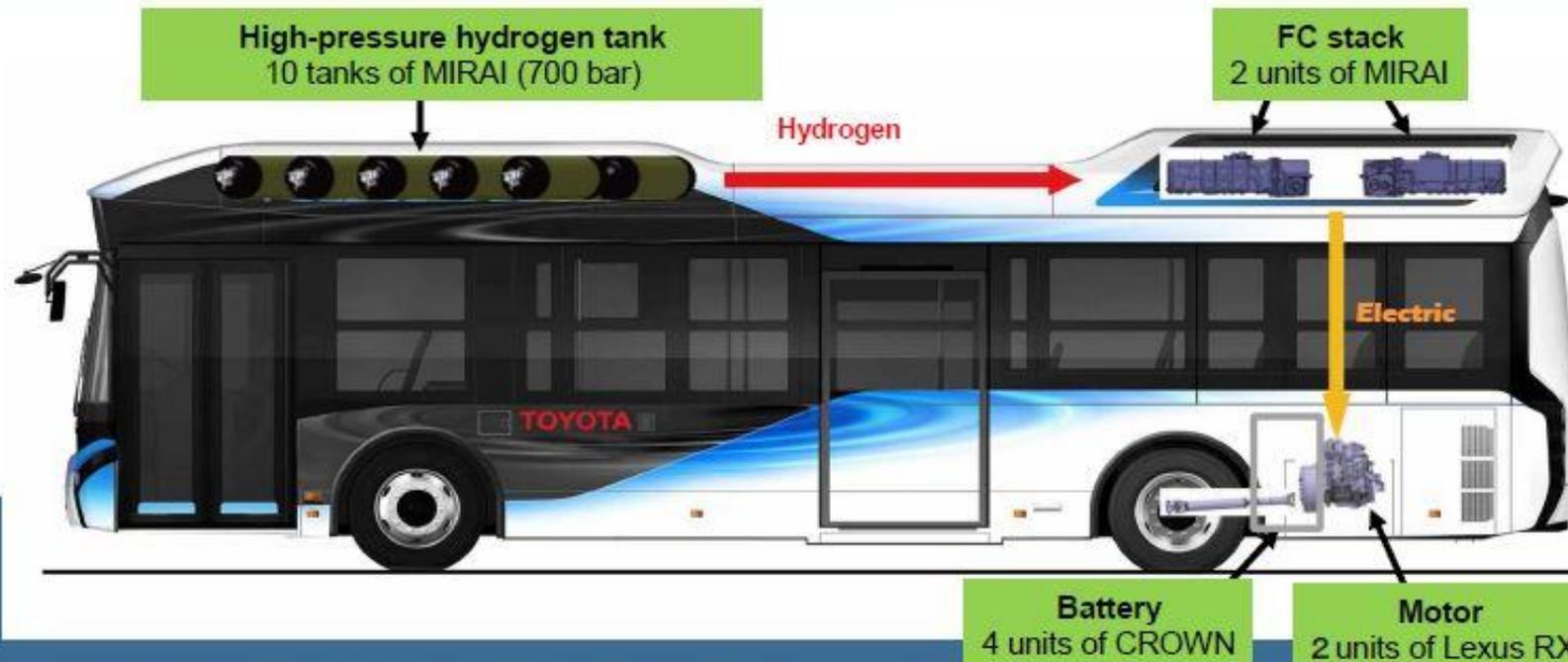
<https://www.youtube.com/watch?v=HDoEbIKCvUA>



<https://www.autodevot.com/2019/08/toyota-sora-fuel-cell-bus-gets-more-safety-tech/>

Toyota FC Bus Introduction

To start from February 2017 for Tokyo, with a minimum 100 units by 2020 for Tokyo Olympics/Paralympics



The FC bus was developed using a unit of MIRAI.
Cruising range is approximately 200km

Toyota

<https://fuelcellsworks.com/news/the-future-of-zero-emission-trucking-takes-another-leap-forward-with-unveiling-of-toyota-hydrogen-fuel-cell-electric-heavy-duty-truck/>

Hyundai

- 1.600 camiones para Hyundai Hydrogen Mobility Suiza (Hyundai and H2 Energy JV)

<https://www.electrive.com/2019/04/15/hyundai-h2e-1600-fuel-cell-trucks-for-european-market/>

Nikola

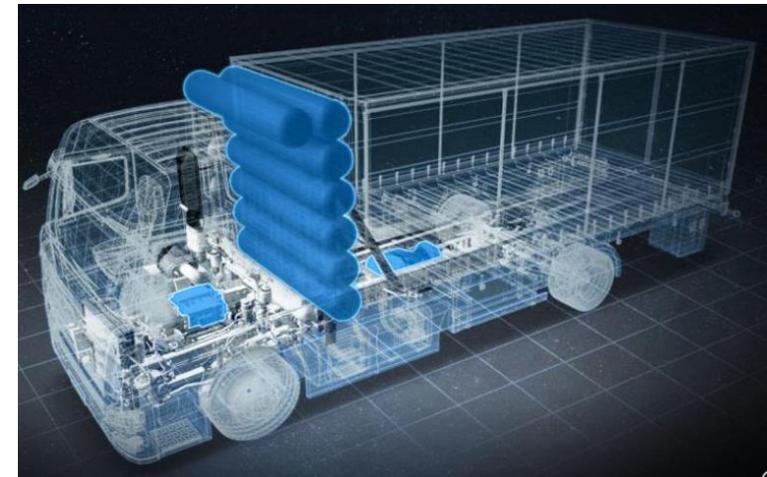
- Más de 13.000 pre-órdenes desde su anuncio en 2016
- 800 camiones para Anheuser-Busch
- Red de estaciones en desarrollo en conjunto con Nel, 50 para fin de 2020

<https://www.overdriveonline.com/anheuser-busch-orders-800-nikola-hydrogen-electric-tractors/>

Consorcio H2Energy – Hyundai – Hydrospider
Camión FC peso bruto 18 ton, con trailer 34 ton
50 unidades para 2020
1000 unidades para 2025



- 190 kW fuel cell system (2 * 95 from Nexo car)
- 350 kW electric motor
- 33 kg hydrogen @350 bar
- ~400 km range
- Refuelling time ~7 minutes



Nikola Motor Company

- Five year old company based in Phoenix, Arizona
- Leasing of long haul trucks including hydrogen for up to 16,000,000 km, maintenance, tires and more (or purchase)
- Nikola will establish 700 hydrogen stations in the USA
- Three truck types for long haul:
 - Electric machines up to ~750 kW
 - Range up to 800 – 1,600 (Tre: 1,200) km
 - Batteries 240 – 320 kWh
 - Hydrogen @700 bar
 - Fuel cell power in first truck demonstrated in April 2019 approximately 200 kW
- Announced in February 2019; also BEV versions of Two and Tre for short haul with batteries 500 kWh, 750 kWh or 1,000 kWh

ONE



TWO



TRE



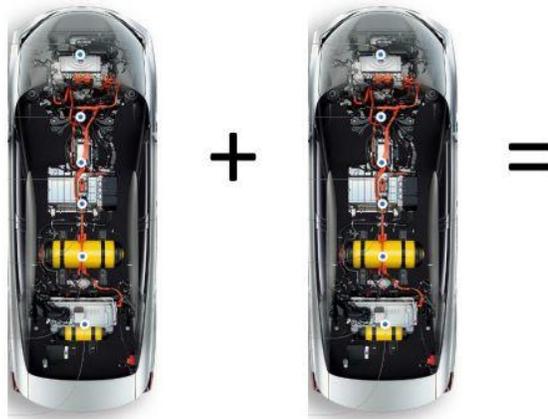
Toyota Project Portal – Port of Los Angeles

Toyota Doubles-Down on Zero Emissions Heavy-Duty Trucks

<https://global.toyota/en/newsroom/corporate/23722307.html>



- Leverage Mirai components from 2 vehicles
- Benchmark current class 8 truck performance



Specifications

- Class 8 truck chassis
- 2 Mirai fuel cell stacks
- 12 kWh of batteries
- 700 bar storage

Performance

- 670 horsepower
- 1375 lb-ft of torque
- 80,000 lbs GVWR
- 200+ miles of range

1. El Hidrógeno en la Transición Energética
2. Panorama Energético de Uruguay
3. Demanda en Uruguay
4. Proyecto Piloto
5. Localización
6. Tecnología
- 7. Ejemplos de Plantas de Producción y HRS**
8. Seguridad y Normativa
9. Para Conocer Más



Ejemplos de Plantas de Producción y HRS



Costa Rica – Ad Astra

Configuración actual

5 kW EÓLICO

2,4 kg H₂/DÍA ELECTRÓLISIS PEM
COMPRESIÓN 450 BAR
38 KG H₂ ALMACENAMIENTO

78 kW SOLAR

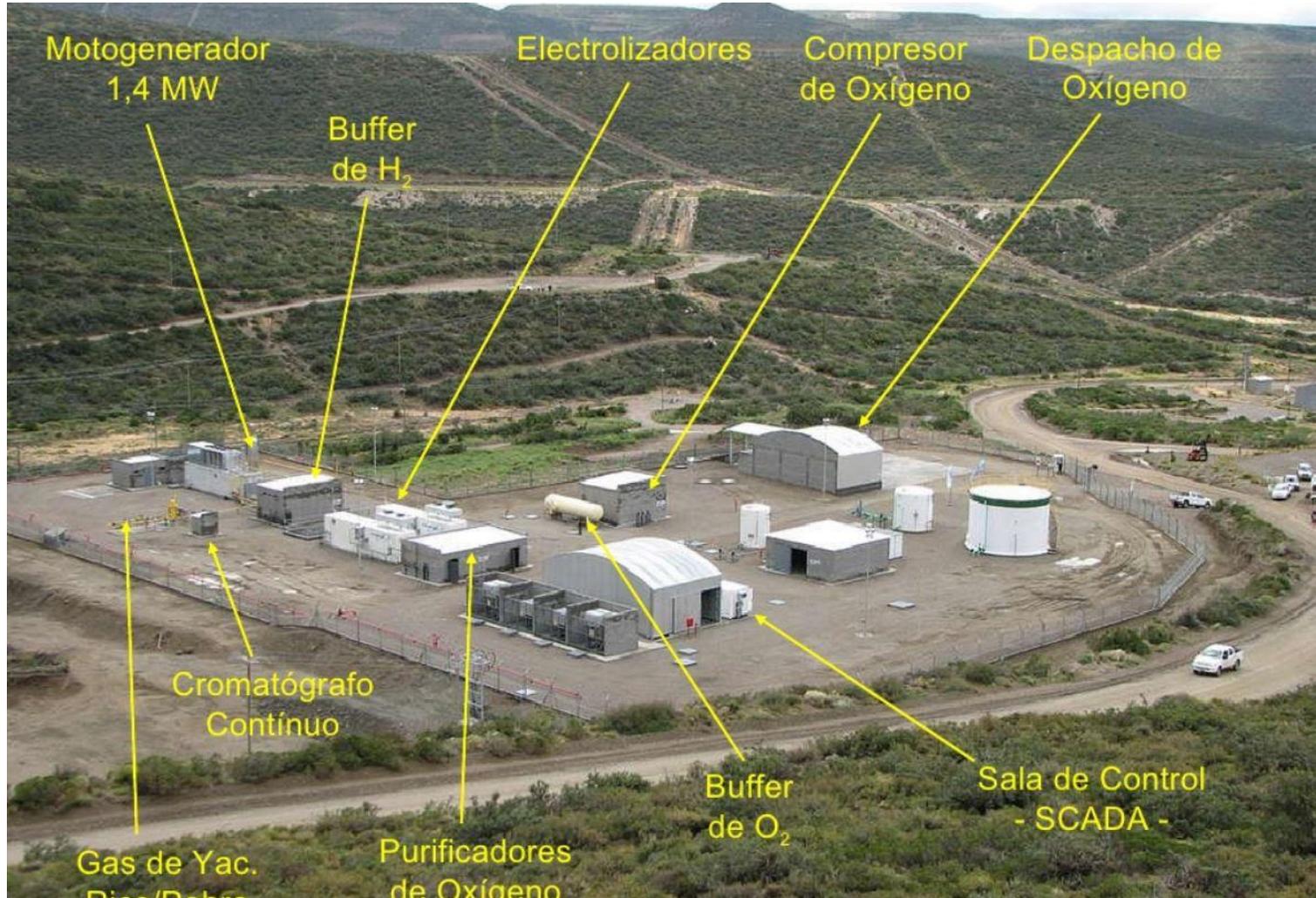
VAN HOOL A330FC "N'YU'TI"
38 KG H₂ @ 350 BAR
RANGO EST. 350 KM



<https://slideplayer.es/slide/17404307/>

<https://observador.cr/noticia/estacion-de-hidrogeno-verde-en-guanacaste-aumentara-capacidad-de-carga/>

Argentina - Hychico

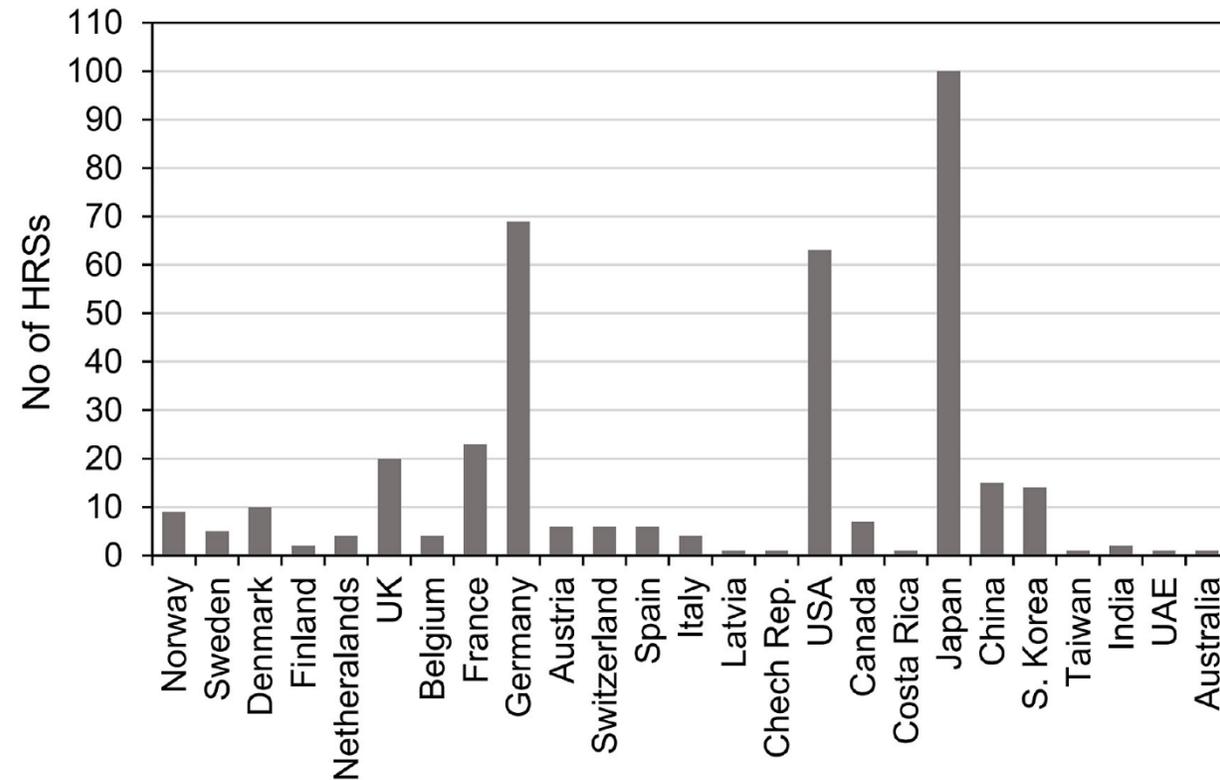


<https://es.slideshare.net/CRConocimiento/jorge-llera>

HRS (Hydrogen Refueling Station) en el mundo



<https://www.netinform.de/H2/H2Stations/H2Stations.aspx>



Número de HRS al final de 2018. Tomado de D. Apostolou and G. Xydís, 2019.

HRS (Hydrogen Refueling Station)



Flota de taxis en París



1. El Hidrógeno en la Transición Energética
2. Panorama Energético de Uruguay
3. Demanda en Uruguay
4. Proyecto Piloto
5. Localización
6. Tecnología
7. Ejemplos de Plantas de Producción y HRS
- 8. Seguridad y Normativa**
9. Para Conocer Más



Seguridad y Normativa

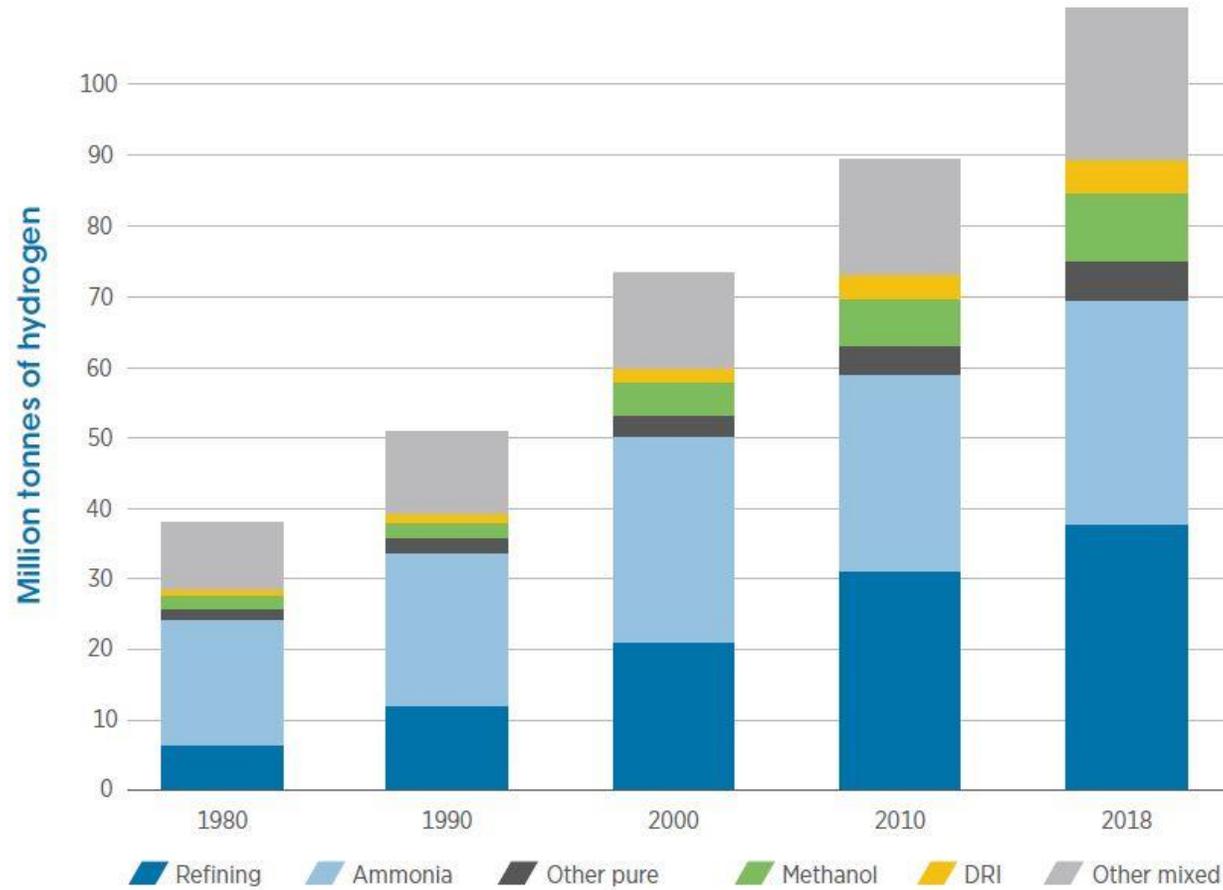


Particularidades del hidrógeno

- Hace más de 80 años se producen, transportan y utilizan grandes cantidades de hidrógeno de forma segura (aprox. 75 millones de toneladas por año) para:
 - Producción de materias primas (amoníaco para fertilizantes) y metanol
 - Procesos de hidrotratamiento en refinerías
 - Reducción directa de hierro (DRI)
 - Gas industrial (tratamientos metalúrgicos, producción de vidrio, etc.)
- El conocimiento de las propiedades del hidrógeno es fundamental para su manejo seguro.
- Aplicado ese conocimiento, **el hidrógeno es un energético seguro** (en ciertos aspectos incluso más seguro que los combustibles líquidos)

Particularidades del hidrógeno

Global annual demand for hydrogen since 1980



Source: IEA, 2019



Particularidades del hidrógeno

	Hidrógeno	Gas Natural	Propano	Vapor de Gasolina	Comentario
Densidad relativa respecto al aire	0,07	0,55	1,52	4	El hidrógeno es 14 veces más ligero que el aire
Temperatura de auto ignición	1.085°C	1.003°C	914°C	450°C	El hidrógeno y el gas natural tienen temperaturas de auto ignición similares y es 2 veces más alto que el vapor de la gasolina
Rango de inflamabilidad	4%-75%	5%-15%	2,1%-10.1%	1.4%-7.6%	El rango de inflamabilidad del hidrógeno es muy amplio, especialmente cuando el ratio hidrógeno-aire es 29%
Energía mínima de ignición	0,02 mJ	0,29 mJ	0,26 mJ	0,24 mJ	En condiciones óptimas de combustión, el hidrógeno puede encenderse con mínima energía (ej. una pequeña chispa)

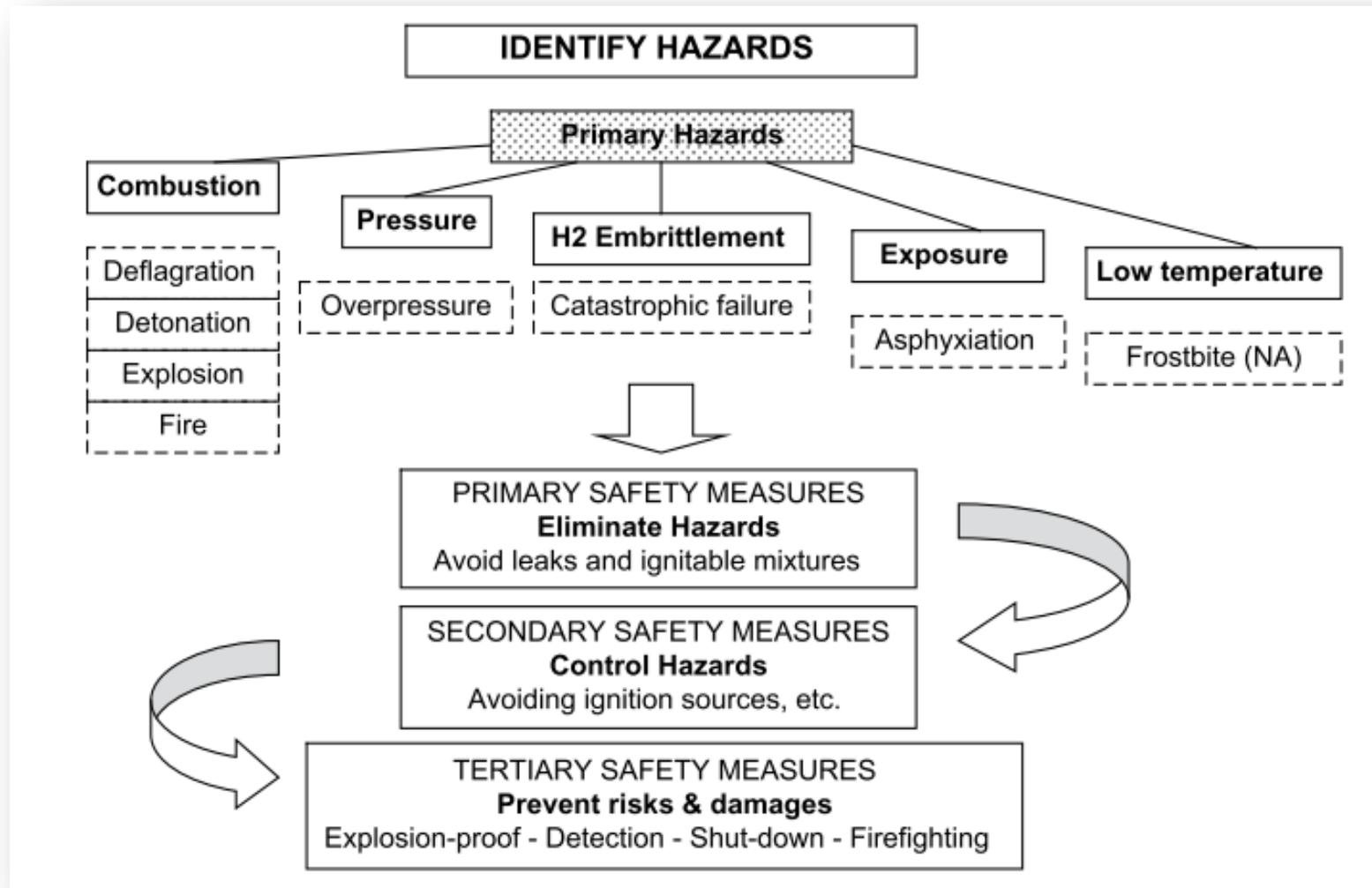
Tabla 9: Comparación de parámetros relevantes para la seguridad, fuente: "h2tools.org"

Particularidades del hidrógeno

Característica	Peligro potencial	Medidas de control
Incoloro, inodoro, insípido	Imposible de detectar por un humano	Sensores de detección
Baja viscosidad, átomo muy pequeño (puede ser absorbido en materiales)	Fugas, debilitamiento de ciertos materiales que podrían resultar en fallas estructurales	Sistemas de detección de fugas, ventilación y selección adecuada de materiales
Baja densidad energética volumétrica	Almacenamiento a altas presiones	Diseño adecuado de contenedores de almacenamiento, dispositivos de alivio de presión
No respirable (sin oxígeno)	Peligro por acumulación en espacios confinados (como cualquier gas que no tiene oxígeno)	Sistemas de detección de fugas, ventilación
Amplio rango de inflamabilidad	Se puede encender en un amplio rango de concentración, por lo tanto las fugas de cualquier magnitud son de cuidado	Sistemas de detección de fugas, ventilación
Energía mínima de ignición muy baja	Una pequeña chispa lo puede encender	Ventilación, tomas de tierra, sistemas de eliminación de posibles fuentes de ignición
Baja temperatura de licuefacción	Quemaduras criogénicas y daño pulmonar	Sistemas de detección de fugas, equipos de protección personal
Rápido cambio de fase de líquido a gas	Explosiones de presión	Dispositivos de alivio de presión, sistemas de detección de fugas

Tabla 10: Características, riesgos y control relacionado al hidrógeno.

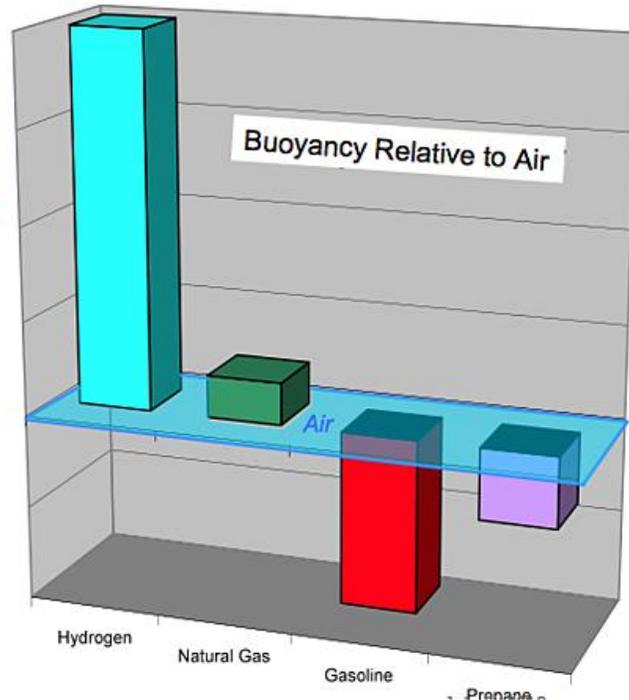
Particularidades del hidrógeno



Cuadro de análisis de seguridad (Aprea, 2008)

Particularidades del hidrógeno

Hydrogen is the lightest element known to mankind!



<https://blog.ballard.com/hydrogen-safety-myths>

- Mayor rango de inflamabilidad que otros combustibles
- Llama invisible
- No detectable por los sentidos humanos



- 14 veces más liviano que el aire (20 m/s)
- Llamas irradian baja energía
- No tóxico
- No contaminante
- 3 veces menos inflamable que el vapor de gasolina
- Temperatura de autoignición 2x vapor de gasolina
- Menos energía por unidad de volumen



Particularidades del hidrógeno

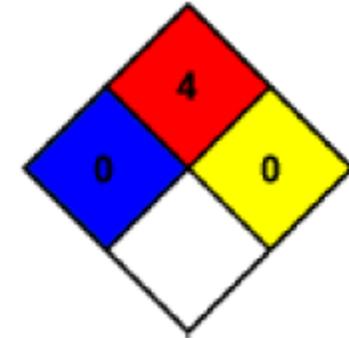
NFPA Rating

NFPA health hazard

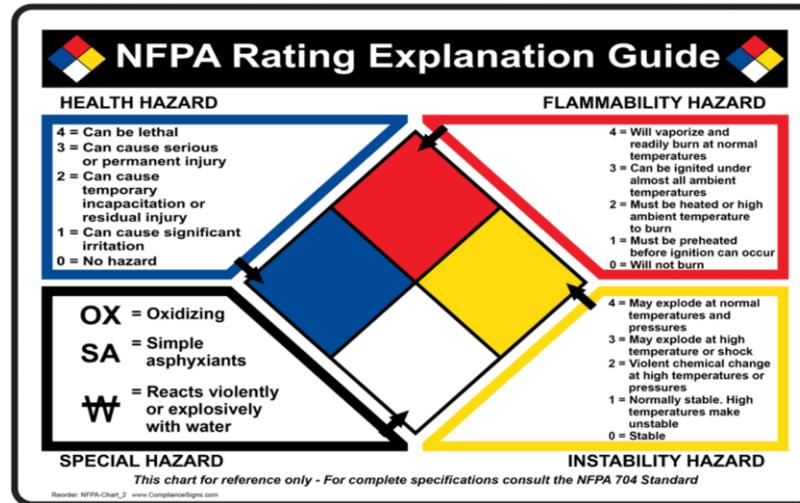
NFPA fire hazard

NFPA reactivity

- : 0 - Exposure under fire conditions would offer no hazard beyond that of ordinary combustible materials.
- : 4 - Will rapidly or completely vaporize at normal pressure and temperature, or is readily dispersed in air and will burn readily.
- : 0 - Normally stable, even under fire exposure conditions, and are not reactive with water.



<https://www.praxair.com/-/media/corporate/praxairus/documents/sds/hydrogen/hydrogen-gas-h2-safety-data-sheet-sds-p4604.pdf?la=en>



<https://myusf.usfca.edu/environmental-health-safety/nfpa-hazard-diamond>

Estándares, Códigos y Regulaciones

Existen y están bien establecidos los estándares, códigos y regulaciones relativas al almacenamiento, distribución y uso para industria.

Para la siguiente década, se espera un crecimiento del uso de hidrógeno como vector energético para mercados de consumo. En ese sentido el desarrollo de códigos y estándares son esenciales para el desarrollo de los mercados para productos y sistemas relacionados con el hidrógeno (Blake, 2007). Por otro lado, varios países no han definido todavía su marco regulatorio (Pique et al., 2017).



NFPA

NFPA 2 – Hydrogen Technologies Code:

Este código provee los resguardos fundamentales para la generación, instalación, almacenamiento, tuberías, uso y manejo de hidrógeno comprimido o líquido.



NFPA 55 – Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code:

Facilita la protección contra peligros fisiológicos, por sobrepresurización, explosivos y por flamabilidad asociados con gases comprimidos y criogénicos. Este código incorpora los ya retirados NFPA 50 A / 50 B– Standard for Gaseous / Liquefied Hydrogen Systems at Consumer Sites.

ISO

ISO TC 197 – Hydrogen Technologies

- Estándares y reportes
- Producción
- Almacenamiento
- Uso
- publicados 20
- desarrollando 7 más



ISO TC 22 – Road Vehicles

SC37 Electrically propelled road vehicles (BEV, híbridos, FCEV):

- publicados 21
- desarrollando 15 más

SC41 Specific aspects for gaseous fuels

ISO 14687-2:2012 - Hydrogen fuel -- Product specification -- Part 2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles

ISO/TR 15916:2015 - Basic considerations for the safety of hydrogen systems

ISO/TS 19880-1:2016 - Gaseous hydrogen -- Fuelling stations -- Part 1: General requirements

ISO 22734-1:2008 - Hydrogen generators using water electrolysis process -- Part 1: Industrial and commercial applications

ISO 23273:2013 - Fuel cell road vehicles -- Safety specifications -- Protection against hydrogen hazards for vehicles fuelled with compressed hydrogen

SAE



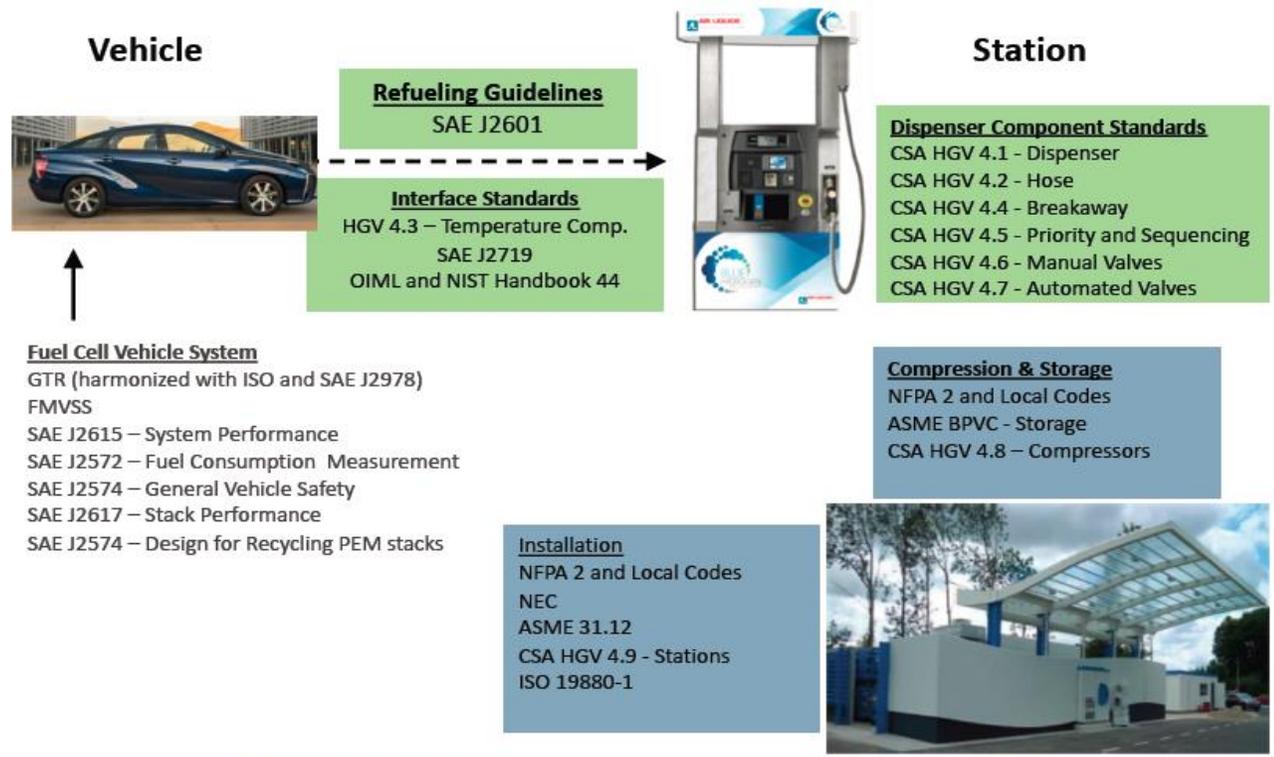
J2601/3_201306 - Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Industrial Trucks

J2601/2_201409 - Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Heavy Duty Vehicles

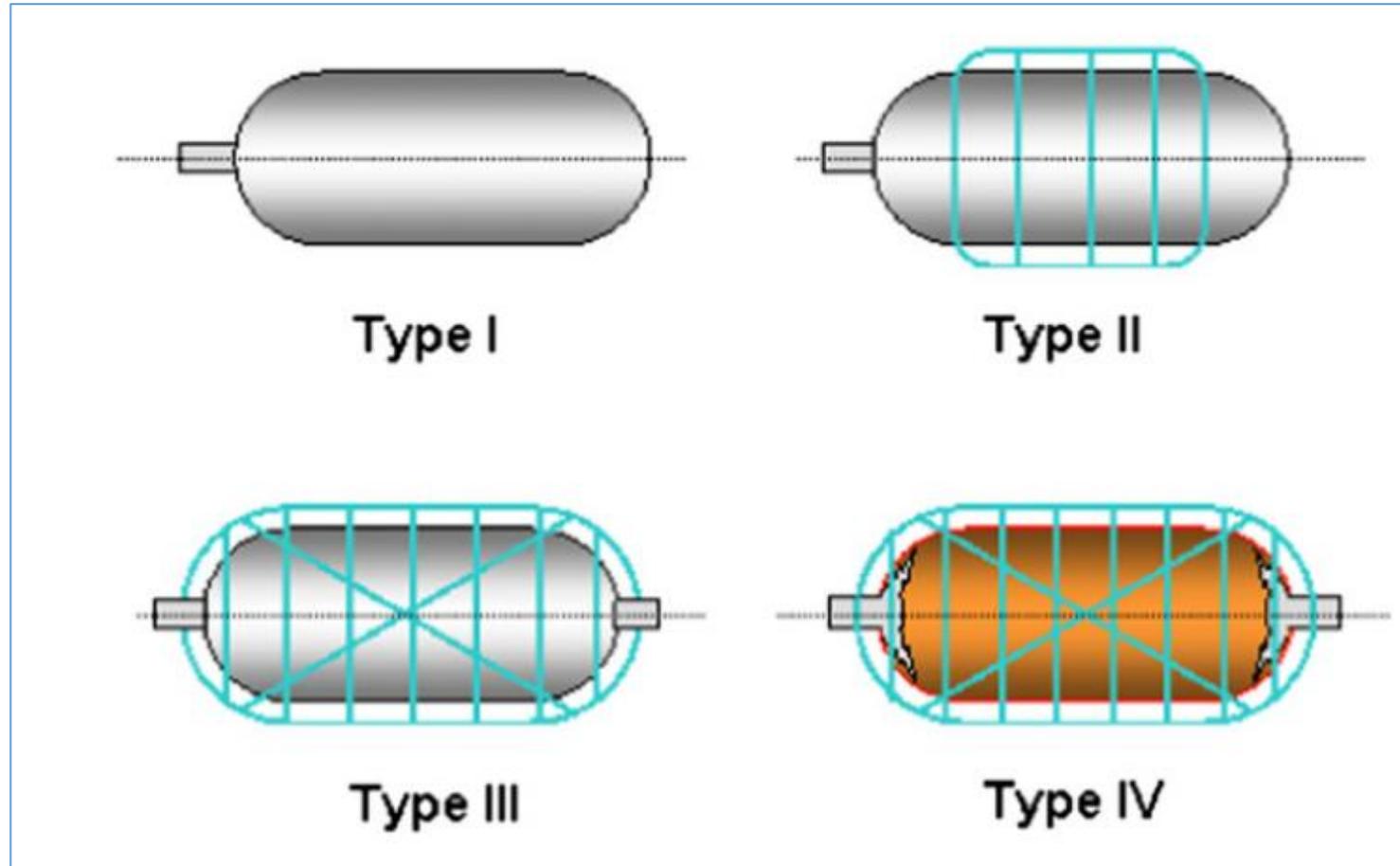
J2719_201511 - Hydrogen Fuel Quality for Fuel Cell Vehicles

Mapa

Codes and Standards Map for FCVs



Tanques para hidrógeno



H. Barthélémy, "Hydrogen storage - Industrial perspectives," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 22, pp. 17364–17372, 2012.

Tanques de hidrógeno

- Para buses, tanques en el techo
- Para camiones, detrás de la cabina
- Equipados con válvulas de seguridad y líneas de venteo (thermally-activated pressure relief device TPRD)



Wall thickness comparison: Type III 35 MPa vs. 70 MPa cylinders
(Photo courtesy of Powertech)

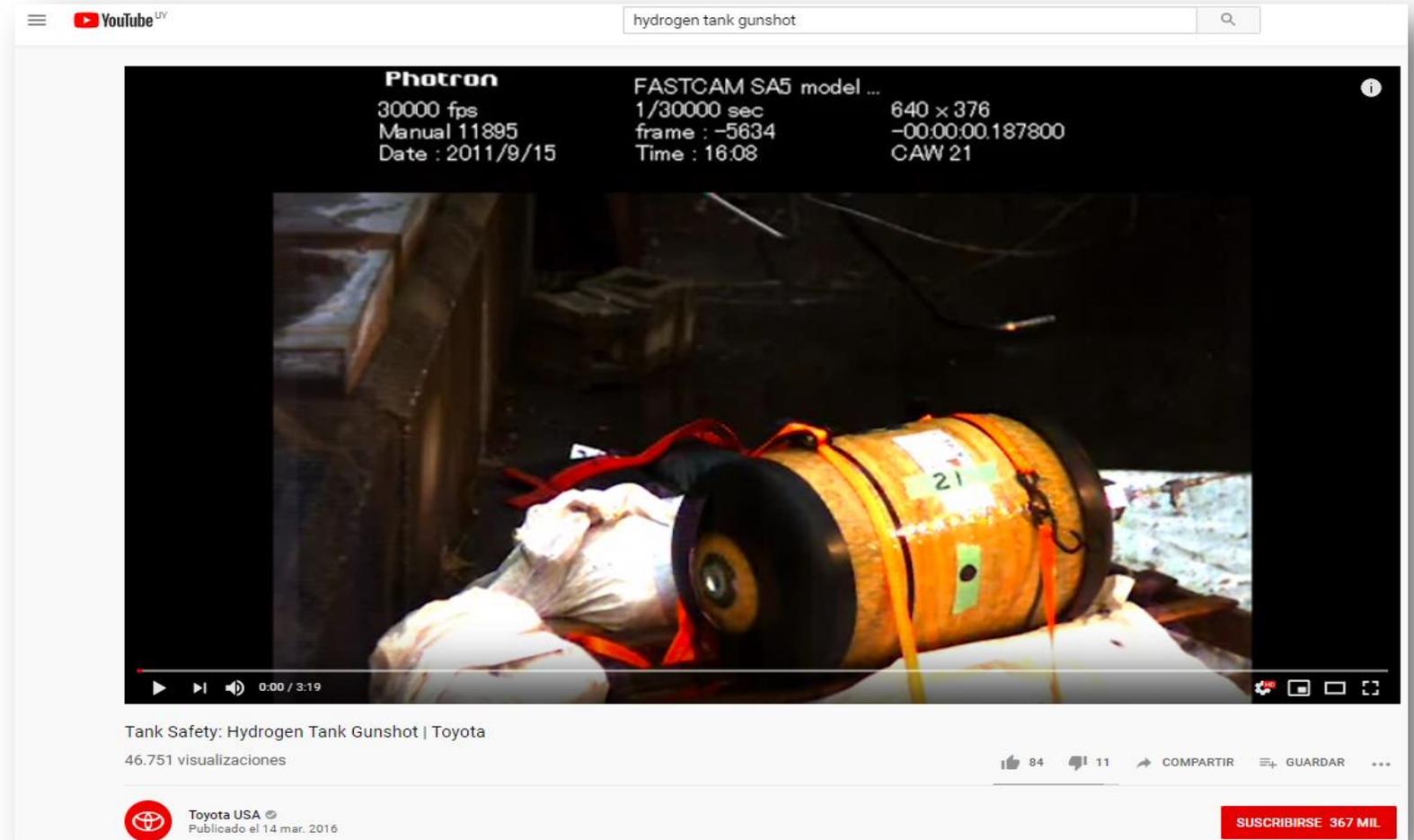


Tanques de hidrógeno – Diseño y pruebas

Tanques extremadamente robustos

Diseñados y testeados bajo estándares muy rigurosos:

- Resistencia y ciclo de vida
- Tolerancia al daño
- Ambiente
- Prueba 2.25x presión de trabajo
- Vida útil – >15 años



Tanques de hidrógeno – Diseño y pruebas

CONTROLLED SIMULATION

Hydrogen *Gasoline*

0:37 / 1:05

Hydrogen vs. Gasoline Leak and Ignition Test- which is safer?

952 visualizaciones

12 2 COMPARTIR GUARDAR ...

Hydrogen Societies
Publicado el 8 ene. 2019

SUSCRIBIRSE 99

Capacitación para servicios de primera respuesta

Educational materials: hydrogen safety basics for First Responders

The main objectives of the educational materials are to stress the specificities of hydrogen as a new energy carrier during its production, transport, delivery and use; to teach First Responders about the potential risks and hazards of hydrogen compared to traditional fuels (natural gas, petrol, propane, etc.); and to introduce First Responders to new FCH systems, infrastructures, associated risks, accident and incident scenarios and RCS.

Educational Materials	Link
Introduction to hydrogen and FC applications	Slides Notes
Hydrogen properties relevant to safety	Slides Notes
Safety of hydrogen storage	Slides Notes
Harm criteria for people and environment, damage criteria for structures and equipment	Slides Notes
Unignited hydrogen releases, their prevention and mitigation	Slides Notes
Sources of hydrogen ignition and prevention measures	Slides Notes
Hydrogen fires	Slides Notes
Dealing with hydrogen explosions	Slides Notes
Hazards of hydrogen use indoors	Slides Notes

<http://www.hyresponse.eu/training-mat-1.php>

Capacitación para servicios de primera respuesta

National Hydrogen and Fuel Cell Emergency Response Training Resource



A properly trained first responder community is critical to the successful introduction of hydrogen fuel cell applications and their transformation in how we use energy. We envision that hydrogen and fuel cell-related first responder training will be delivered locally to serve missions to protect life and preserve property, utilizing this national emergency response training resource as a consistent source of accurate information and current knowledge. These training materials are adaptable to the specific needs of first responders and training organizations and are meant to complement the extensive training programs already in place. [View the webinar and presentation slides about this resource.](#)

Download: Training Materials

<https://h2tools.org/fr/nt>

1. El Hidrógeno en la Transición Energética
2. Panorama Energético de Uruguay
3. Demanda en Uruguay
4. Proyecto Piloto
5. Localización
6. Tecnología
7. Ejemplos de Plantas de Producción y HRS
8. Seguridad y Normativa
- 9. Para Conocer Más**



Ministerio
de Industria
Energía y Minería

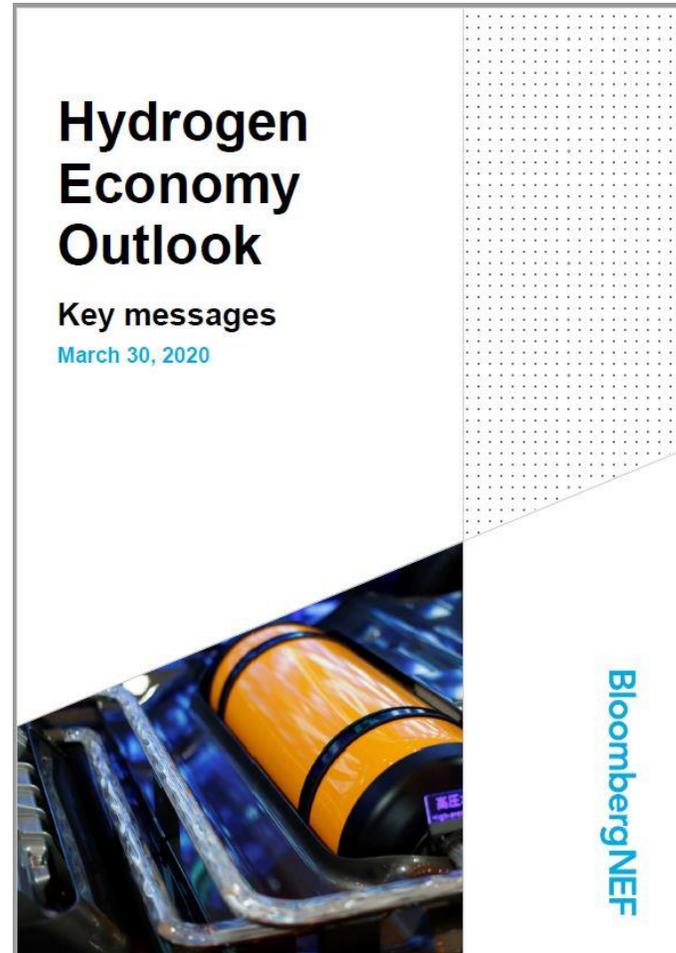
▲ ANCAP



Para Conocer Más

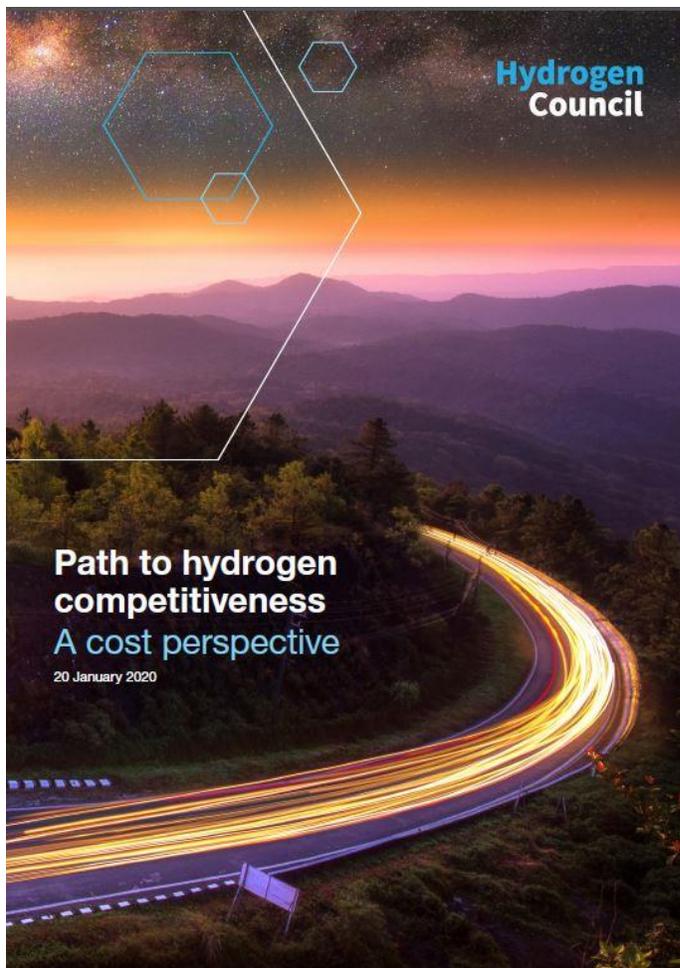


Hydrogen Economy Outlook - Key Messages – March 2020



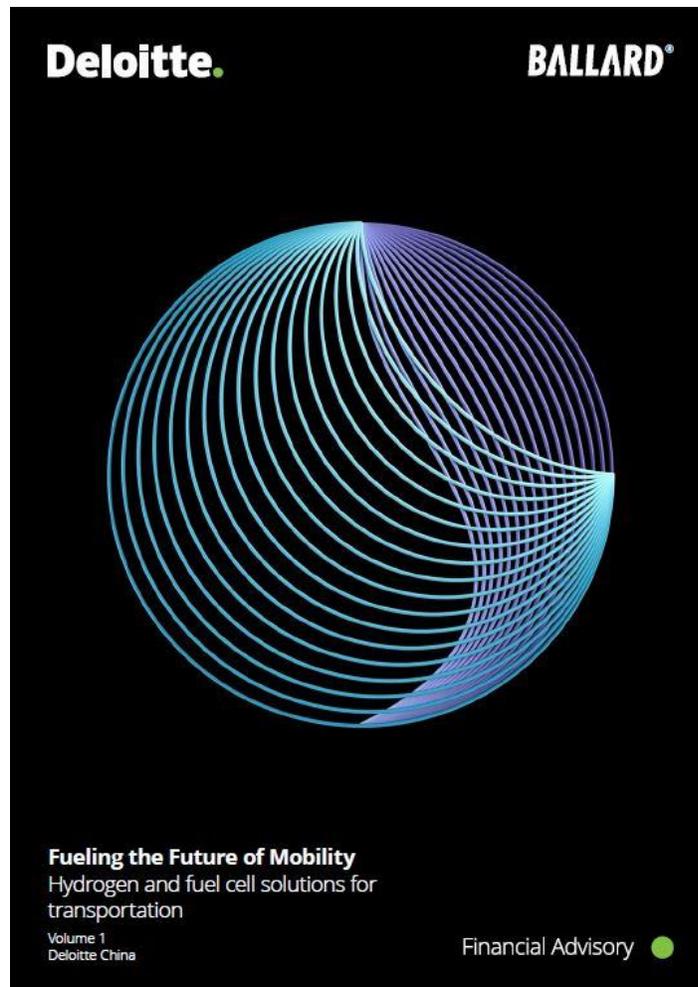
<https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Hydrogen-Economy-Outlook-Key-Messages-30-Mar-2020.pdf>

Path to hydrogen competitiveness: a cost perspective - Jan 2020



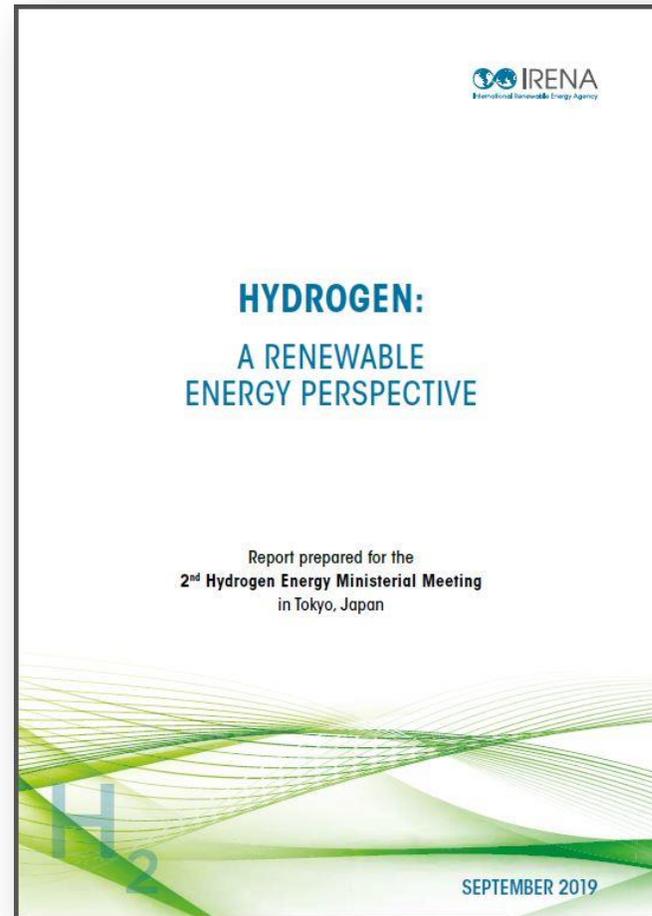
- Se proyecta una disminución de costos de hasta 50% para 2030
- Estudio basado en datos reales de la industria, con 25.000 puntos de datos recopilados y analizados, de 30 compañías en toda la cadena de valor del hidrógeno, en cuatro geografías clave (EE. UU., Europa, Japón / Corea y China)
- De los 35 casos de uso analizados, el hidrógeno a escala puede ser la solución de bajo carbono y bajo costo en 22 casos de uso, como en la industria del acero y la calefacción para edificios existentes. Y puede superar las soluciones basadas en fósiles a escala en 9 casos de uso, por ejemplo, en transporte pesado y trenes.

Hydrogen and fuel cell solutions for transportation - Jan 2020



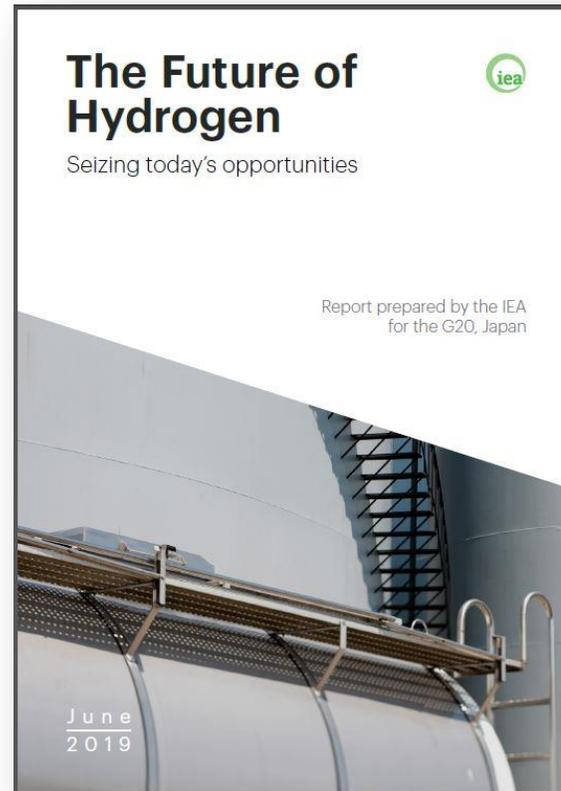
- Análisis exhaustivo de TCO que concluye que dentro de 10 años será más barato operar un vehículo eléctrico a celda de combustible (FCEV) que un vehículo eléctrico de batería (BEV) que un vehículo con motor de combustión interna (ICEV) en aplicaciones de vehículos comerciales
- Revisión del impacto ambiental de la tecnología de celdas de combustible hoy y en el futuro
- Conclusión que los FCEV son más limpios que los BEV y/o ICEV desde una perspectiva de emisiones durante la vida del vehículo

Hydrogen – A renewable energy perspective – Sep 2019



https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf

IEA – The Future of Hydrogen – June 2019



Summary

<https://webstore.iea.org/download/summary/2803?fileName=English-Future-Hydrogen-ES.pdf>

Report

https://webstore.iea.org/download/direct/2803?fileName=The_Future_of_Hydrogen.pdf

WEC - New hydrogen economy – Hope or hype ? – Jun 2019



Summary

<https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WEInsights-Brief-New-Hydrogen-economy-Hype-or-Hope-ExecSum.pdf>

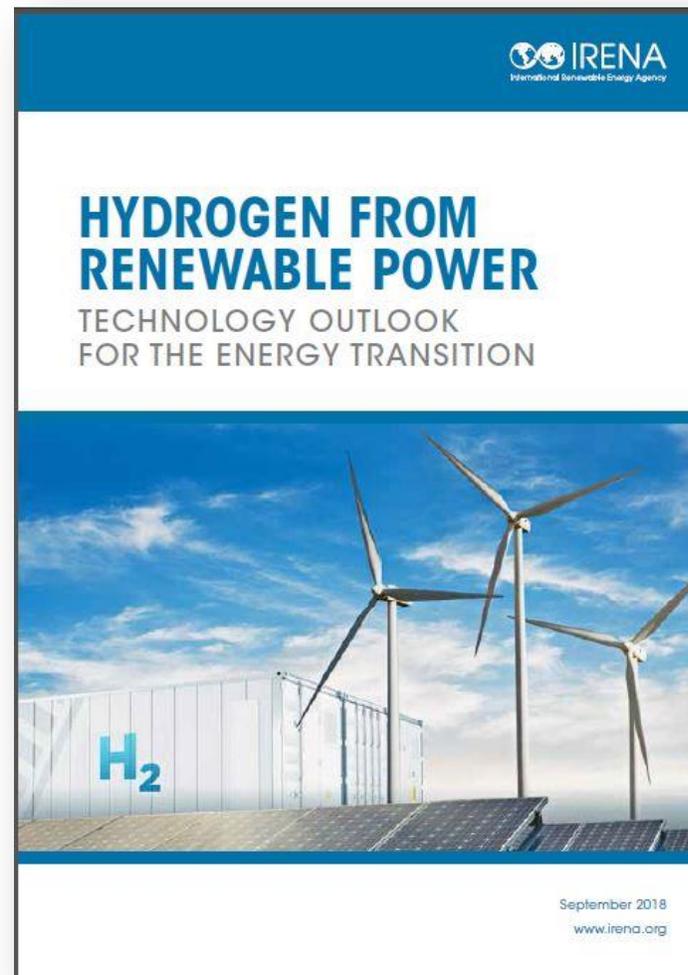
Report

<https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WEInnovation-Insights-Brief-New-Hydrogen-Economy-Hype-or-Hope.pdf>

Webinar

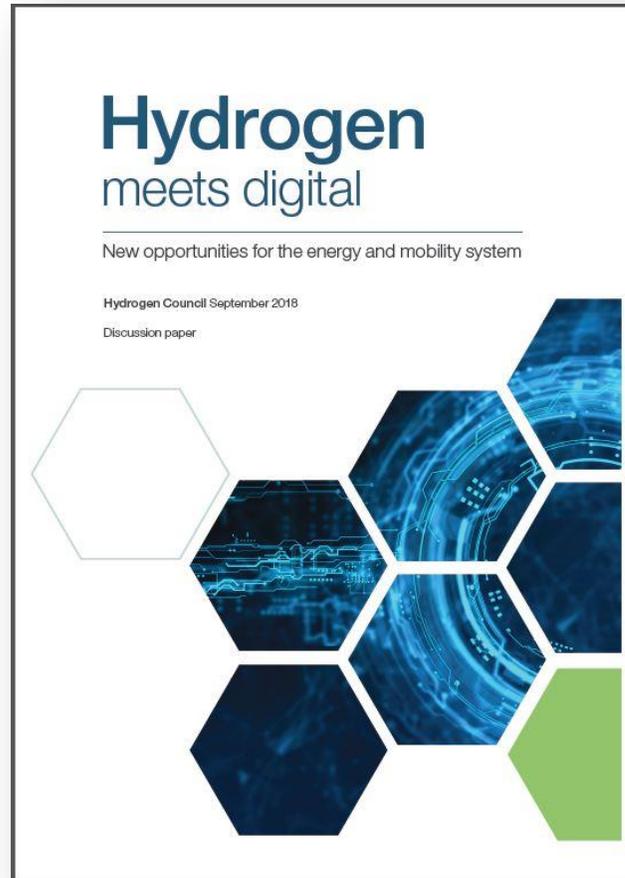
<https://www.youtube.com/watch?v=hquQYaVnhyk>

IRENA – Hydrogen from renewable power – Sep 2018



https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA_Hydrogen_from_renewable_power_2018.pdf

Hydrogen Council – Hydrogen meets digital - Sep 2018



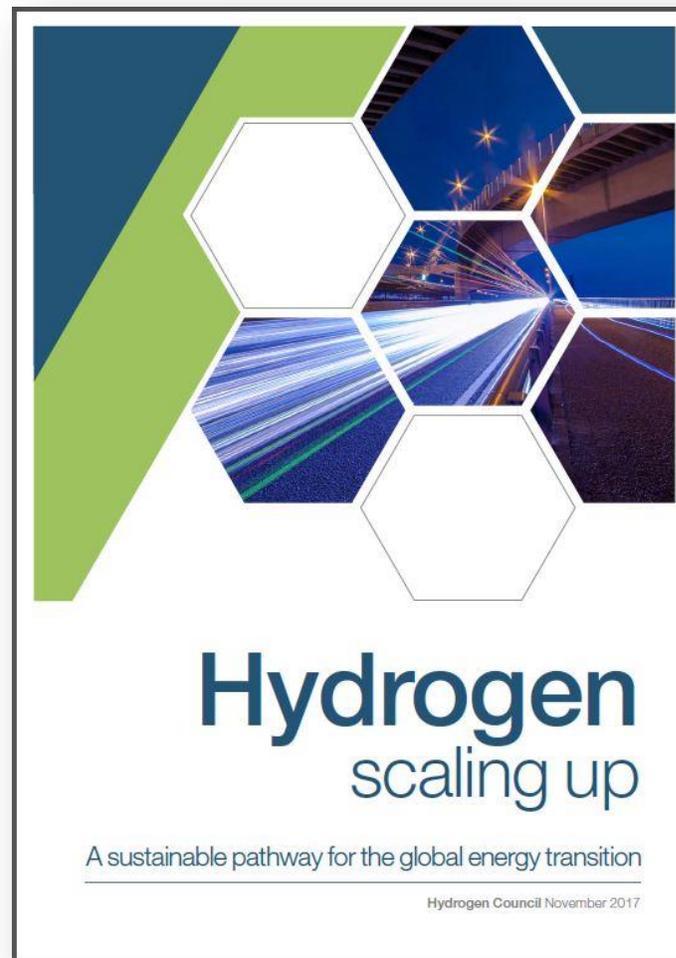
Report

<http://www.hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2018/10/Hydrogen-Council-Hydrogen-Meets-Digital-2018.pdf>

Slides

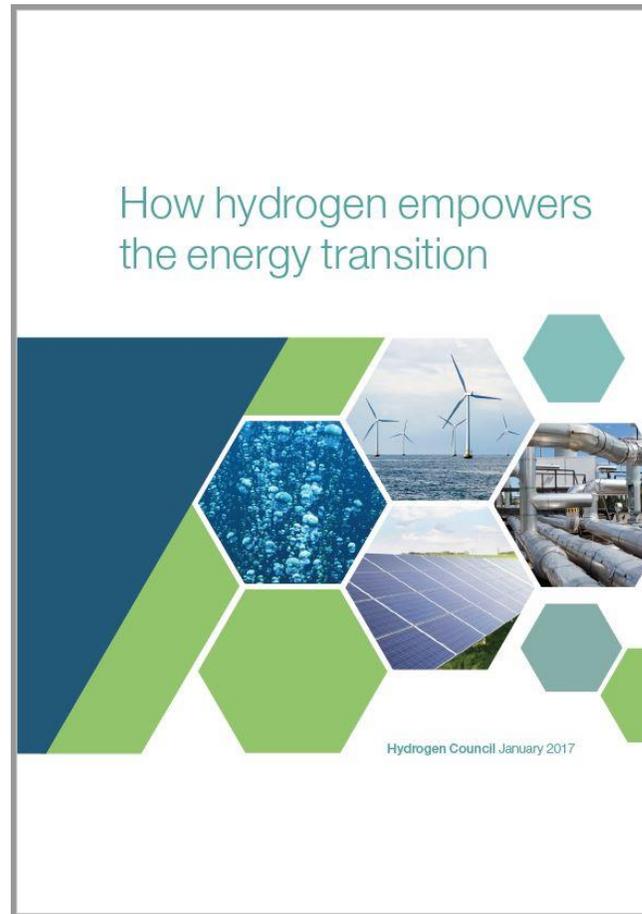
http://www.hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2018/09/Hydrogen-meets-Digital_Hydrogen-Council-2018_Report-Slides.pdf

Hydrogen Council – Hydrogen scaling up - Nov 2017



<http://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/11/Hydrogen-scaling-up-Hydrogen-Council.pdf>

Hydrogen Council – How hydrogen empowers the energy transition – Jan 2017



<https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/06/Hydrogen-Council-Vision-Document.pdf>



Ministerio
de Industria
Energía y Minería

▲ ANCAP



Contacto





ANCAP

Paysandú y Av. Libertador

C.P. 11100 – Montevideo - Uruguay

Phone: +598 2 1931

Email: hidrogeno@ancap.com.uy

Web: <https://www.ancap.com.uy/>