



Henar Olmedo
marolm@cidaut.es

COMBUSTIBLES DE TRANSICIÓN: EL HIDRÓGENO

10 de Abril 2019



¿Quiénes somos?

CIDAUT – www.cidaut.es



*La **Fundación CIDAUT** es un centro tecnológico que realiza actividades de **investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación** de interés para la industria en general y, especialmente para los sectores de **transporte y energía**.*

*Desde su creación el 2 de febrero de 1993, el esfuerzo investigador, el conocimiento generado y la filosofía dinámica y emprendedora han ido consolidando a la Fundación CIDAUT, como un **Centro Tecnológico de reconocido prestigio y capacidad investigadora, tanto a nivel nacional como internacional**.*

¿Quiénes somos?

CIDAUT – www.cidaut.es



CIDAUT es una fundación privada sin ánimo de lucro, registrada y reconocida como Centro Tecnológico, cuyas actividades están focalizadas en los sectores de transporte y energía

400 Clientes industriales

72 Millones Euros equipamiento en I+D

174 Investigadores

23.304 m²

3 Sedes
ESPAÑA, ALEMANIA,
Y MÉXICO

15 Empresas de
Base Tecnológica

38 Patentes

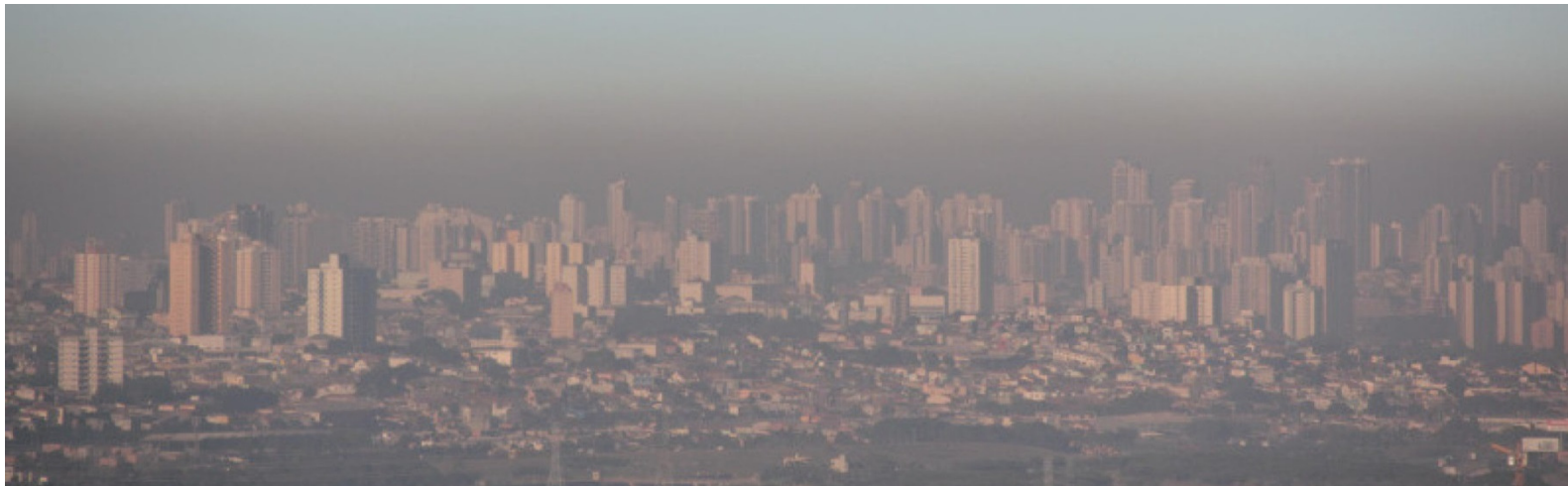
DE QUÉ VAMOS A HABLAR



Situación Actual

Entorno

- Calentamiento global (CO₂)
- 35% de las emisiones globales en España proceden del sector transporte (2014)
- Alta contaminación en nuestras ciudades (NOx, partículas). Implica cambios/medidas en el transporte público y privado
- Restricciones de emisiones en terminales de transporte



Alternativas: Búsqueda de combustibles alternativos

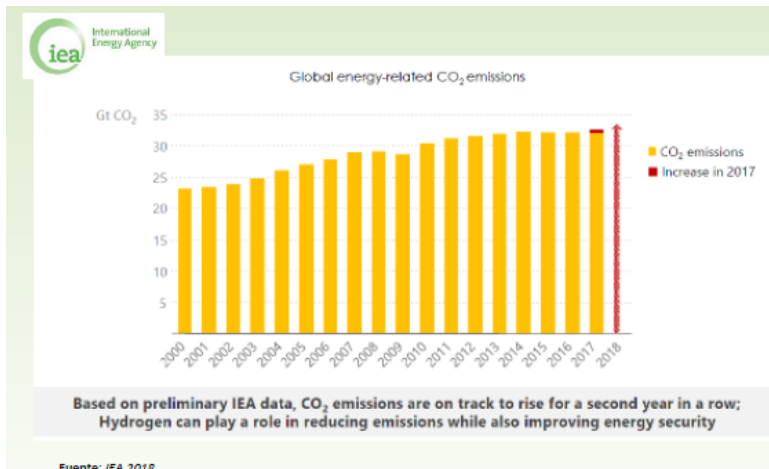
Transición de la UE hacia un sistema libre de carbono

Entorno



Acuerdo de París-COP21 (Nov 2015). 195 firman primer acuerdo vinculante mundial sobre el clima. Acordaron:

- ✓ Mantener el aumento de la temperatura media anual por debajo 2°C
- ✓ Limitar aumento a 1,5°C, lo que reducirá los riesgos y el impacto del cambio climático



Esta transición va a transformar la manera en la que la UE genera, distribuye, almacena y consume energía.

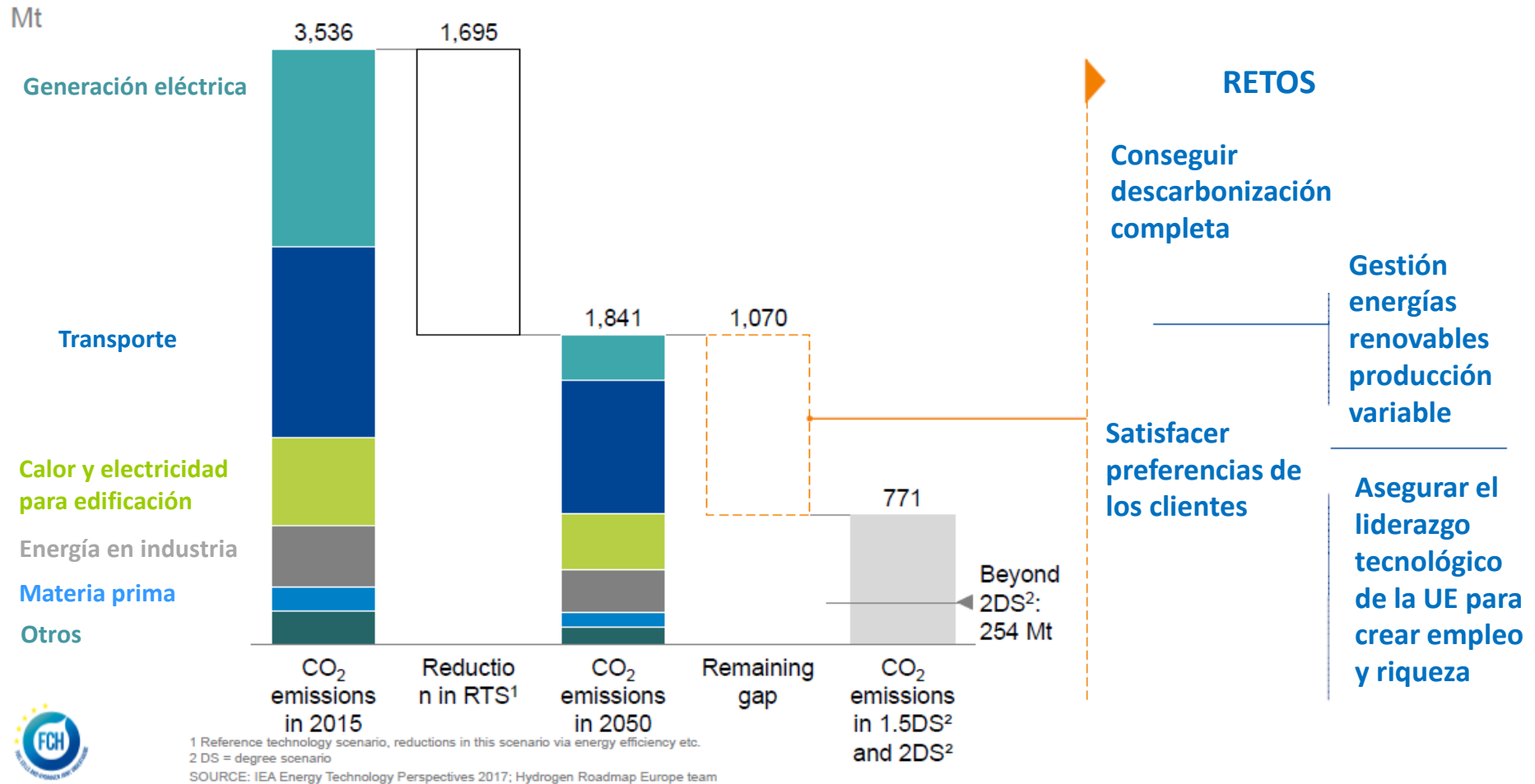
Se necesita:

- ✓ Sistemas de generación de energía emisiones cero
- ✓ Aumentar la eficiencia energética
- ✓ Descarbonización de los sectores transporte, energía, industria y residencial

Transición de la UE hacia un sistema libre de carbono

Entorno

Para realizar la ambiciosa transición del sistema energético de la EU es necesario resolver una serie de retos



Transición de la UE hacia un sistema libre de carbono

Entorno

Existe una alternativa que aporta ventajas...

Respecto a otros combustibles alternativos

- Mayor rendimiento
- Cero emisiones locales

Respecto a las baterías

- Mayor autonomía
- Menores tiempos de carga
- Menor peso y volumen
- Previsible reducción de coste



+

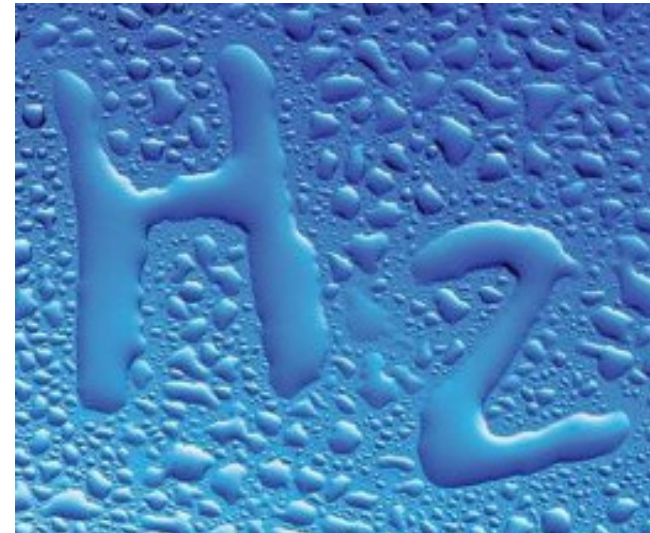
**PILA DE
COMBUSTIBLE**

Transición de la UE hacia un sistema libre de carbono

Entorno

Y con posibilidades de mejora...

- Reducción del coste por km
- Reducción del coste del vehículo
- Reducción del coste asociado al despliegue de infraestructura
- Pendiente la implementación la producción en serie masiva, aunque se prevén producciones de varios miles de unidades anuales



+

**PILA DE
COMBUSTIBLE**

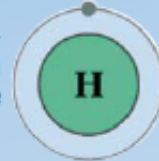
Qué es el Hidrógeno

- **Alta densidad energética, 33.3 kWh/kg**
Metano: 13.9 kWh/kg
Petróleo: 12.4 kWh/kg
- **Combustión limpia, sin producción de contaminates:**
CO₂, CO, SO_x, partículas
- **Combustible más adecuado para las pilas (de combustible)**

Fuente: Asociación Española del Hidrógeno. <http://www.aeh2.org>

¿Qué es el hidrógeno?

El hidrógeno es el elemento químico más ligero que existe, su átomo está formado por un protón y un electrón y es estable en forma de molécula diatómica (H₂).



A temperatura ambiente y presión atmosférica se presenta en estado gaseoso, es incoloro, inodoro, insípido y no es tóxico.

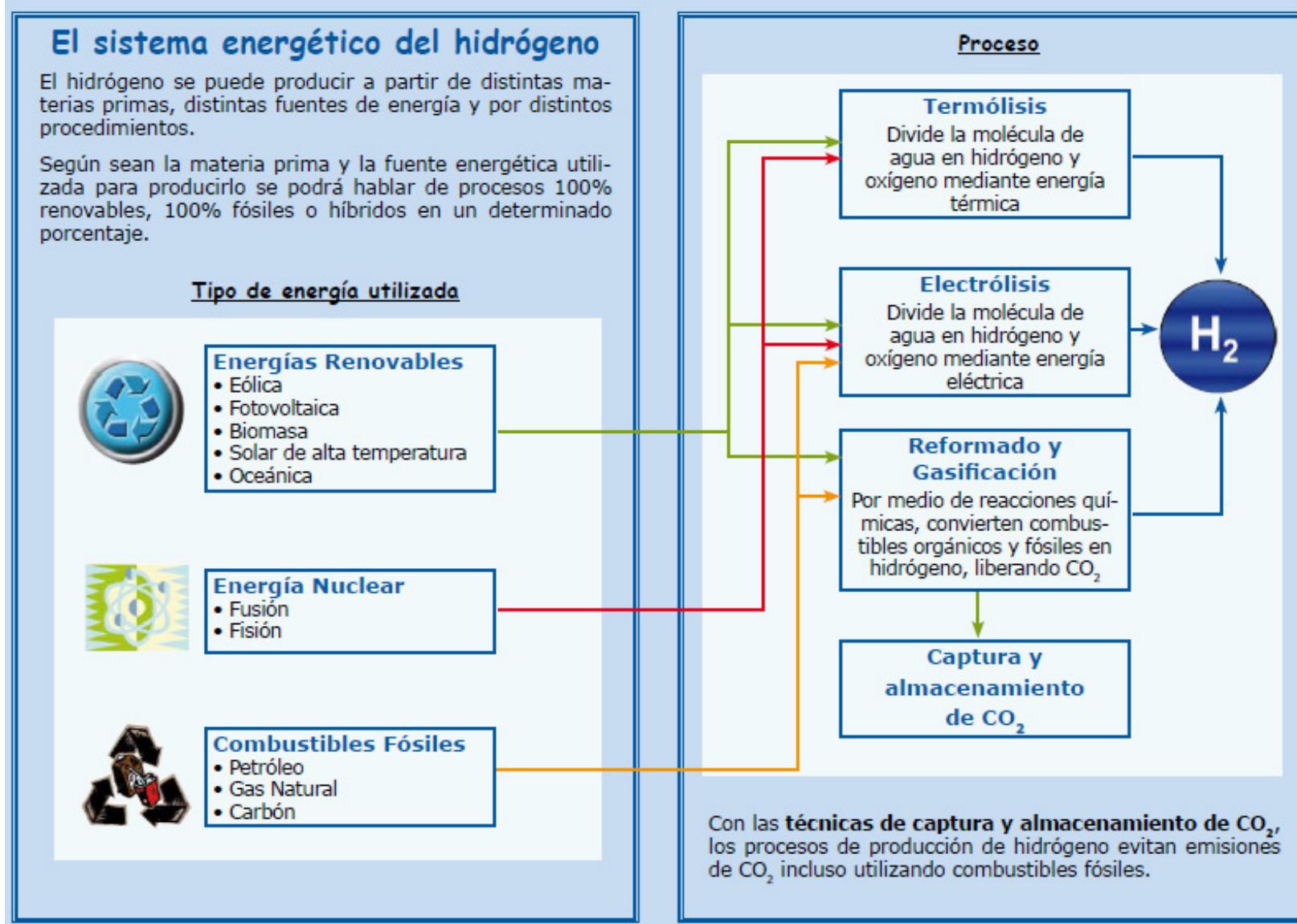
En la Tierra es muy abundante, pero se encuentra unido al oxígeno formando agua, o al carbono, formando compuestos orgánicos. Por tanto, no es un combustible que pueda tomarse directamente de la naturaleza, sino que es un **vector energético** (como la electricidad) y por ello se tiene que "fabricar."

Un kilogramo de hidrógeno es capaz de liberar más energía que un kilogramo de cualquier otro combustible (casi el triple que la gasolina o el gas natural), pero lo mejor es que para liberar esa energía no emite nada de dióxido de carbono, tan sólo vapor de agua, por lo que produce **cero impacto ambiental**.

¿Qué ventajas tiene utilizar el hidrógeno en pilas de combustible?

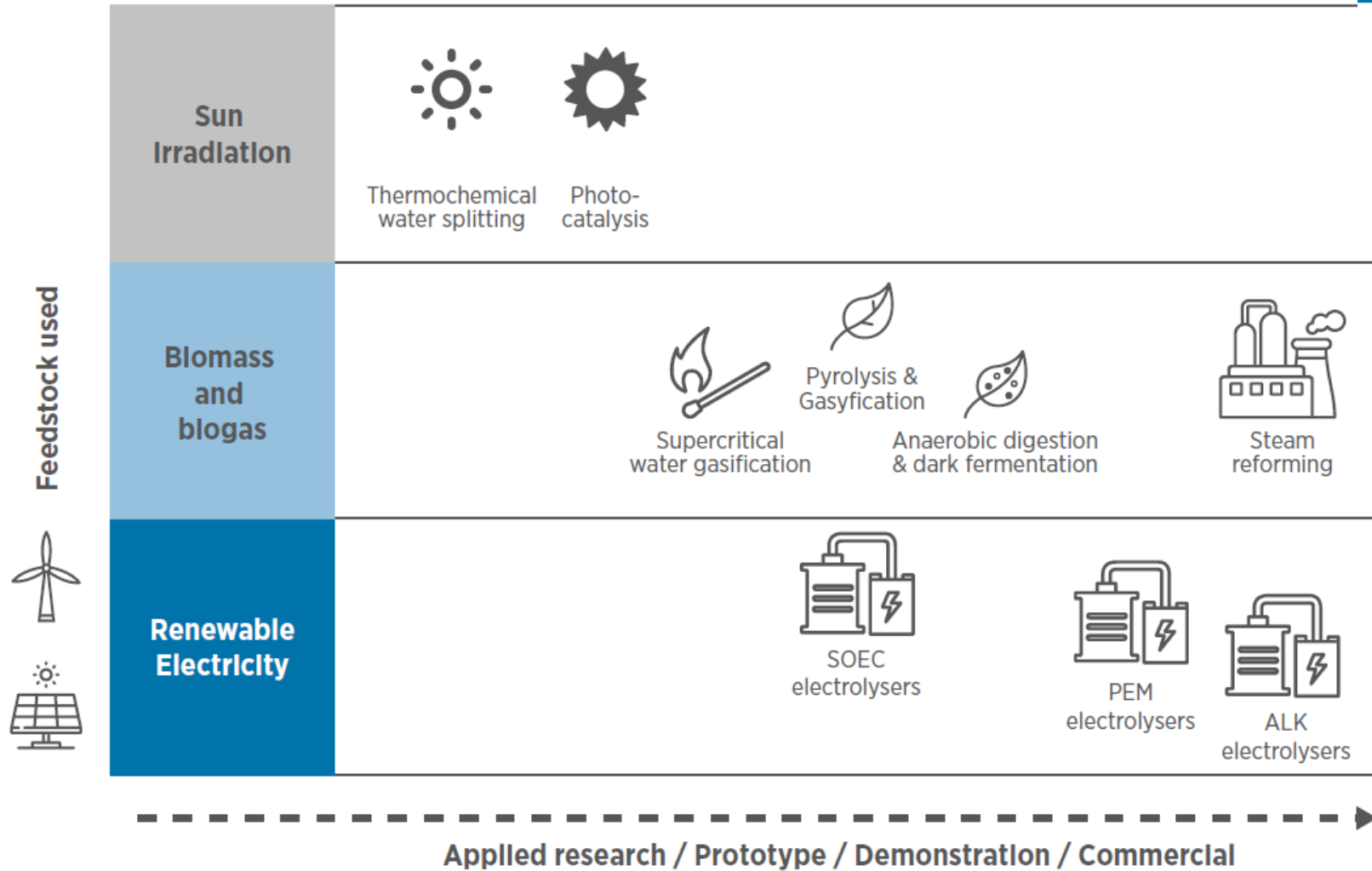
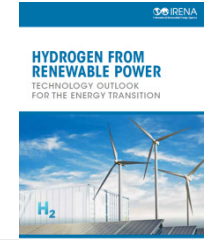
- Transformación con alta eficiencia, lo que implica menor gasto de recursos y menor contaminación.
- Desacoplamiento entre la producción y el uso de la energía.
- Posibilidad de cogeneración.

Producción de Hidrógeno



Fuente: Asociación Española del Hidrógeno. <http://www.aeh2.org>

Producción de Hidrógeno (generación renovable)

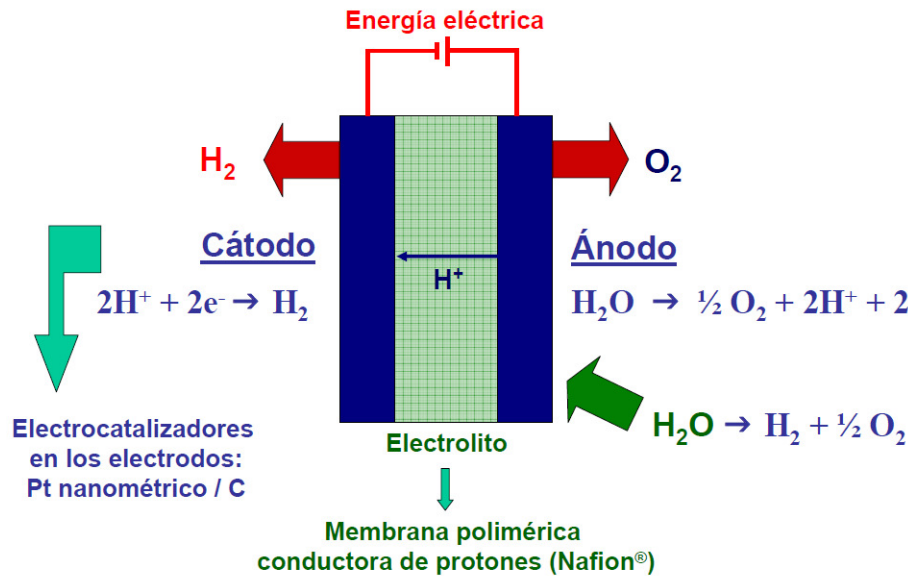


Fuente: HYDROGEN FROM RENEWABLE POWER- Technology outlook for the energy transition. Sept 2018

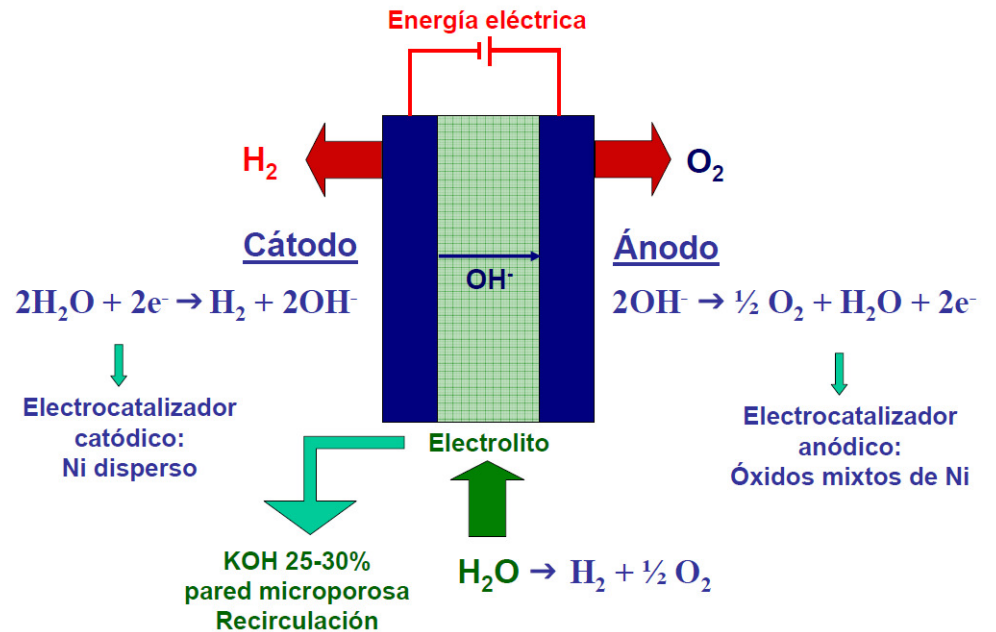
Producción de Hidrógeno - ELECTRÓLISIS



Electrolizador PEM



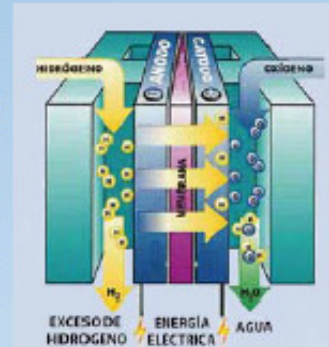
Electrolizador alcalino



Uso del Hidrógeno - Pilas de combustible

¿Qué son las pilas de combustible?

Son dispositivos electroquímicos capaces de transformar directamente la energía química de un combustible en energía eléctrica. Al no estar basados en procesos de combustión, su eficiencia es mucho mayor, consiguiéndose así un mejor aprovechamiento del combustible.



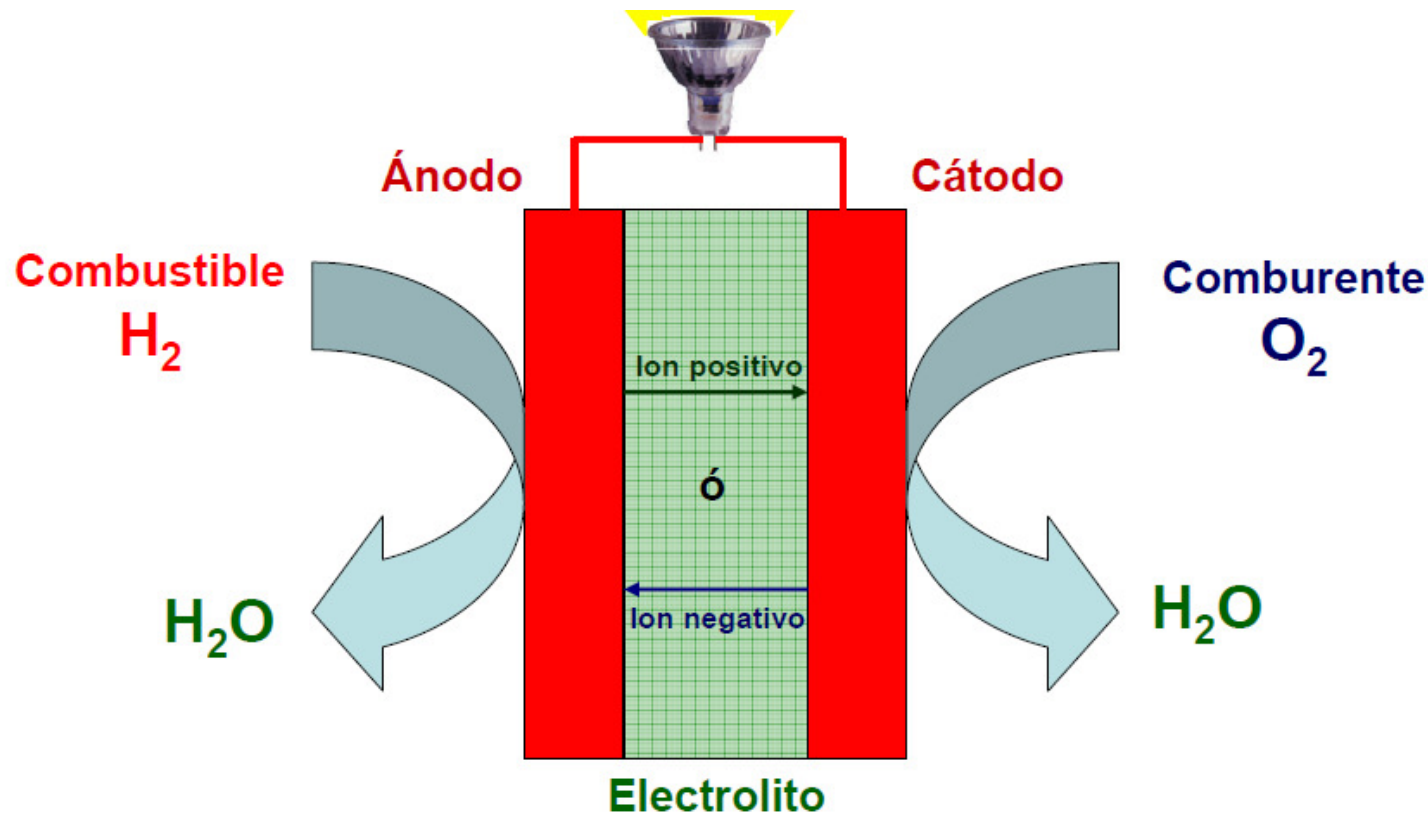
Tipos de pilas de combustible

En función de su temperatura de funcionamiento y del tipo de electrolito empleado se pueden clasificar en:

Baja temperatura	Media temperatura	Alta temperatura
<ul style="list-style-type: none">• Membrana Polimérica (PEMFC) (≈ 30-90°C)• Metanol directo (DMFC) (≈ 30-90°C)• Alcalinas (AFC) (≈ 100°C)	<ul style="list-style-type: none">• Ácido fosfórico (PAFC) (≈ 200°C)	<ul style="list-style-type: none">• Carbonato fundido (MCFC) (≈ 600°C)• Óxido sólido (SOFC) (≈ 800°C -1000 °C)

Fuente: Asociación Española del Hidrógeno. <http://www.aeh2.org>

Uso del Hidrógeno - Pilas de combustible



➤ *Energía Limpia ($H_2 + 1/2 O_2 \longrightarrow H_2O$)*

↳ *Dependiendo del procesado del combustible*

➤ *Alto Rendimiento, comparado con los motores de combustión.*

Uso del Hidrógeno - Pilas de combustible

TIPOS DE PILAS DE COMBUSTIBLE

Pilas de polímeros (PEMFC)

- Alta densidad de potencia (3.1kW/l)
- Baja temperatura de operación
- Cortos tiempo de arranque y buena respuesta a transitorios
- Operan con H₂ puro con muy bajos niveles de impurezas.
- Otro tipo de combustibles requieren de una unidad de reformado externa



Fabricantes: Ballard, Hydrogenics, Nuvera, Nedstack, Proton Motor, Siemens, Plug Power, UTC ...

Potencias: 5-180kW

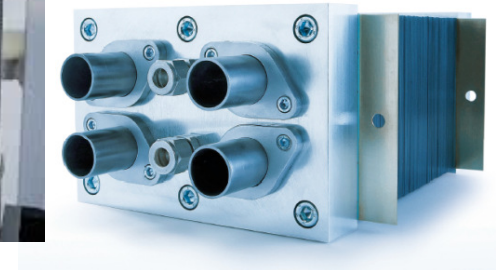
Fuente: "How hydrogen empowers the energy transition". Hydrogen Council January 2017

Uso del Hidrógeno - Pilas de combustible

TIPOS DE PILAS DE COMBUSTIBLE

Pilas de óxidos sólidos (SOFC) o de carbonatos fundidos (MCFC)

- Mayor peso, volumen y coste
- Temperaturas de operación a partir de 500°C
- Tiempos elevados de arranque. Peor respuesta a transitorios
- Su uso en transporte se limita a APUs o “range extender”
- Operan con H₂ puro o con otros tipos de combustibles si incluyen una unidad de reformado interna

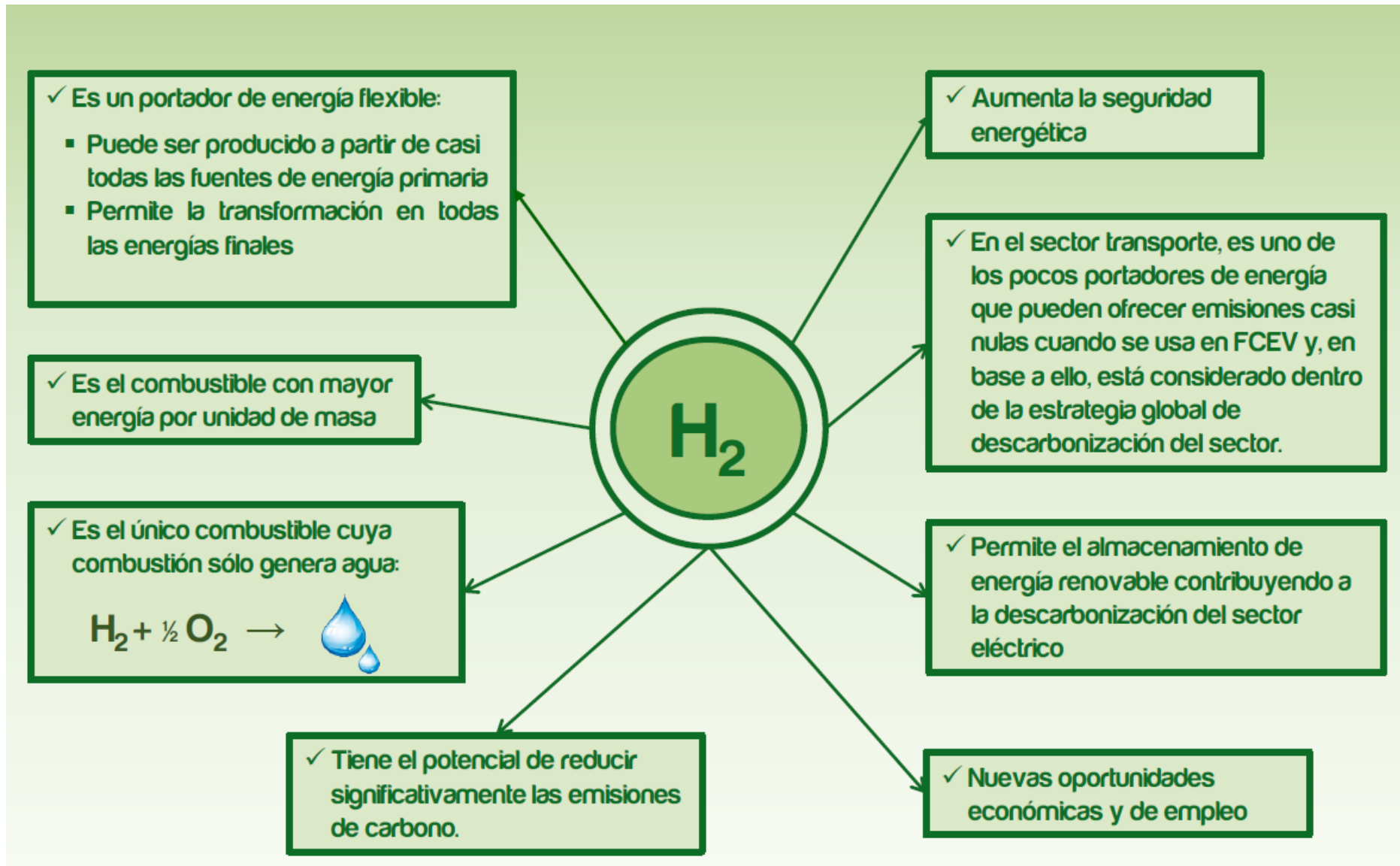


Fabricantes: CERES POWER, AVL, DELPHI, MTU, SIEMENS

Potencias: 3kW – 250kW

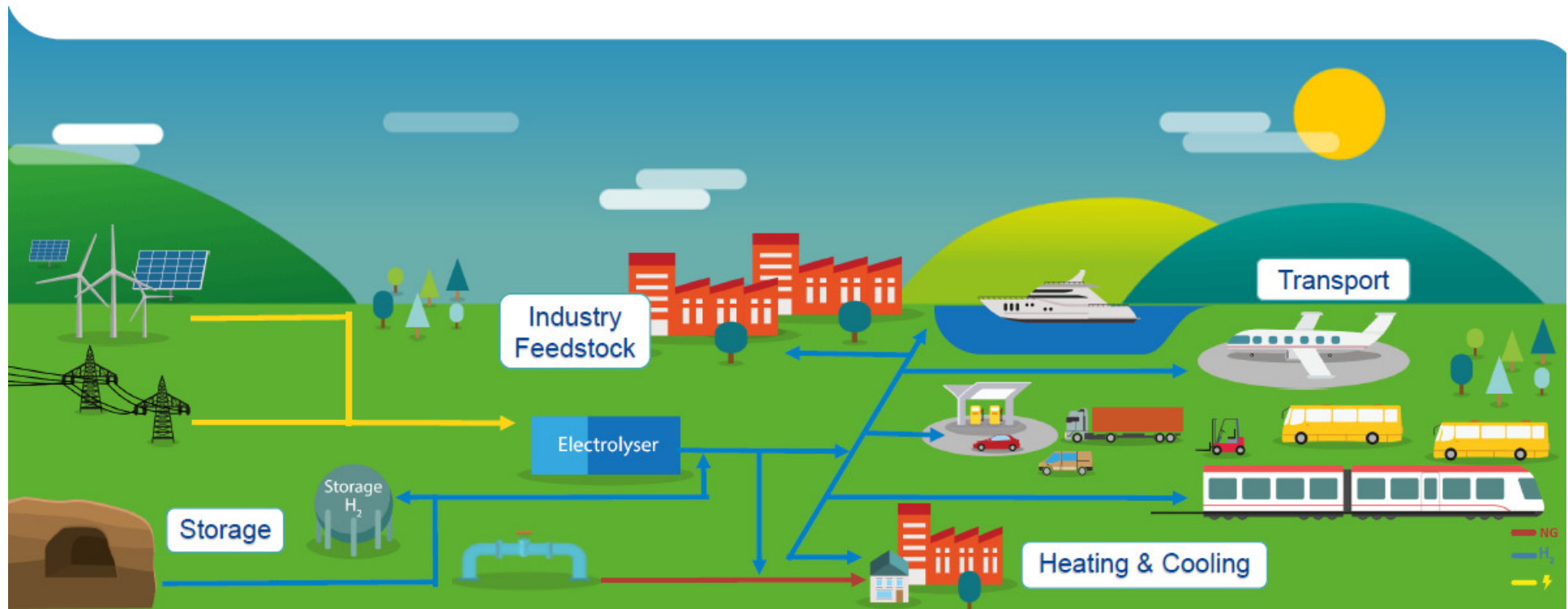
Fuente: “How hydrogen empowers the energy transition”. Hydrogen Council January 2017

El H₂ clave en la transición energética



El H₂ clave en la transición energética

El **hidrógeno** permite más energías renovables en el sistema energético y permite el acoplamiento del sector



Fuente: Hydrogen Roadmap Europe, enero 2019. www.fch.europa.eu

El H₂ clave en la transición energética



Permitir sistema energético renovable



Usos finales descarbonizados

Permite **integrar renovables a gran escala de forma eficiente**



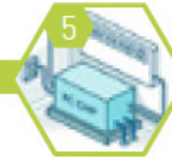
Distribuir energía entre sectores y regiones



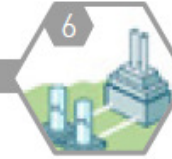
Actuar como **amortiguador** para aumentar la resiliencia del sistema



Descarbonizar el **transporte**



Ayudar a descarbonizar la **calefacción y electricidad de los edificios**



Descarbonizar el uso de la energía en la industria

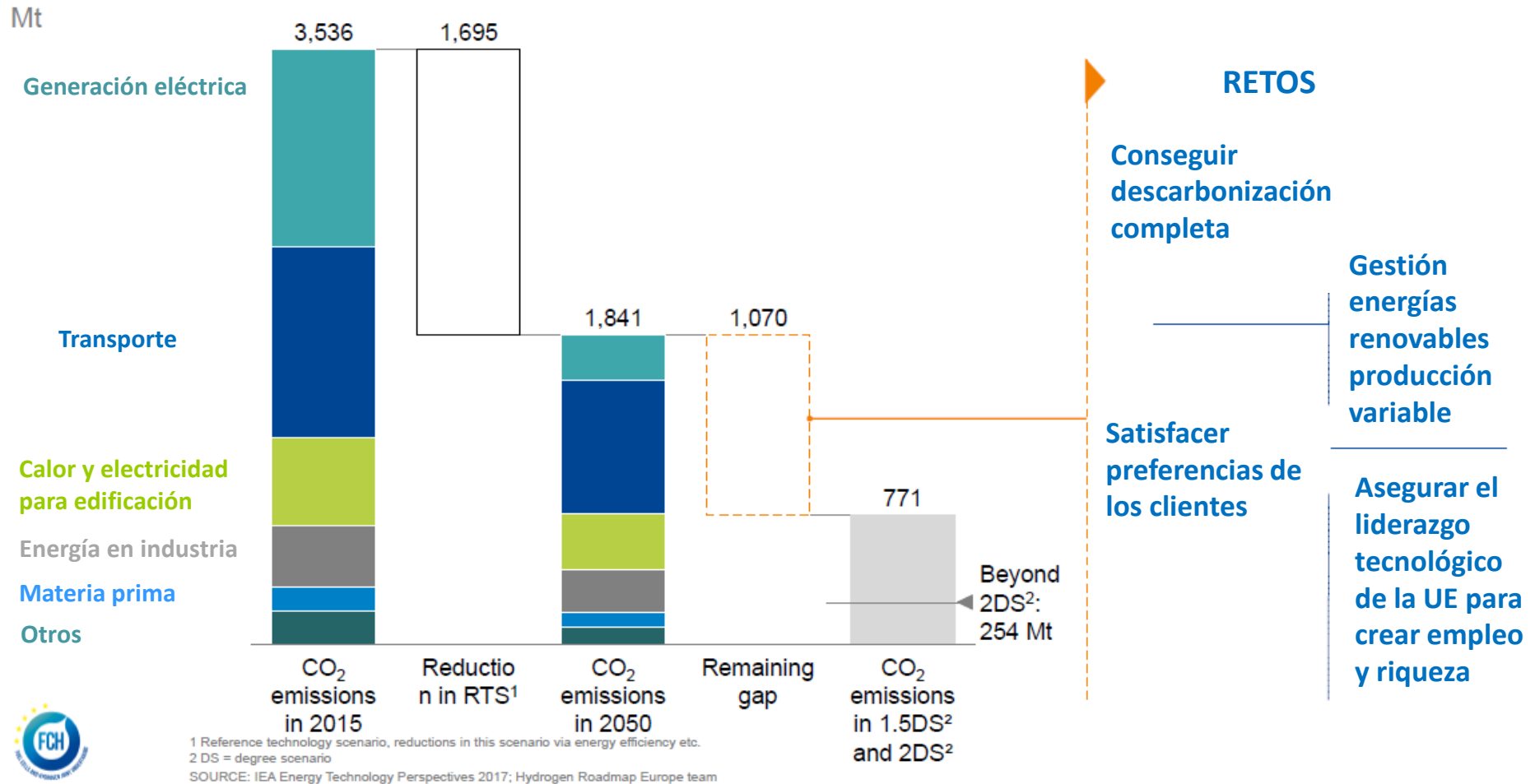


Servir como **materia prima** a partir de CO₂ capturado

Fuente: Hydrogen Roadmap Europe, enero 2019. www.fch.europa.eu

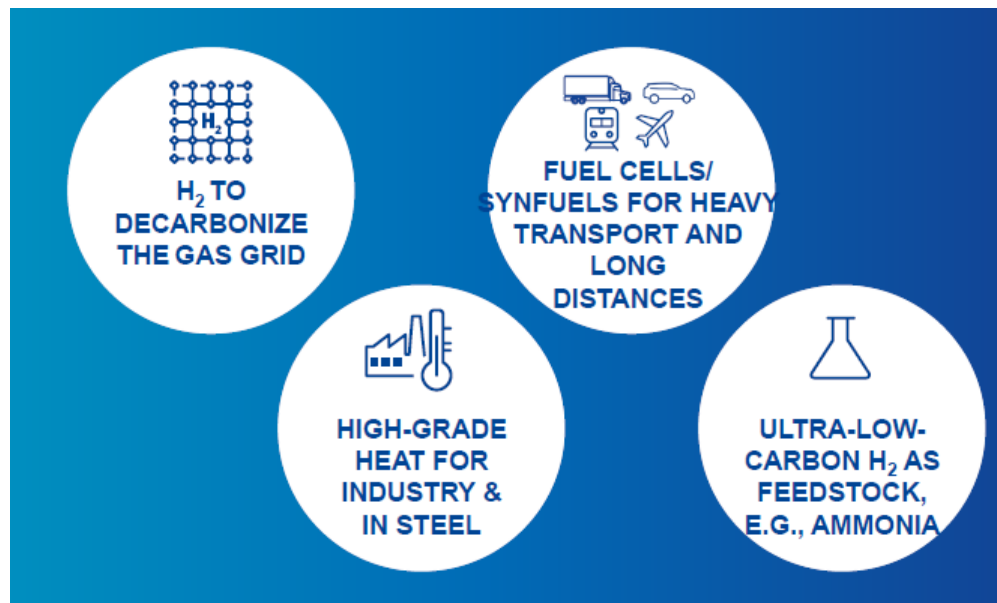
El H₂ clave en la transición energética

Para realizar la ambiciosa transición del sistema energético de la EU es necesario resolver una serie de retos



El H₂ clave en la transición energética

RETO: Conseguir una descarbonización completa > 80% emisiones de CO₂

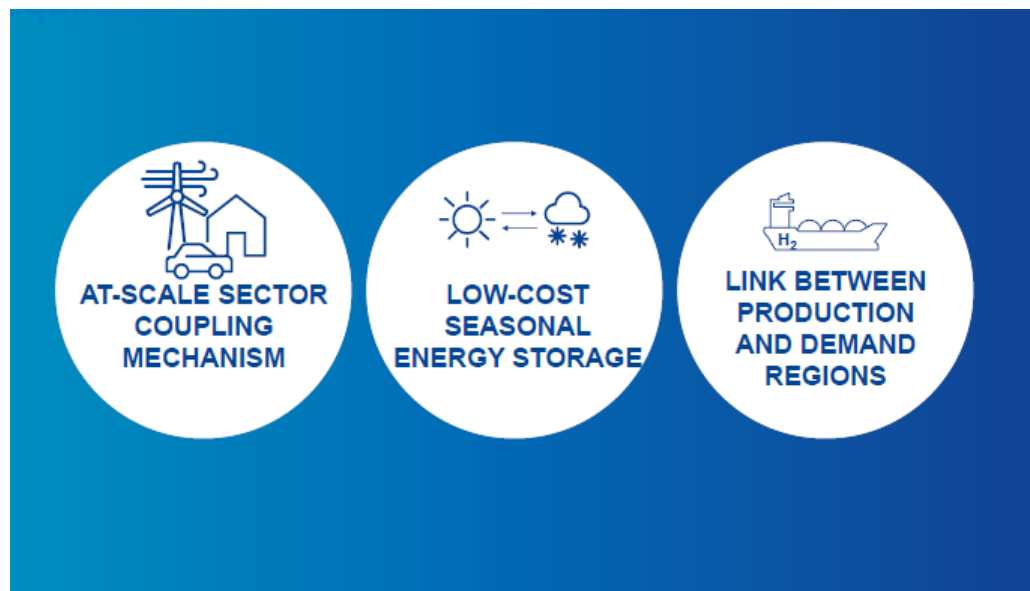


Hidrógeno es la mejor opción para la descarbonización a escala de segmentos clave, por ejemplo:

Fuente: Hydrogen Roadmap Europe, enero 2019. www.fch.europa.eu

El H₂ clave en la transición energética

RETO: Gestión de energías renovables de producción variable

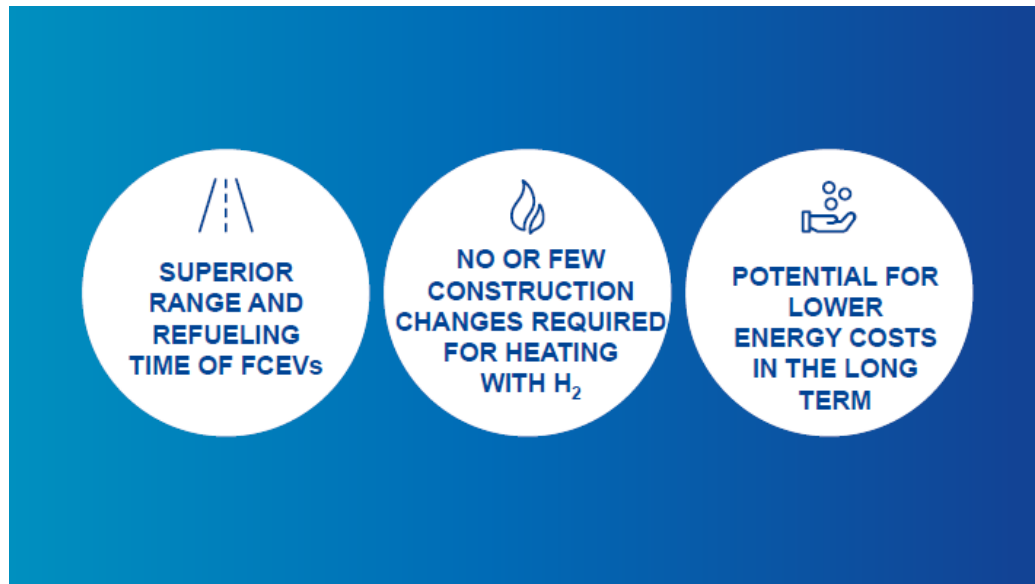


El Hidrógeno es la mejor opción que permite la gestión de un sistema de energía renovable de diferente origen

Fuente: Hydrogen Roadmap Europe, enero 2019. www.fch.europa.eu

El H₂ clave en la transición energética

RETO: Satisfacer preferencias de los clientes



El Hidrógeno y las pilas de combustible son compatibles con los modelos de uso actuales y convenientes por:

Fuente: Hydrogen Roadmap Europe, enero 2019. www.fch.europa.eu

El H₂ clave en la transición energética

RETO: Asegurar el liderazgo tecnológico de la UE para crear empleo y riqueza



El Hidrógeno y las pilas de combustible son una oportunidad para la industria Europea porque:

Fuente: Hydrogen Roadmap Europe, enero 2019. www.fch.europa.eu

El H₂ clave en la transición energética

HOJA DE RUTA 2050

Visión hidrógeno 2050 - estudio disponible en fch.europe.eu



~24%

De la demanda final de energía¹



~560 Mt

Disminución anual de CO₂¹



~EUR 820bn

Beneficio anual (hidrógeno y equipamiento)



~15%

Reducción local de emisiones (NO_x) relativas a transporte por carretera



~5.4m

Empleos (hidrógeno, equipamiento, empresas suministradoras)³

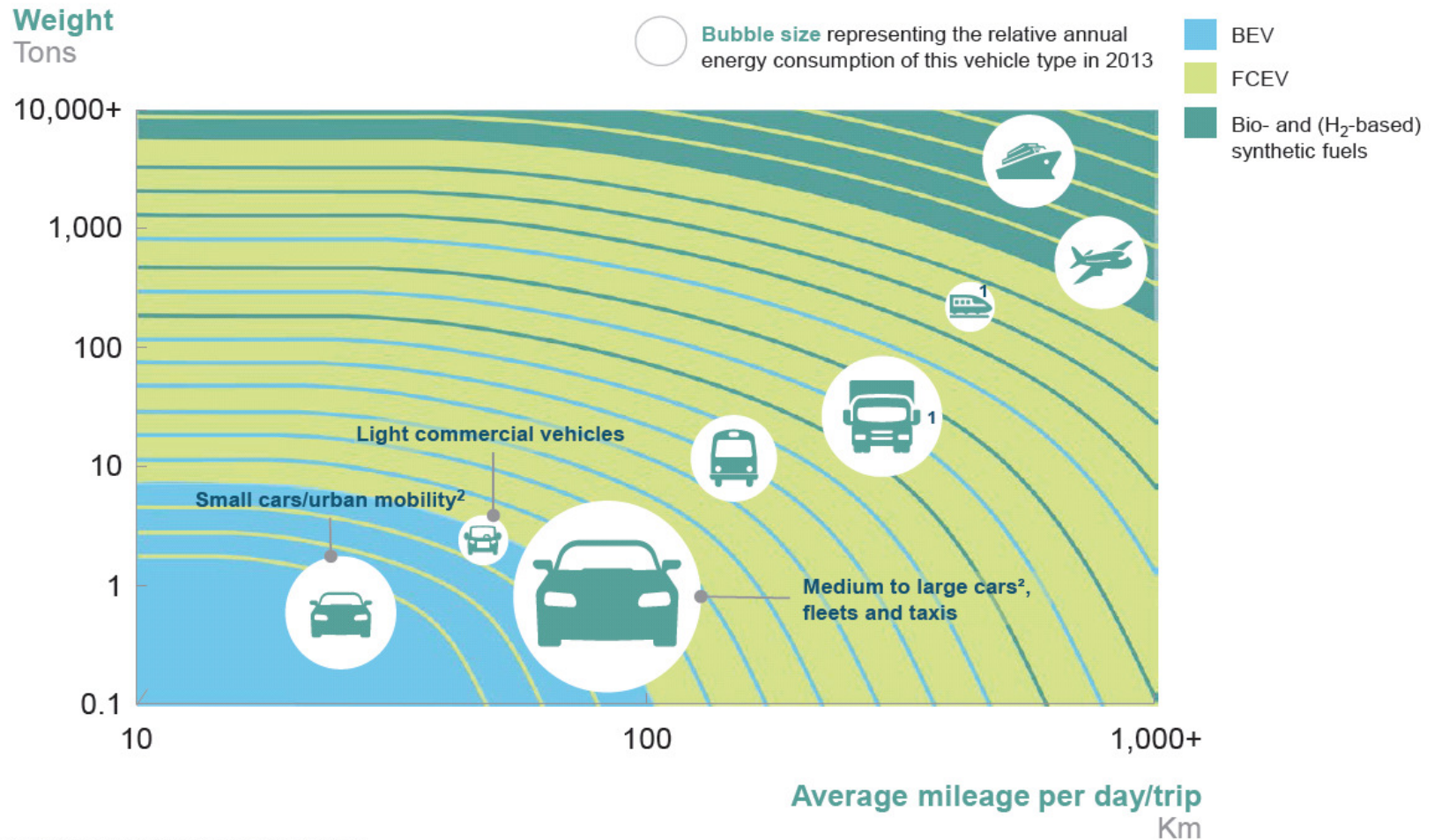


1 Including feedstock 2 Compared to the reference technology scenario 3 Excluding indirect effects
SOURCE: Hydrogen Roadmap Europe team

Fuente: Hydrogen Roadmap Europe, enero 2019. www.fch.europa.eu

El H₂ clave en la transición energética

USO DEL H₂ EN TRANSPORTE



¹ Battery-hydrogen hybrid to ensure sufficient power

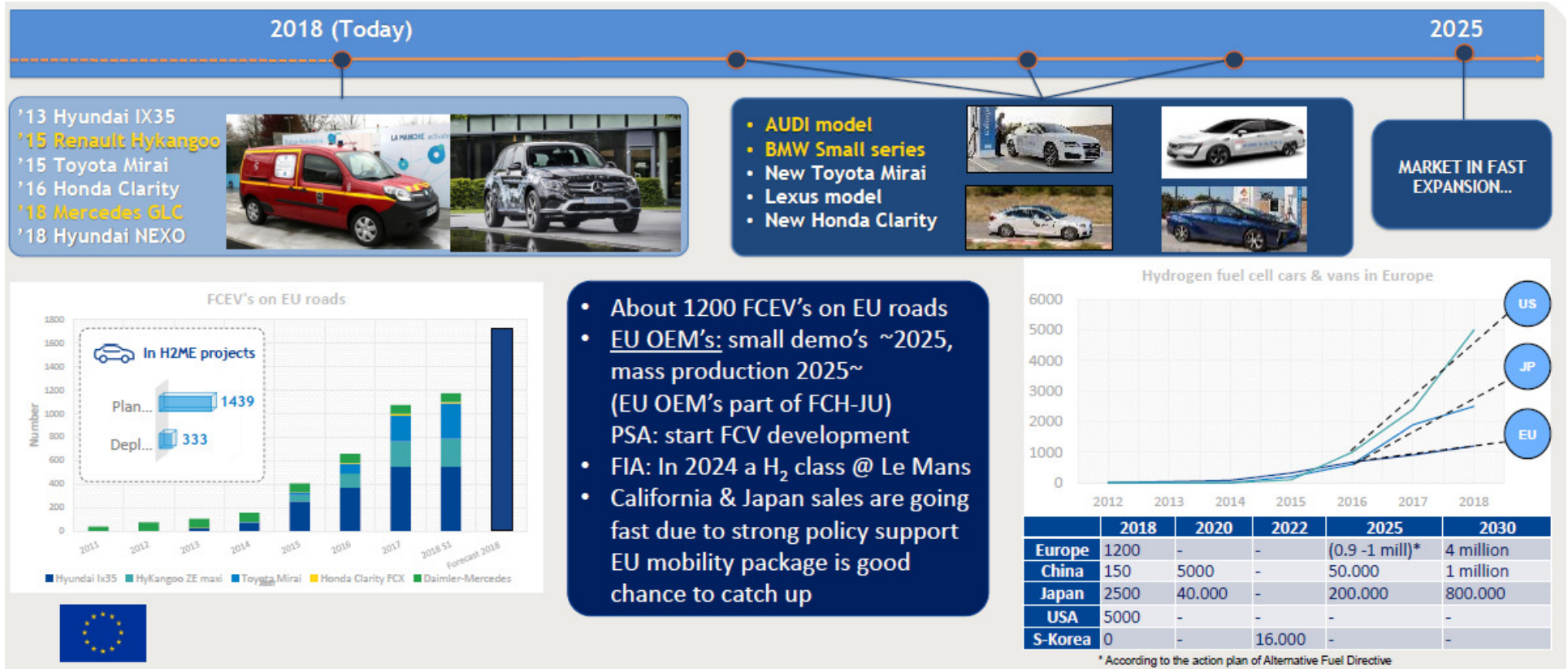
² Split in A- and B-segment LDVs (small cars) and C+-segment LDVs (medium to large cars) based on a 30% market share of A/B-segment cars and a 50% less energy demand

Source: Toyota, Hyundai, Daimler

Fuente: "How hydrogen empowers the energy transition". Hydrogen Council January 2017

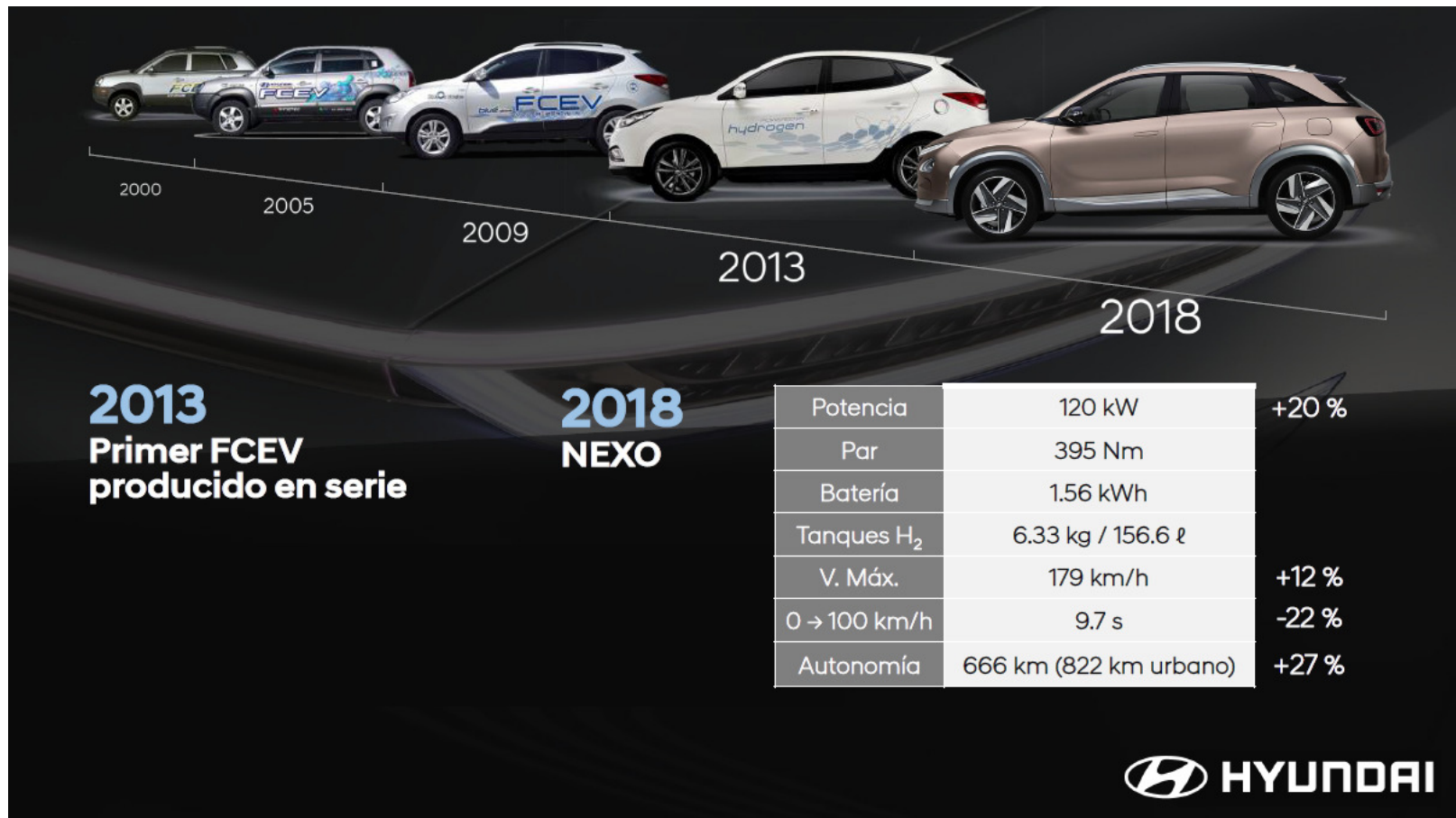
El H₂ clave en la transición energética

SITUACIÓN ACTUAL EN EUROPA- DESPLIEGUE DE COCHES (H2ME)



Fuente: FCHU H2ME

El H₂ clave en la transición energética

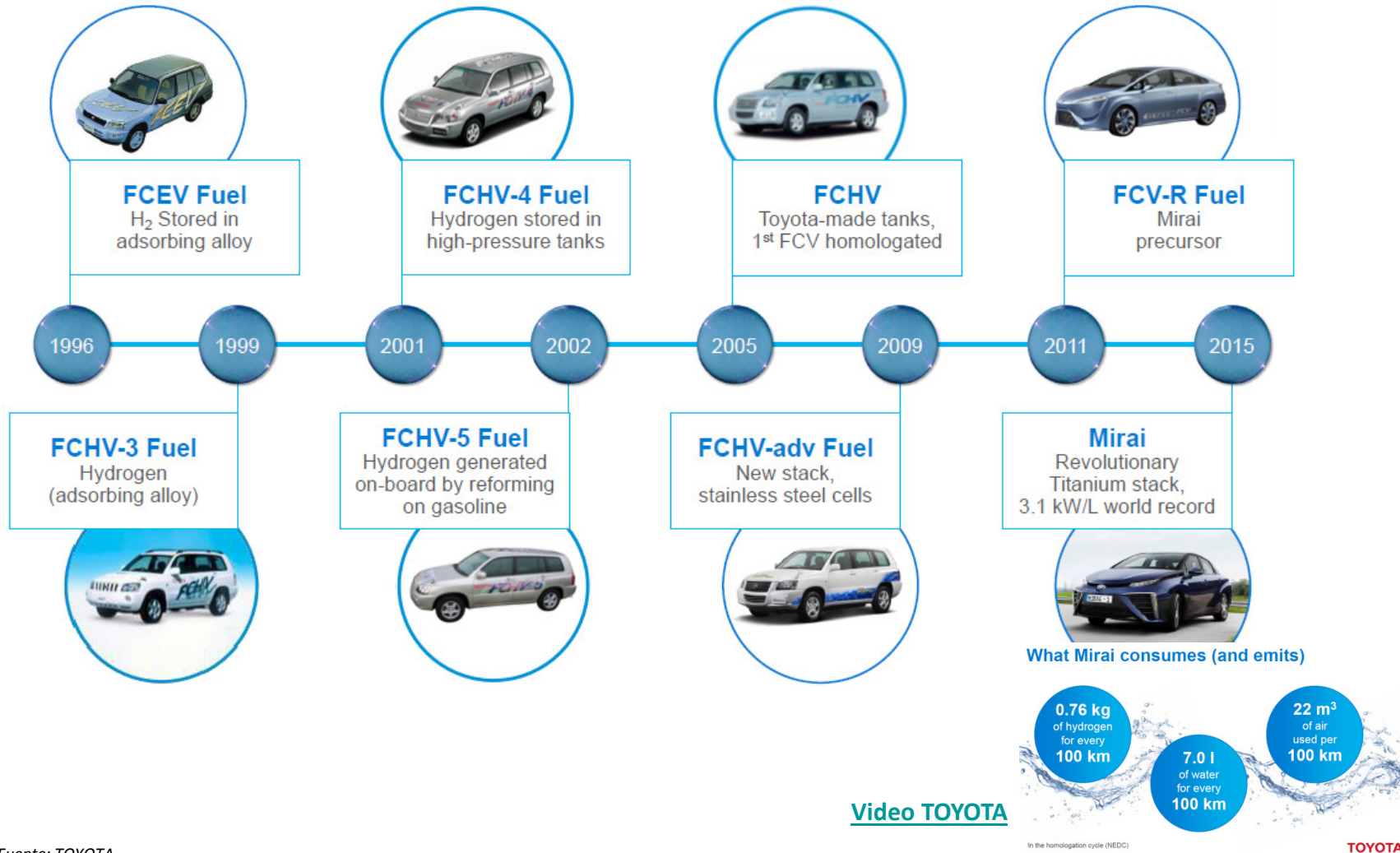


Fuente: HYUNDAI

[Video Hyundai](#)

El H₂ clave en la transición energética

Developing Hydrogen FCV for 20 years



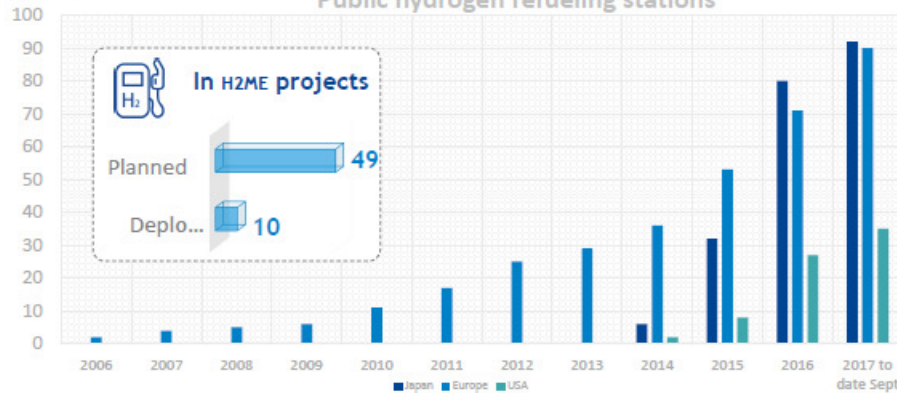
Fuente: TOYOTA

El H₂ clave en la transición energética

SITUACIÓN ACTUAL EN EUROPA- DESPLIEGUE DE INFRAESTRUCTURA NECESARIA (FCHJU- CEF)

Source: FCH JU KM data collection file, 20/09/2017, public stations
USA-DoE & CaFCP, Japan-HysUT
To date ca. S1 2017

Public hydrogen refueling stations



	2018	2020	2022	2025	2030
Europe	100	-	-	(820~842)*	3750
China	12	100	-	350	1000
Japan	100	160	-	320	(900)
USA	35	100	-	200~225	-
S-Korea	0	-	310	-	-



* According to the action plan of Alternative Fuel Directive

Japan: Air Liquide opens a hydrogen station in Shichinomiya, Kobe



Nel ASA: Awarded frame contract for multiple hydrogen fueling stations in California by Royal Dutch Shell Plc

Development of a system for HRS availability in the EU

<https://h2-map.eu/>

Possible end users

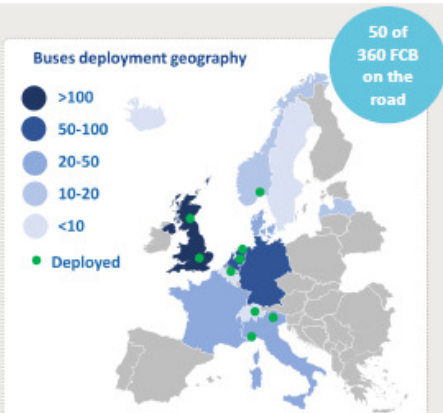
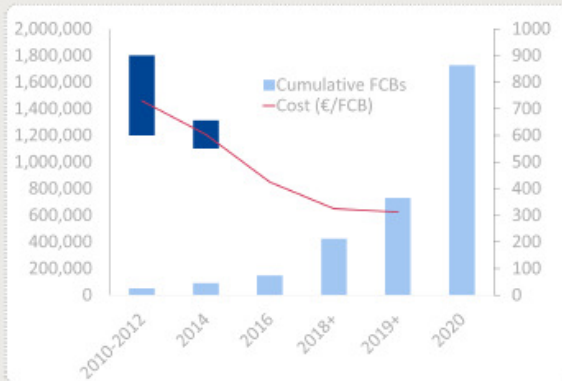
KPI	2017	2020	2030
Energy demand (kWh / kg H ₂)	10	5	3
System cost (Thousands € / kg H ₂ /day)	7	4 - 2,1	2,4 - 1,3
Availability (%)	95	96	99

Fuente: FCHJU - CEF

El H₂ clave en la transición energética

SITUACIÓN ACTUAL EN EUROPA- DESPLIEGUE DE BUSES

EU apoya el desarrollo de 360 buses que permite una reducción del precio del 66% vs 2010



Achieved

- > 6,000,000 km driven since projects started
- > 92 t of H₂ consumed only in 2017
- > 25,000 h lifetime reached
- 625,000 €/bus offered

88%
green hydrogen



From order to operation, a delivery time ~ 18 months

No.	Parameter	Unit	State of the art, SoA		FCH 2 JU target		
			SoA 2012	International SoA 2017*	Target 2020	Target 2024	Target 2030
1	Fuel cell system durability	h	10,000	16,000	20,000	24,000	28,000
2	Hydrogen consumption	kg/100 km	9	8.5	8.0	7.5	7.1
3	Availability	%	85	90	90	93	93
4	Yearly operation cost (including labour)	EUR/year	-	-	16,000	14,000	11,000
5	Fuel cell system cost	EUR/kw	3,500	1,500	900 (250 units)	750 (500 units)	600 (900 units)
6	Bus cost	kEUR	1,300	650	625 (150 units)	600 (250 units)	500 (300 units)



Reduction of downtime by:

- Easier access to spare parts
- Integration of FC maintenance in bus preventative schedule
- Dedicated pits at bus depots
- Presence of OEM staff on-site



10 European OEM's are developing Hydrogen buses: "<http://www.fuelcellbuses.eu>"

Fuente: FCHJU

El H₂ clave en la transición energética

SITUACIÓN ACTUAL EN EUROPA- DESPLIEGUE DE CAMIONES

Mundialmente hay una clara tracción hacia los camiones de Hidrógeno debido a la falta de autonomía de las baterías para estas aplicaciones

 **FCH-JU H2ME project Batt+RE**



 **REVIVE: H2 Garbage Trucks in 8 EU cities**



 **2018: Heavy Duty truck call for proposal**

Call 2018: 1 successful proposal under signature

Nicola Truck Toyota Truck @LA port

  **Partners planning 2,000 commercial trucks on the road by 2020**

 **ESORO COOP**



 **ASKO-SCANIA**



 **VDL - COLRUYT**



  **Toyota and 7-eleven collaboration**

  **Hyundai truck**

FCH-JU started with Fuel Cells in trucks for APU's but was found to expensive, therefor focus shifted to developing and testing trucks with range-extendors or fuel cell only e.g.: garbage trucks in mayor cities.

Hyundai signs deal to sell 1,000 hydrogen-powered trucks in Switzerland

Hyunjoo Jin

HOME NEWS PUBLICATIONS SPECIAL REPORTS STAKEHOLDERS EBOOKS SUBSCRIBE

Open Access News Energy News

Norway aims for 1000 hydrogen trucks by 2023

September 18, 2018

Fuente: FCHJU

El H₂ clave en la transición energética

SITUACIÓN ACTUAL EN EUROPA- DESPLIEGUE DE FERROCARRIL

Ya existen las primeras unidades circulando con pasajeros en Alemania (Coradia iLint)



- 42% of EU railway not electrified
- H₂ train requires half the investment vs full electric train (catenary 1 million € / km)

- 17 Sept. '18 commercial operation starts in Germany. Other EU countries are on the way

- FCH-JU + S2R JU cooperating in a joined study to look at business cases beyond Regional trains

Fuente: FCHJU

El H₂ clave en la transición energética

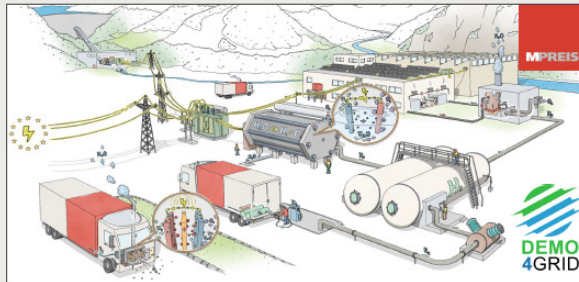
SITUACIÓN ACTUAL EN EUROPA- APLICACIONES MARÍTIMAS



Fuente: FCHJU

El H₂ clave en la transición energética

SITUACIÓN ACTUAL EN EUROPA- APLICACIONES INDUSTRIALES



3.4 MW electrolyser at MPREIS (bakery plant) in Völs

- The green H₂ is produced from hydro-electricity (from Alps)
- 1st phase: it is used to heat the ovens to bake the bread
- 2nd phase: distribution by using H₂ trucks

DURATION: 2017-2022; project 7.74 M€ (2.93 M€ by FCH-JU)



<https://www.demo4grid.eu/>



6 MW electrolyser at VOESTALPINE (steel plant) in Linz

- The green H₂ is produced from hydro-electricity (from Alps)
- It is used to produce steel in this way the industry can make a first step towards CLEAN STEEL

DURATION: 2017-2021; project 18 M€ (12 M€ by FCH-JU)

<https://www.h2future-project.eu/>

22



10 MW electrolyser at SHELL in Köln

- The green H₂ is produced from curtailed wind energy due to a full electricity grid.
- The produced H₂ will be injected in the natural gas grid (part of it can be used for Shell internal processes)

DURATION: 2018-2022; project 16 M€ (10 M€ by FCH-JU)



(Website under preparation)



150/30kW Reversible electrolyser, Salzgitter

- To operate a high-temperature Electrolyser as reversible generator (rSOC, reversible Solid Oxide Cell) in the industrial environment of an integrated iron and steel work.
- The system is flexible to produce either H₂ or electricity.

DURATION: 2016-2019; project 4.5 M€ (100% by FCH-JU)

<http://www.green-industrial-hydrogen.com/home/>

23

Fuente: FCHJU

El H₂ clave en la transición energética

SITUACIÓN ACTUAL EN ESPAÑA

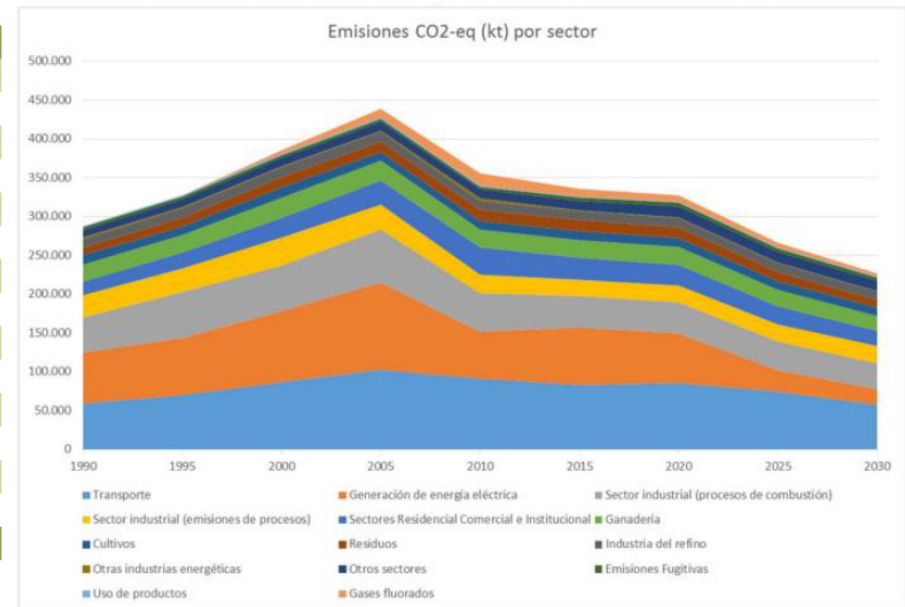
Tabla 1.1 Evolución de las emisiones (miles de toneladas de CO₂ equivalente)

Años	1990	2005	2015	2020*	2025*	2030*
Transporte	59.199	102.310	83.197	85.722	74.638	57.695
Generación de energía eléctrica	65.864	112.623	74.051	63.518	27.203	19.650
Sector industrial (procesos de combustión)	45.099	68.598	40.462	40.499	37.246	33.530
Sector industrial (emisiones de procesos)	28.559	31.992	21.036	21.509	22.026	22.429
Sectores residencial, comercial e institucional	17.571	31.124	28.135	26.558	23.300	19.432
Ganadería	21.885	25.726	22.854	23.247	21.216	19.184
Cultivos	12.275	10.868	11.679	11.382	11.086	10.791
Residuos	9.825	13.389	14.375	13.657	11.898	9.650
Industria del refino	10.878	13.078	11.560	12.247	11.607	10.968
Otras industrias energéticas	2.161	1.020	782	721	568	543
Otros sectores	9.082	11.729	11.991	14.169	13.701	13.259
Emisiones fugitivas	3.837	3.386	4.455	4.715	4.419	4.254
Uso de productos	1.358	1.762	1.146	1.231	1.283	1.316
Gases fluorados	64	11.465	10.086	8.267	6.152	4.037
Total	287.656	439.070	335.809	327.443	266.343	226.737

*Los datos de 2020, 2025 y 2030 son estimaciones del Escenario Objetivo del PNIEC.

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica, 2019.

Figura 1.1. Emisiones CO₂ equivalente por sector. Histórico y proyección a 2030 (kt)



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica, 2019.

22/02/2019-Consejo de Ministros aprueba:

- ✓ Anteproyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética
- ✓ Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNEC)

El H₂ clave en la transición energética

SITUACIÓN ACTUAL EN ESPAÑA

MARCO DE ENERGÍA Y CLIMA
Anteproyecto de Ley de **Cambio Climático**
Estrategia de **Transición Justa**
Plan Nacional Integrado de **Energía y Clima**

Se abre un diálogo con Bruselas para culminar su aprobación a finales de año

El Gobierno de España envía a la Comisión Europea el borrador del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Ley de Cambio Climático y Transición Energética

- Renovar paulatinamente el parque automovilístico con modelos de menores emisiones para culminar en 2050 con vehículos **sin emisiones de CO₂**
- Definir un sistema de indicadores de impactos y adaptación al **cambio climático**

El Consejo de Ministros da luz verde al anteproyecto de Ley de Cambio Climático

Objetivo PNEC a 2030

- ✓ 21% reducción emisiones CO₂
- ✓ 42% de renovables sobre consumo total energía
- ✓ 74% renovable en la generación eléctrica
- ✓ 39,6% mejora eficiencia energética

Objetivo PNEC a 2050: neutralidad climática

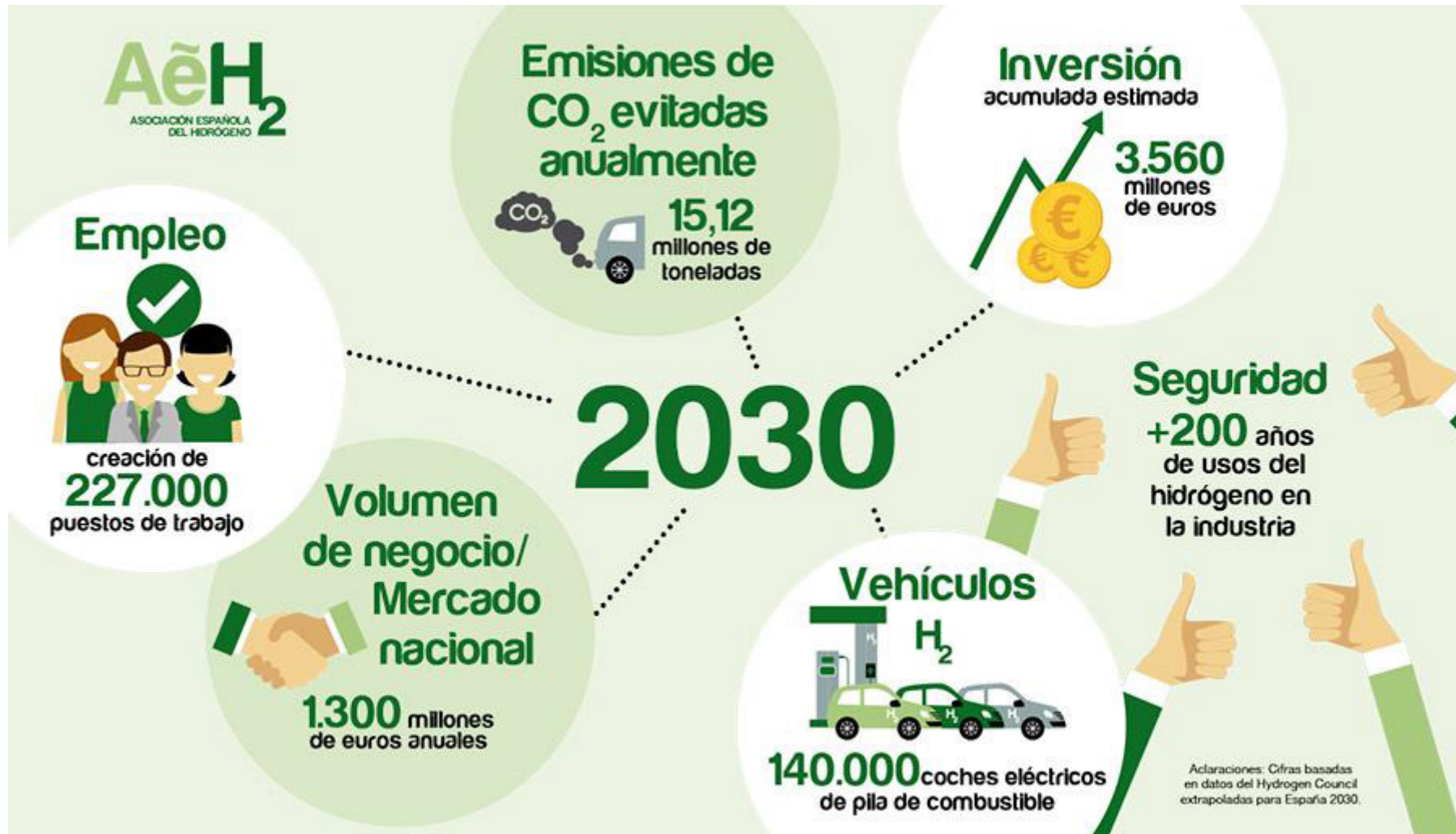
- ✓ 90% reducción emisiones CO₂
- ✓ Sistema eléctrico 100% renovable

Anteproyecto Ley de Cambio climático y Transición Energética-apuesta por movilidad sostenible

- ✓ Parque de turismos y vehículos comerciales ligeros sin emisiones directas de CO₂ en 2050
- ✓ Fomento de combustibles alternativos, como el gas renovable, el biometano y el **hidrógeno**

El H₂ clave en la transición energética

IMPACTO DEL HIDRÓGENO EN ESPAÑA



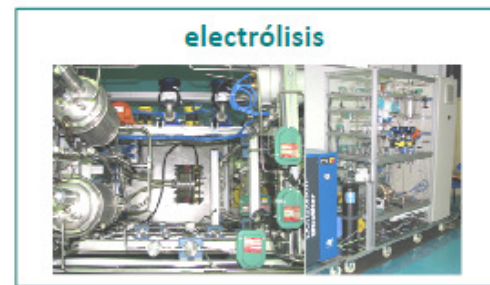
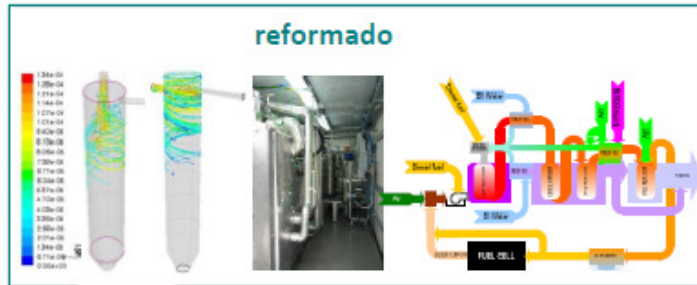
Actividades realizadas en el campo del Hidrógeno - CIDAUT

cidaut 



Actividades realizadas en el campo del Hidrógeno - CIDAUT

Producción de hidrógeno



Usos del hidrógeno

sector transporte

Tranvía H2
Modelos energéticos

APU SOFC

Seguridad
Sensores H₂

sector residencial

Adaptación a demanda residencial

Acoplamiento con recursos renovables y fósiles

sector industrial

Combustión mezclas H₂ con otros gases

Temperature

Flame shape

Fuel mass fraction

Más de 20 años trabajando para el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno

Próximas actividades/proyectos Hidrógeno - CIDAUT

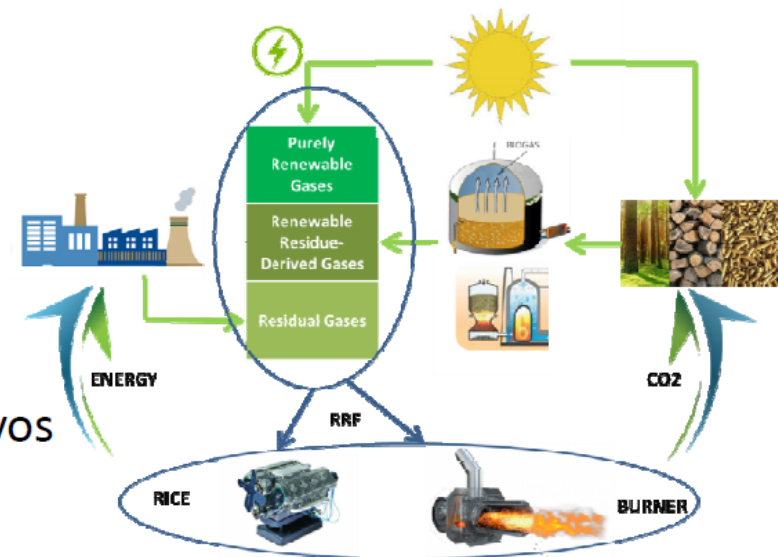
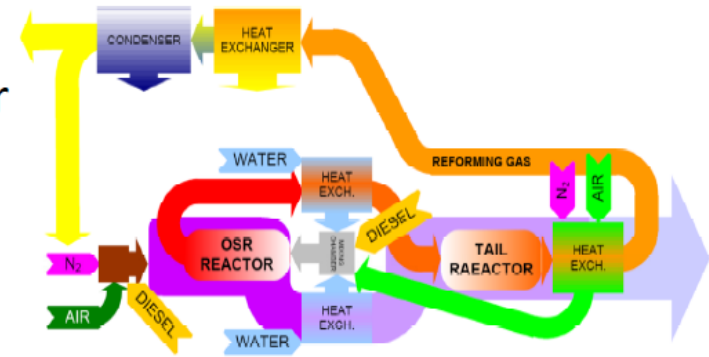
H₂ Generación de hidrógeno por **reformado** a partir de sustancias renovables

H₂ Generación de hidrógeno a partir de **electrólisis** con electricidad de origen renovable

H₂ Integración de tecnologías del hidrógeno para **vehículos** y aplicaciones especiales con requerimientos importantes en **autonomía y peso**

H₂ Procesos de **combustión de H₂ y sus mezclas** con otros gases (CRRES-RRF):

- Quemadores
- Motores de combustión interna alternativos

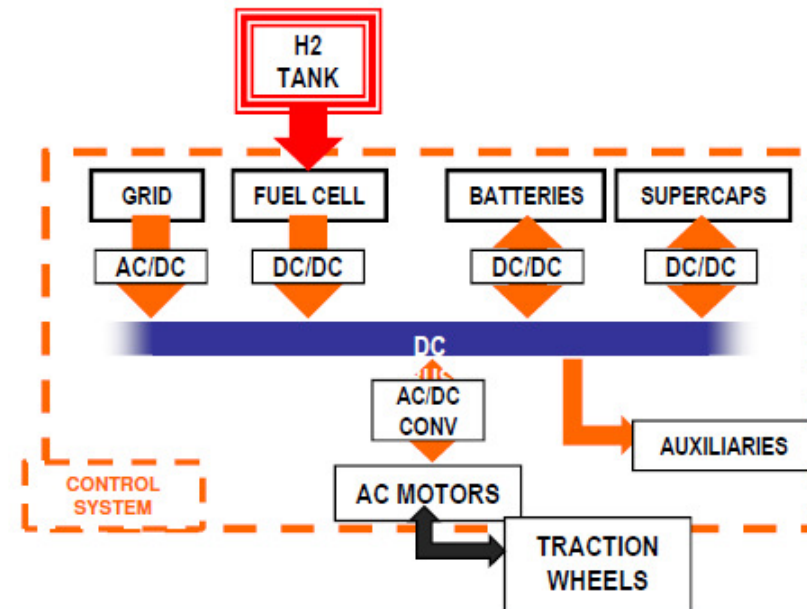
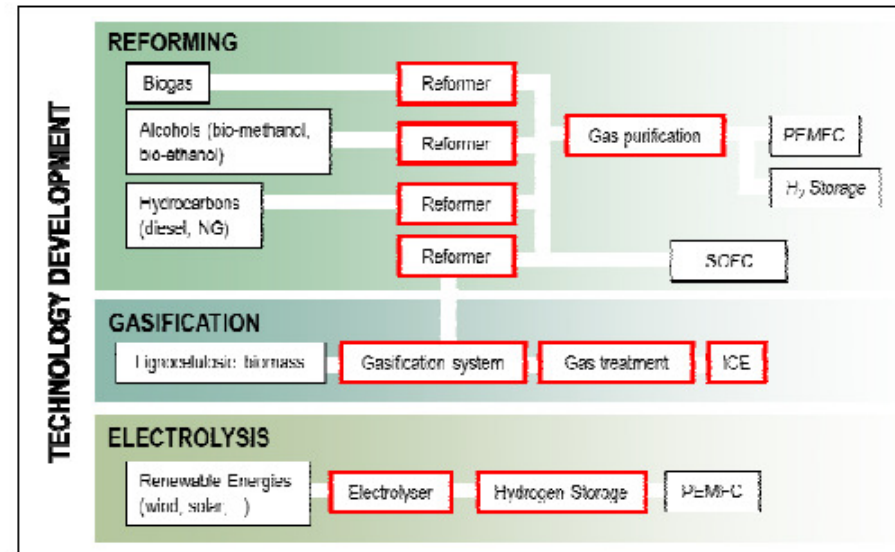


Futuro del Hidrógeno - CIDAUT

H₂ Desarrollo de procesos y sistemas para la **generación de hidrógeno** a partir de recursos renovables o para aplicaciones especiales, mediante **reformado, gasificación o electrólisis**

H₂ Integración de **redes de H₂** con las actuales infraestructuras de redes de gas y redes eléctricas

H₂ Implementación de la **tecnología de H₂** para las aplicaciones de movilidad eléctrica **con autonomía aumentada**



CIDAUT, motor de innovación

cidaut

Henar Olmedo marolm@cidaut.es

GRACIAS POR SU ATENCIÓN