

Hidrógeno verde: integración de generación, consumo y ecodiseño

Moderador: IMDEA Energía, Félix Marín, responsable de Desarrollo y Transferencia de Tecnología.

Alsa, Miguel Ángel Alonso, Director de Ingeniería.

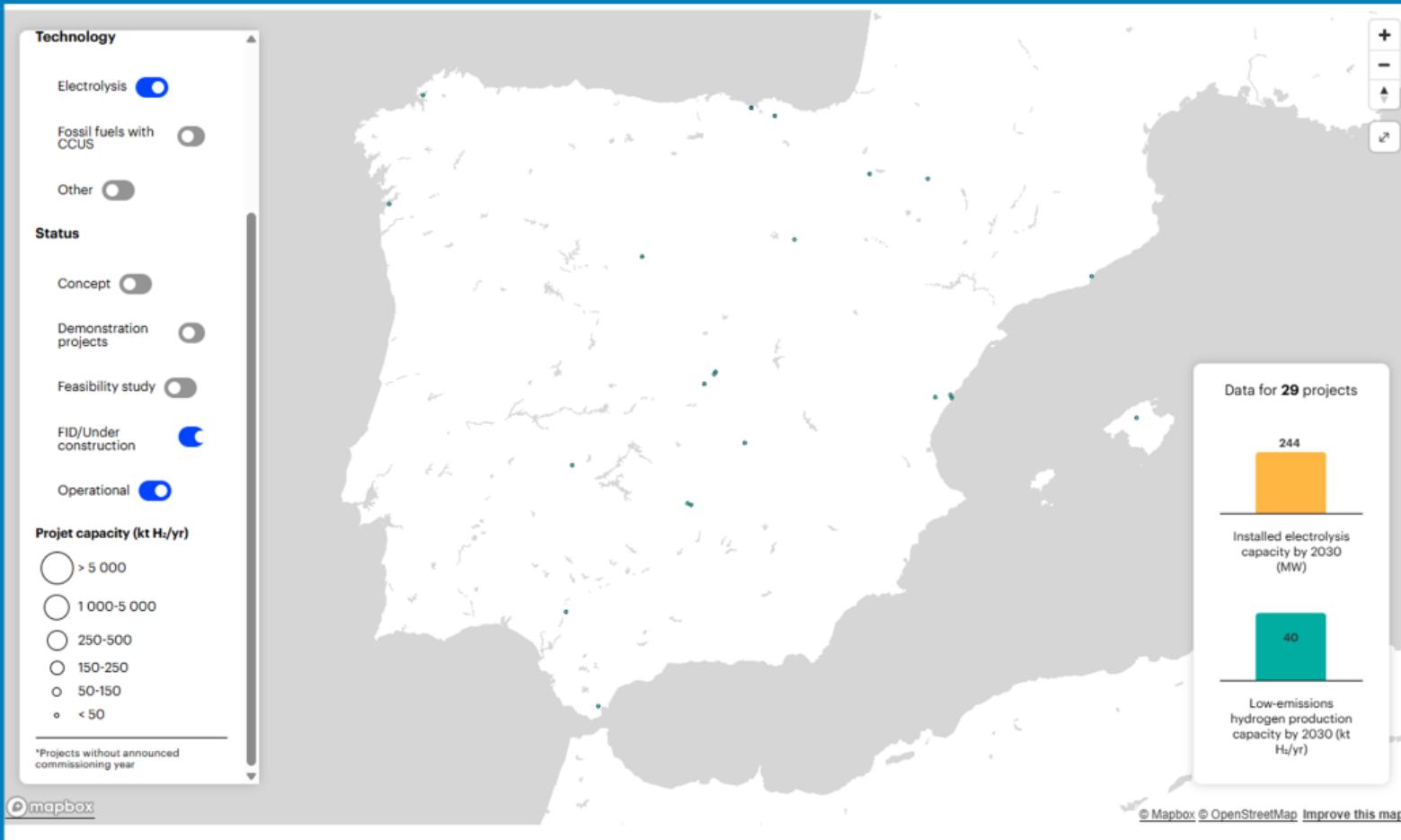
IMDEA Energía, María Beatrice Falasconi, Investigadora.

Matteco, Gonzalo Abellán, Co - Fundador y CTO.

Moeve, Carlos Alberto Prieto, Coordinador Dpto. Tecnologías de Transición Energética del Centro de Innovación.

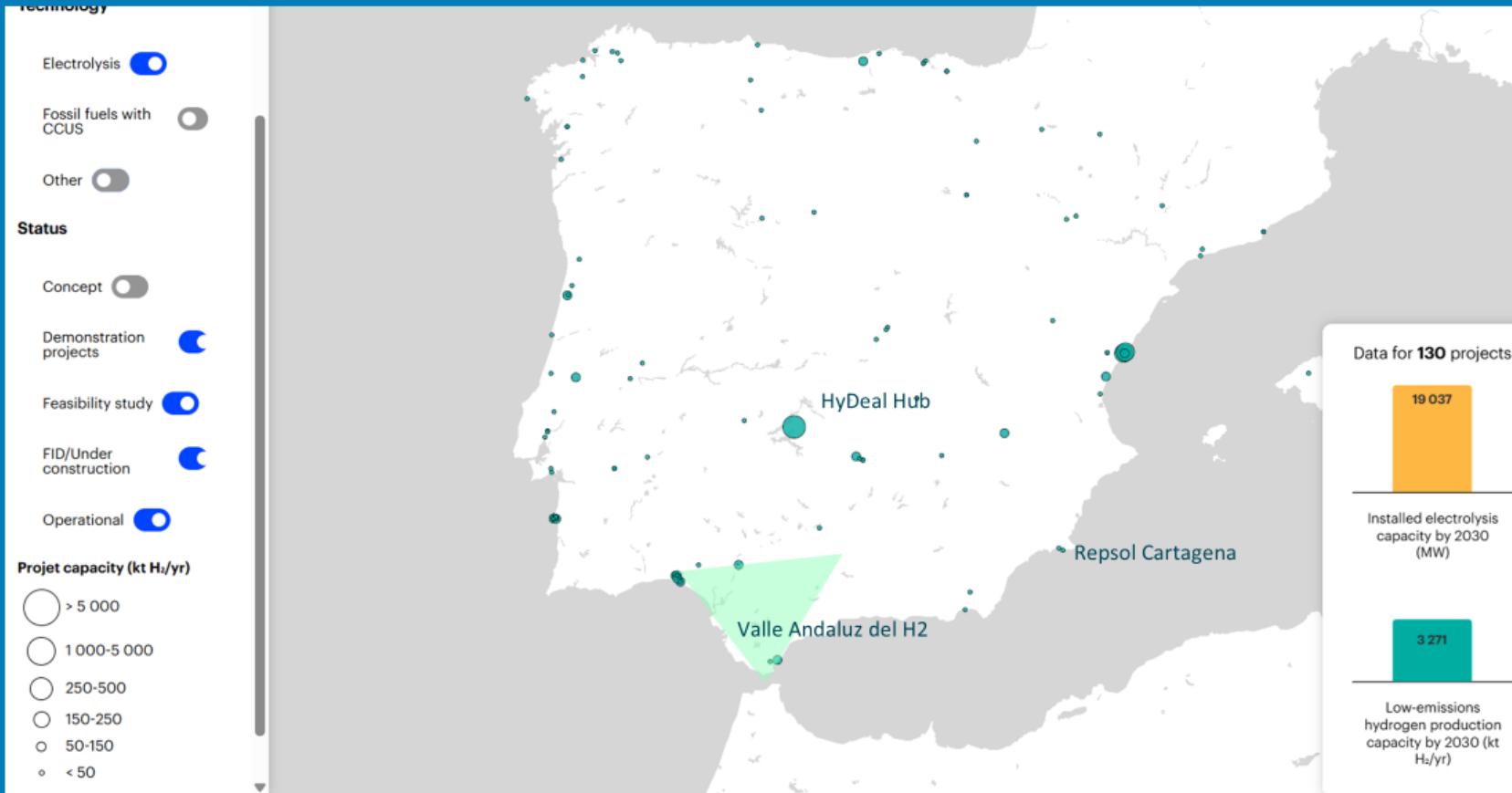
Genera 19-11-2025

Proyectos en España y Portugal. FID y Operativos



PNIEC 2030 = 12 GW
29 proyectos = 244 MW

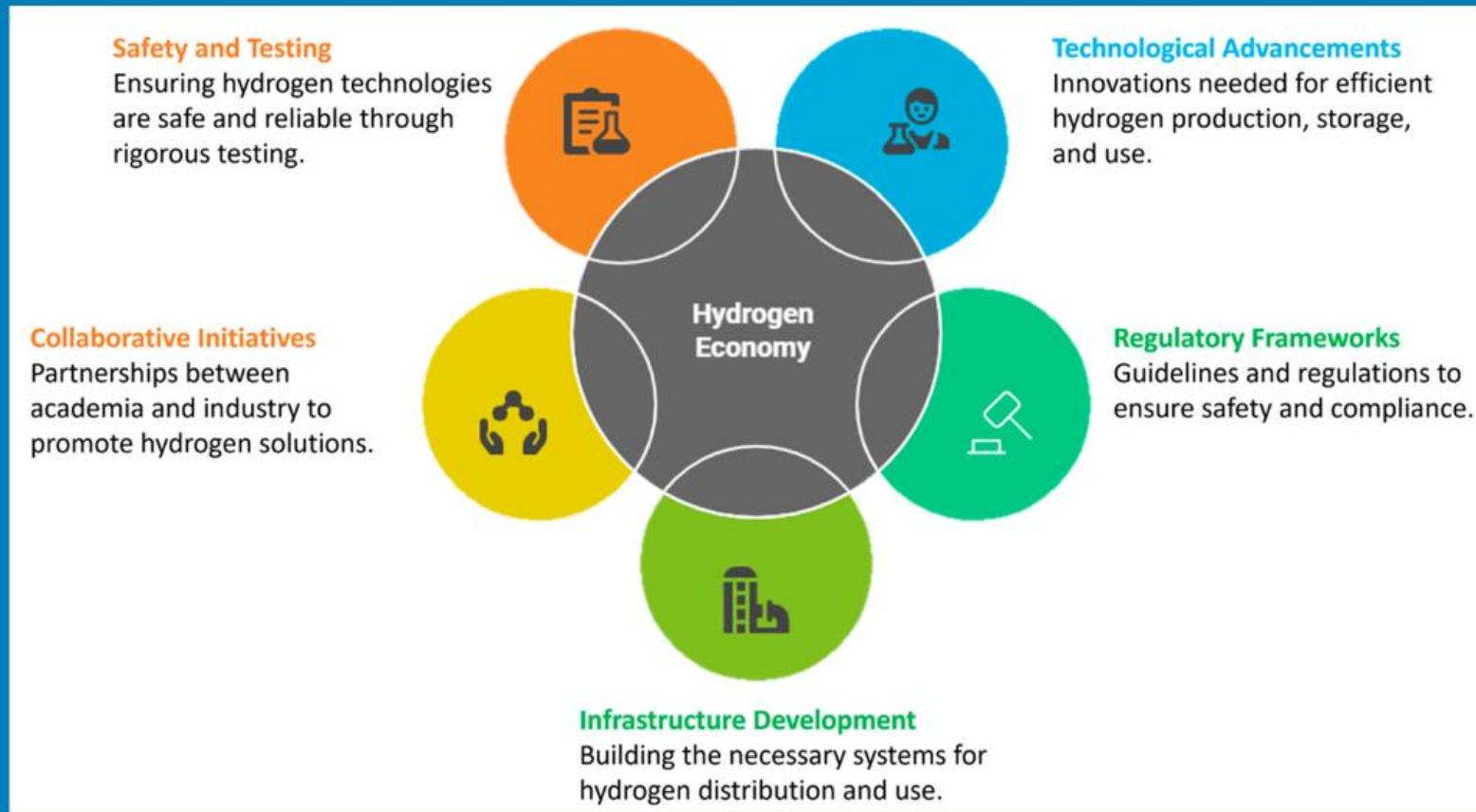
Proyectos en España y Portugal. Feasibility, FID y Operativos



PNIEC 2030 = 12 GW

130 proyectos = 19.04 GW

Hidrógeno verde: retos en el lado de la oferta y la demanda



Nayebossadri, S.; Walsh, M.; Smailes, M. *An Overview of the Green Hydrogen Value Chain Technologies and Their Challenges for a Net-Zero Future*. *Hydrogen* 2025, 6, 26. <https://doi.org/10.3390/hydrogen6020026>

22

Hidrógeno, la promesa energética verde

Motivo 1: Ambiental Descarbonización de la economía

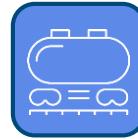
Alternativa en sectores difíciles de electrificar



Industrias
pesadas



Transporte
larga distancia



Almacenamiento
de energía

Puede contribuir a reducir hasta

6 Gt/año

de emisiones de CO₂ hasta 2050

Motivo 2: Geopolítica Independencia energética

Europa importa hoy

70%

de la energía que consume

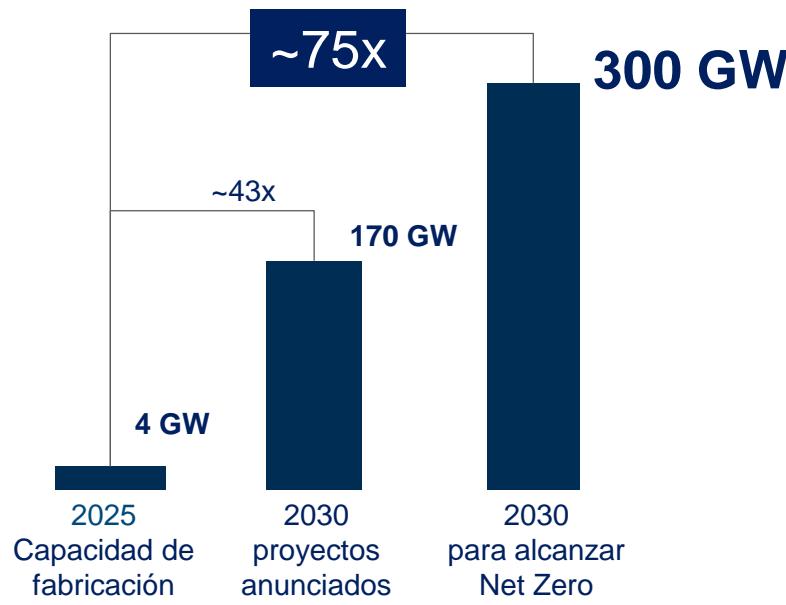


Fuente: Eurostat, IEA

Oportunidad | Tamaño del mercado

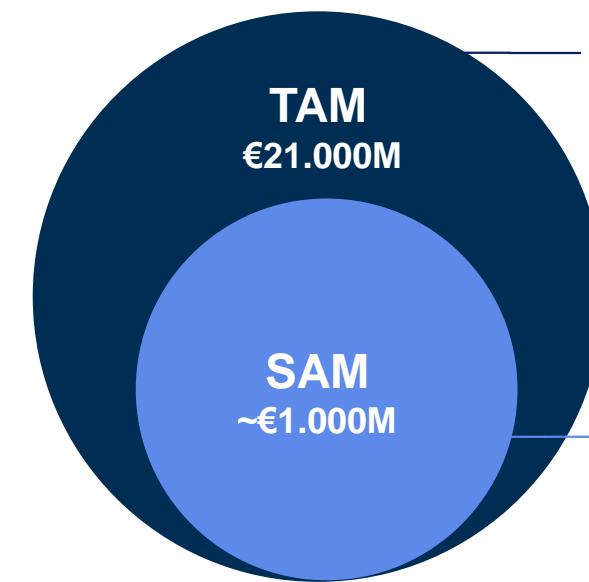
- La capacidad de electrólisis instalada se espera que crezca ~75x en 2030.
- Mercado preparado para expandirse hasta 300 GW en 2030 para emisiones cero en 2050

Previsión de la capacidad total instalada de electrólisis
(2025-30, en gigavatios)



Fuente: International Energy Agency (IEA)

Mercado potencial a 2030



Mercado total disponible (TAM)
para electrodos (70 GW de capacidad total instalada, IEA 2025 - mercado calculado considerando 296 GW de nueva capacidad para 2030)

Mercado disponible atendible (SAM)
para electrodos alcalinos y AEM (se prevé una cuota de mercado del 45% para los alcalinos y del 10% para los AEM)

Oportunidad | Tecnologías

- Cuatro tipos de electrólisis para satisfacer la demanda
- La tecnología alcalina es la más madura de las cuatro tecnologías; AEM, la más prometedora

Cuatro tipos de electrólisis para satisfacer la demanda

Alcalina	Matteco
Comercial (~60% cuota)	
<input checked="" type="checkbox"/> Menor capex	
<input checked="" type="checkbox"/> Libre de PGMs	
<input checked="" type="checkbox"/> Madura	
<input type="checkbox"/> Menor eficiencia	
AEM	Matteco
Early stage	
<input checked="" type="checkbox"/> Mayor eficiencia	
<input checked="" type="checkbox"/> Menor capex	
<input type="checkbox"/> En I+D	
PEM	
Comercial (~30% cuota)	
<input checked="" type="checkbox"/> Probada	
<input type="checkbox"/> Mayor capex	
<input type="checkbox"/> Requiere PGMs	
SOEC	
Early stage	
<input checked="" type="checkbox"/> Mayor eficiencia	
<input type="checkbox"/> Requiere más calor	
<input type="checkbox"/> En I+D	

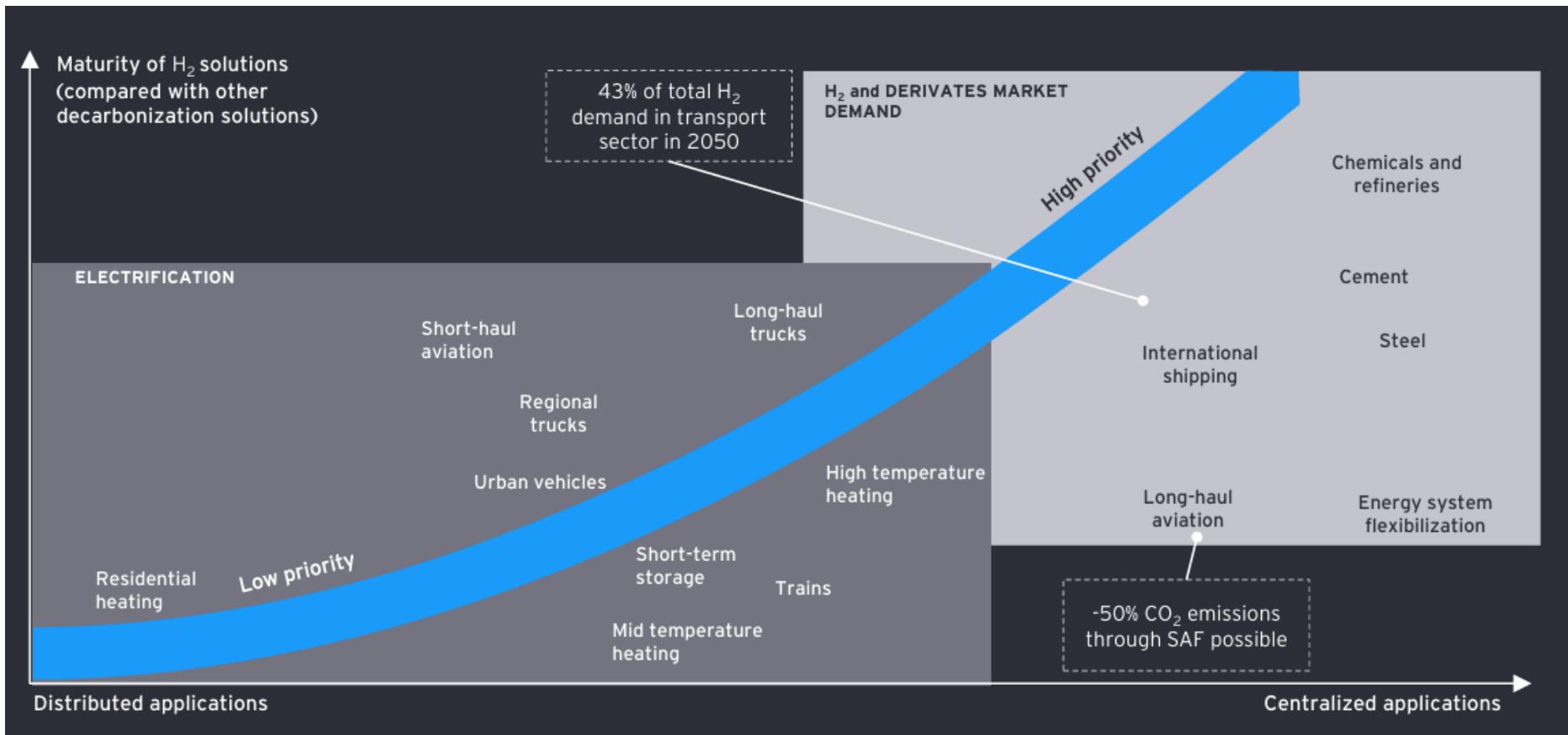
Proyección del coste de los electrolizadores por tecnología (€/kW)

	2024	2030
Alcalina	950	530
AEM	550	300
SOEC	1.250	850
PEM	1.000	550

Fuente: IEA (2025), Clean H2 (2022), International Journal of Hydrogen Energy (2025)

Sectores de crecimiento

- Las tendencias globales del mercado muestran una fuerte utilización del hidrógeno y una clara diferenciación de casos de usos y sectores en comparación con la electrificación



Fuente: EY

Cadena de valor y rutas comerciales

- Las nuevas cadenas de valor globales del hidrógeno permitirán en los próximos años exportar energía renovable a los centros de demanda mundiales



Fuente: EY

Potencial de crecimiento e inversión

- Empresas y agentes del ecosistema se están posicionando a través de megaproyectos y corredores verdes, mientras las instituciones públicas despliegan sus hojas de ruta

España acelera su apuesta por el hidrógeno verde con inversiones récord hasta 2030

por Belén Valdehita | Ago 14, 2025 | Aplicaciones, Proyectos e Investigación | 0 Comentarios



H2med Alliance Adds 40 New Members to Accelerate Deployment of Europe's Most Advanced Hydrogen Corridor

By Fuel Cells Works
September 26, 2025 at 9:26 AM EDT



Bruselas concede 992 millones a 15 proyectos de hidrógeno, 8 de ellos de España

Los proyectos ubicados en España, Alemania, Países Bajos, Finlandia y Noruega producirán alrededor de 2,2 millones de toneladas de hidrógeno renovable en un periodo de 10 años

Redacción
20/05/2025

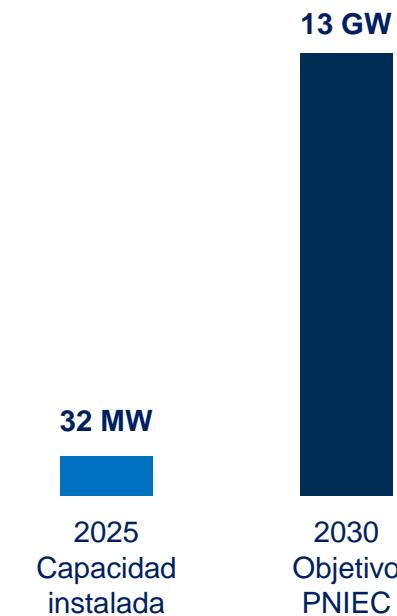


España albergará la mayor planta de hidrógeno verde de Europa con una inversión superior a €3.000 millones

Por Revista Economía - 12 septiembre, 2025



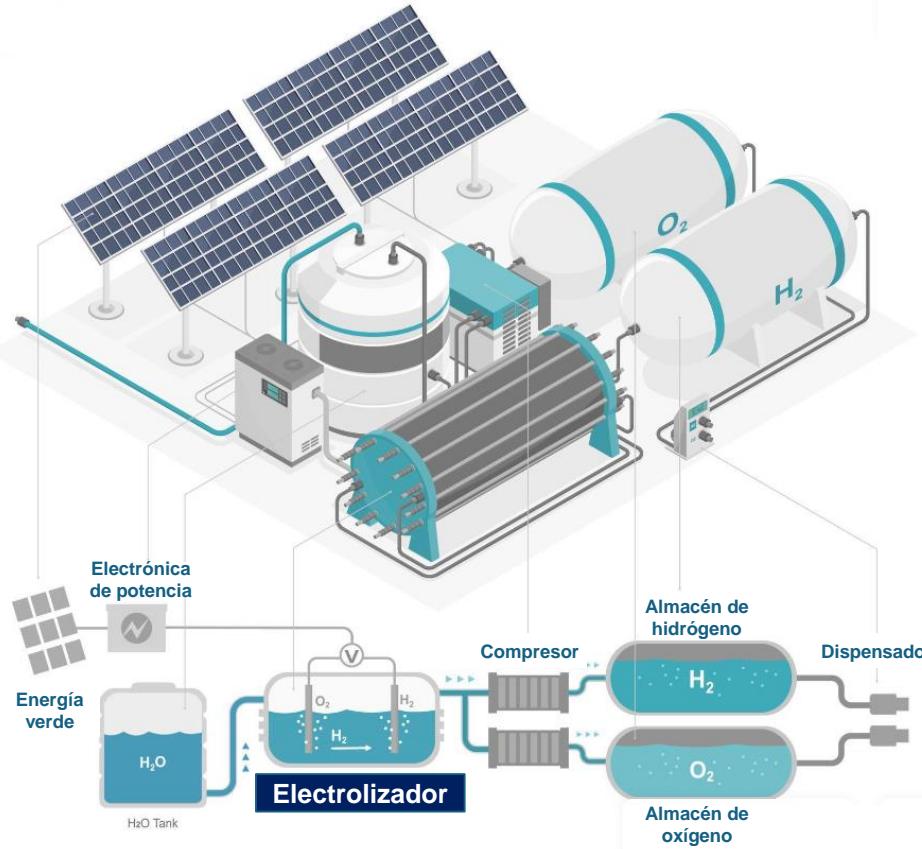
Capacidad instalada de electrólisis en España 2025 vs. objetivo del PNIEC a 2030



Fuente: AeH2 (2025)

- Situados en el corazón del proceso de producción del hidrógeno verde

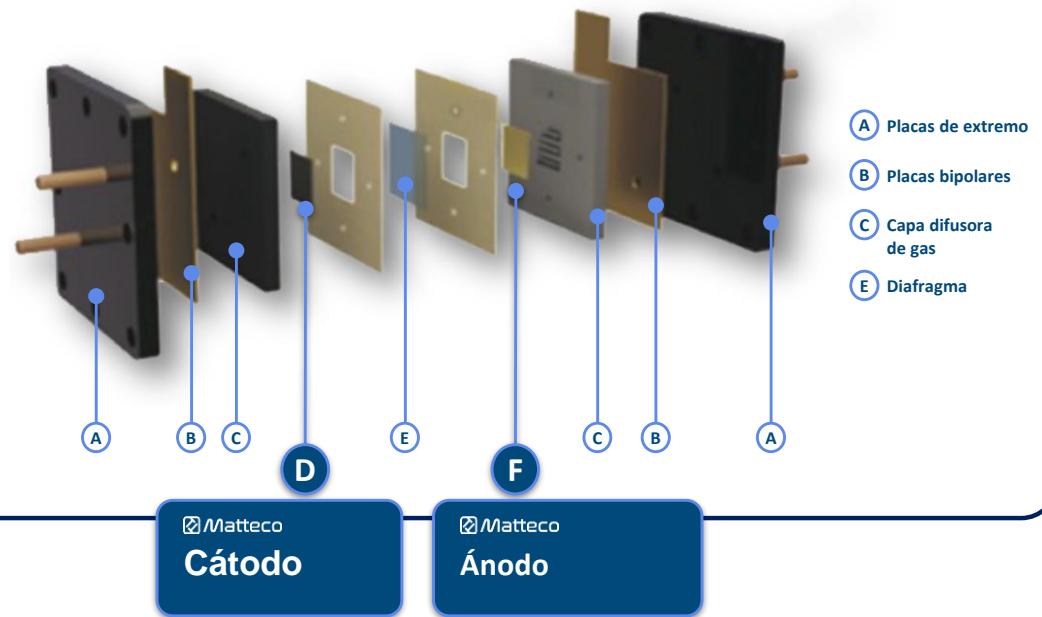
Esquema de una planta de hidrógeno



Esquema de una celda de electrólisis

La celda de electrólisis es el componente clave del electrolizador, donde tiene lugar la reacción que permite obtener hidrógeno verde a partir de agua.

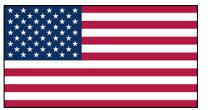
Los electrodos (ánodo y cátodo) son los componentes clave que determinan la eficiencia energética y, por tanto, el coste de este proceso.



Resumen de las tecnologías de electrólisis

	Alkalyne Electrolyser (AE)	Proton Exchange Membrane Electrolyser (PEME)	Anion Exchange Membrane Electrolyser (AEME)	Solid Oxide Electrolyser (SOE)
TRL (2024)	9–11 (mercado)	9–11 (mercado)	6–7 (pilot/demo)	7–8 (industrial demo)
Temperatura de funcionamiento [°C]	60–90	50–80	40–60	650–850
Consumo eléctrico «sistema» [kWh/kg H₂, LHV]	48–55	46–55	50–60	~35-40 (42-47 si vapor eléctrico)
Eficiencia eléctrica [% LHV]	61–70	61–72	55–70	88–95 (~71-79 si vapor eléctrico)
Dinámica y carga parcial	Buena (s–min) Rampa 20–100 %	Óptima (ms–s) Amplio rango	Similar a PEM	Más lenta (min–h) por inercia térmica
Vida útil de stack [h]	60,000–90,000	40,000–80,000	3,000–10,000	10,000–30,000
CAPEX típico «sistema» [USD/kW]	500	1000	1,000–1,800	2,500
Fortalezas principales	✓ Menor coste ✓ Madurez	✓ Alta densidad de corriente ✓ Dinámica rápida	✓ Materiales menos críticos (menos Pt/Ir) ✓ Potencial reducción coste	✓ Máxima eficiencia eléctrica (si hay calor disponible) ✓ Posibilidad de co-electrolisis
Puntos críticos principales	✗ Gas crossover/KOH ✗ Dinámica limitada	✗ Catalizadores nobles (Ir/Ru) ✗ Agua ultrapura	✗ Durabilidad aún limitada	✗ Alta T/integración calor y ciclos termicos

Proyectos SOE en el mundo



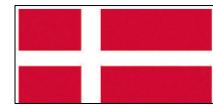
FuelCell
Energy



Idaho National Laboratory

4 MW
25 M USD

Bloomenergy®



TOPSOE
Making Energy Transition

500 MW
up to 5 GW
94 M€

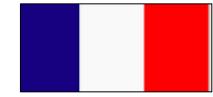


sunfire



SolydEra

2.6 MW
20 M€



Schlumberger

GENVIA

is now

slb

1 MW
30 M€



TNO innovation
for life



Institute for
Sustainable
Process Technology

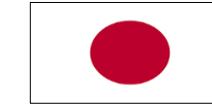


ceres®

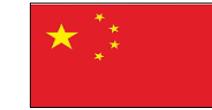


elcogen
Affordable green hydrogen

1 MW
15 M€



MITSUBISHI
HEAVY INDUSTRIES



SINOPEC

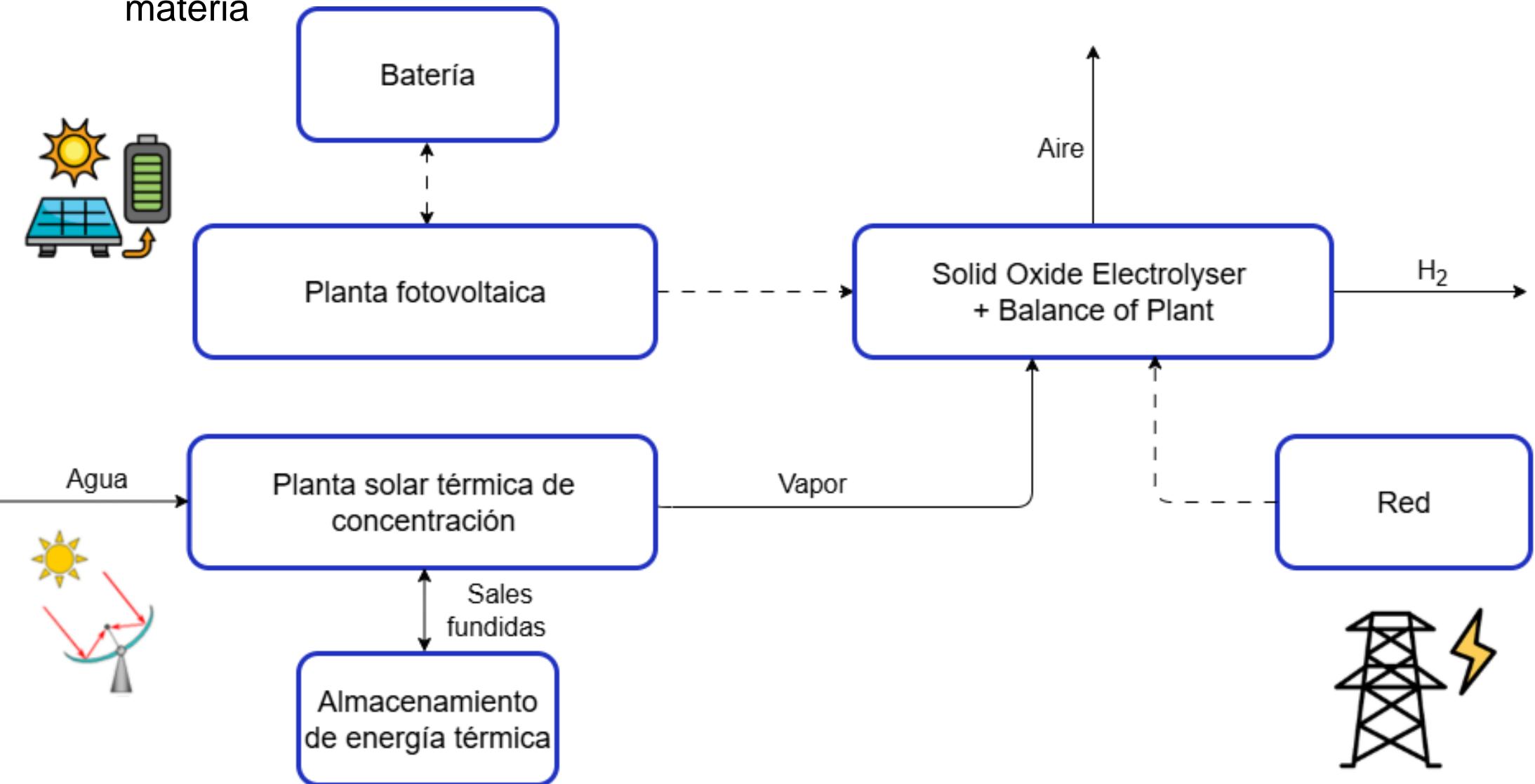
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES
中国科学院



Hysata

Metodología de integración entre SOE y plantas FV y CST

---> Electricidad
—> Flujos de materia

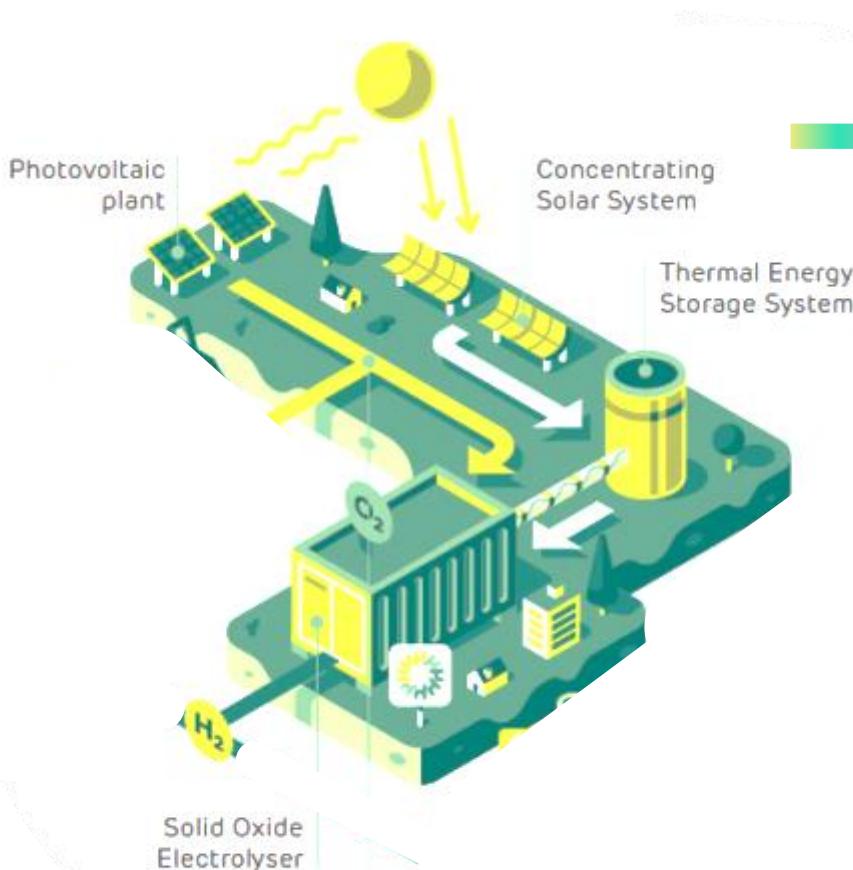




prometeo
GREEN HYDROGEN FROM SUNSHINE

Hydrogen PRODUCTION by MEans
of solar heat and power in high
TEmperature Solid Oxide Electrolyzers

Proyecto europeo Horizon 2020 PROMETEO



→ Caudal máxima del prototipo de 25 kW $\geq 15 \text{ kgH}_2/\text{day} = 7 \text{ Nm}^3/\text{h}$

→ $\geq 1,000$ horas funcionamiento del prototipo

→ Eficiencia Power-to-H2 (LHV): <39 kWh/kgH₂
 $\geq 85\%$

→ Eficiencia Solar-to-H2 (LHV) $\geq 10\%$

→ LCOH $\leq 2 \text{ €/kgH}_2$ (after 2030)

PROMETEO es un proyecto “orientado al producto”...
→ por lo que partimos de los requisitos de los usuarios finales.



Energy industry

- Gestión de restricciones
- Servicios de red
- Almacenamiento estacional
- On-grid & off-grid



Chemical industry

- Funcionamiento 24/7
- +5/-10 % de caudal
- Control de pureza H₂



SPAIN

Large renewable energy projects promotion platform focused on off/on shore wind energy, biodiesel, PV and



Gas industry

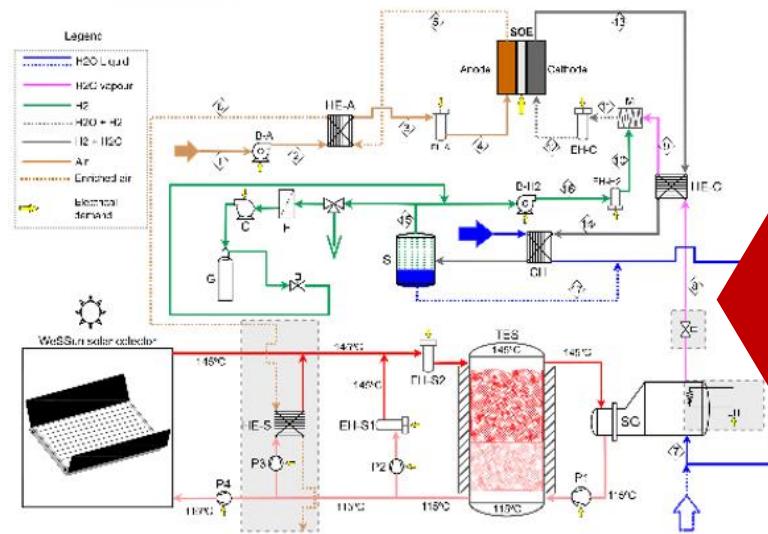
- Power-to-gas aplicación
- Mezclas H₂/GN
- Control de las propiedades del H₂



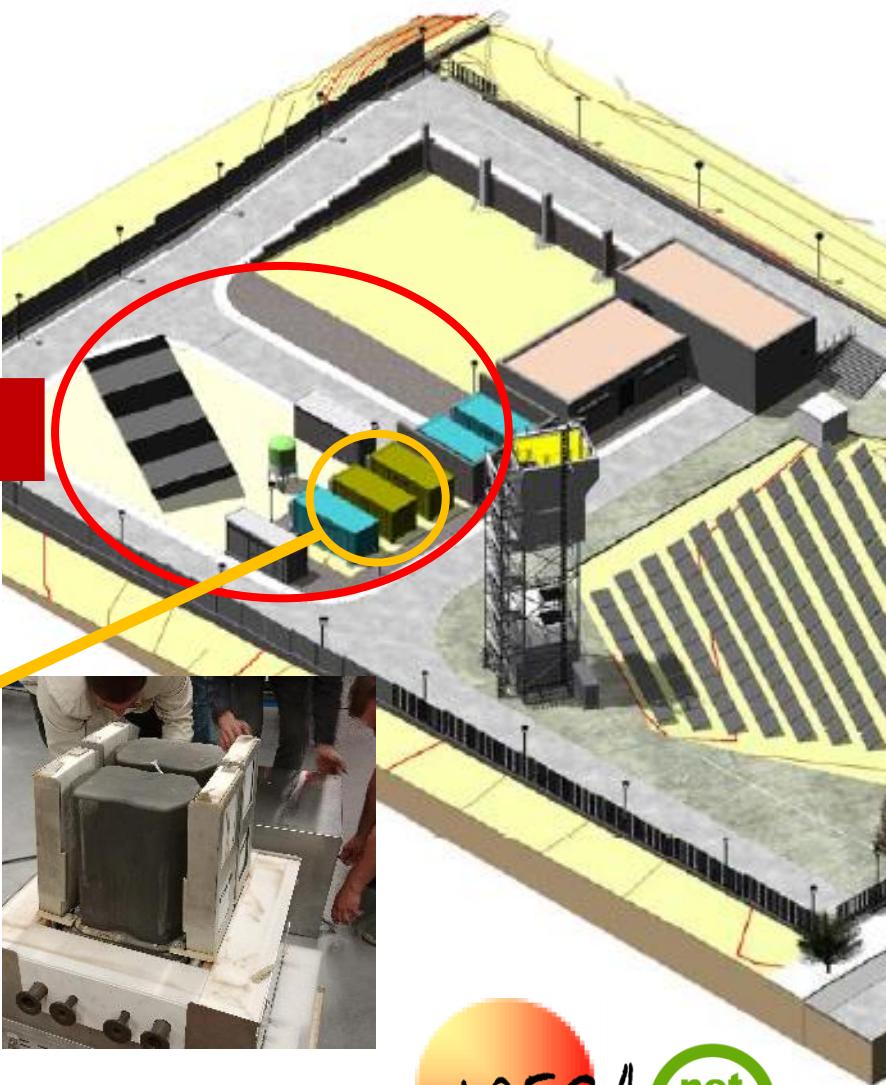
ITALY

Large energy infrastructure company, operating the largest natural gas transmission network and

Proyectos GREENH2-CM y ACES4NET0-CM



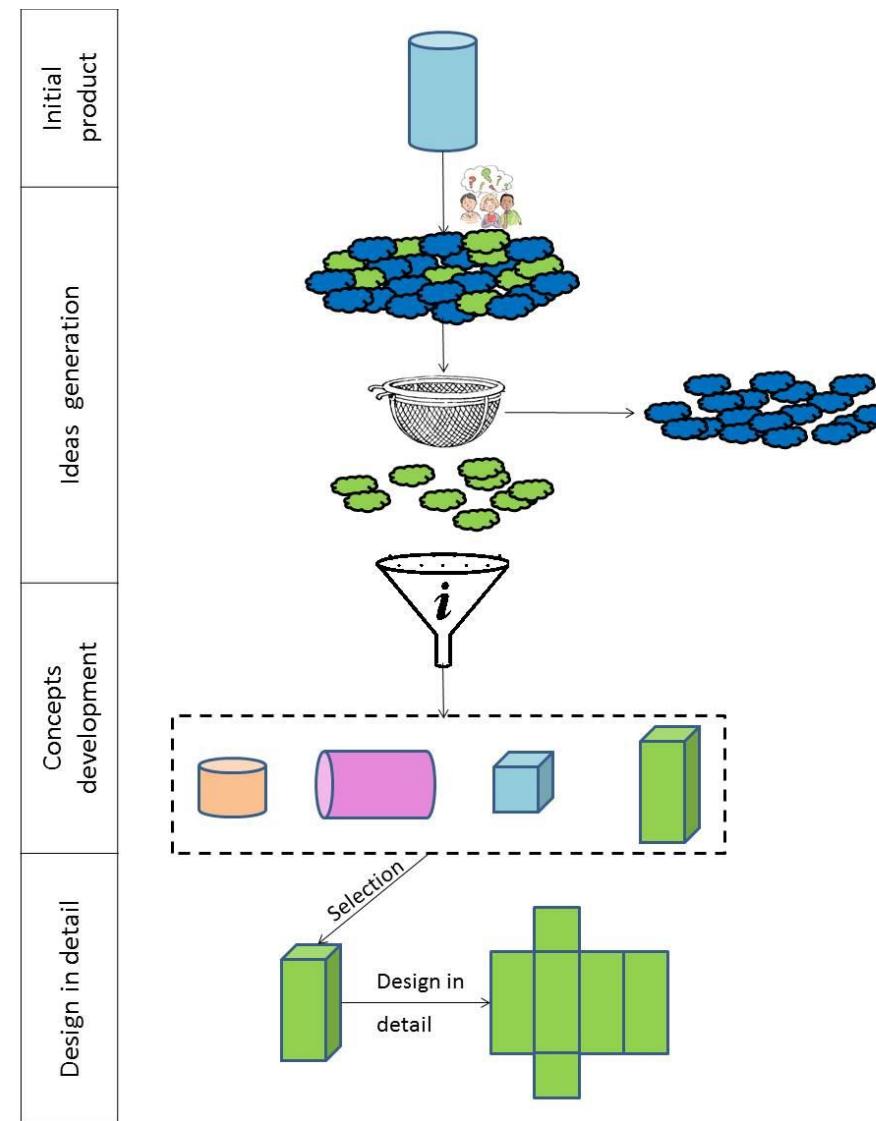
Plan de Recuperación,
Transformación y Resiliencia



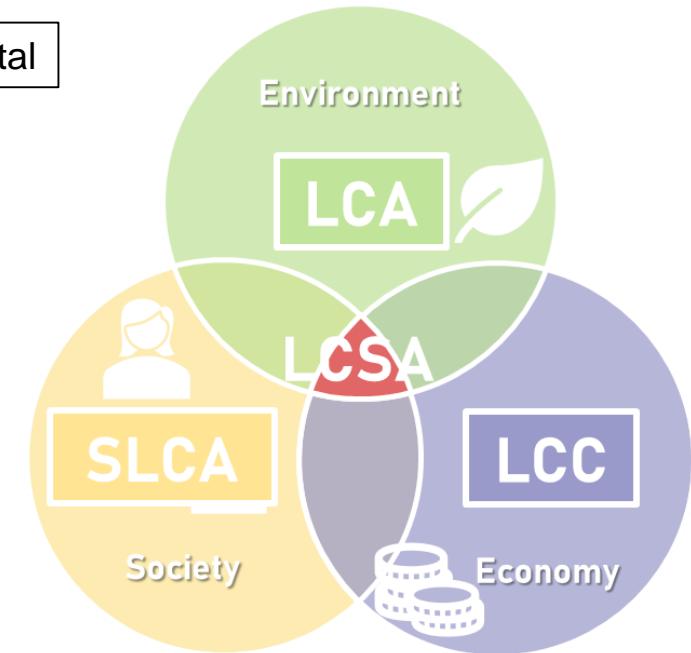
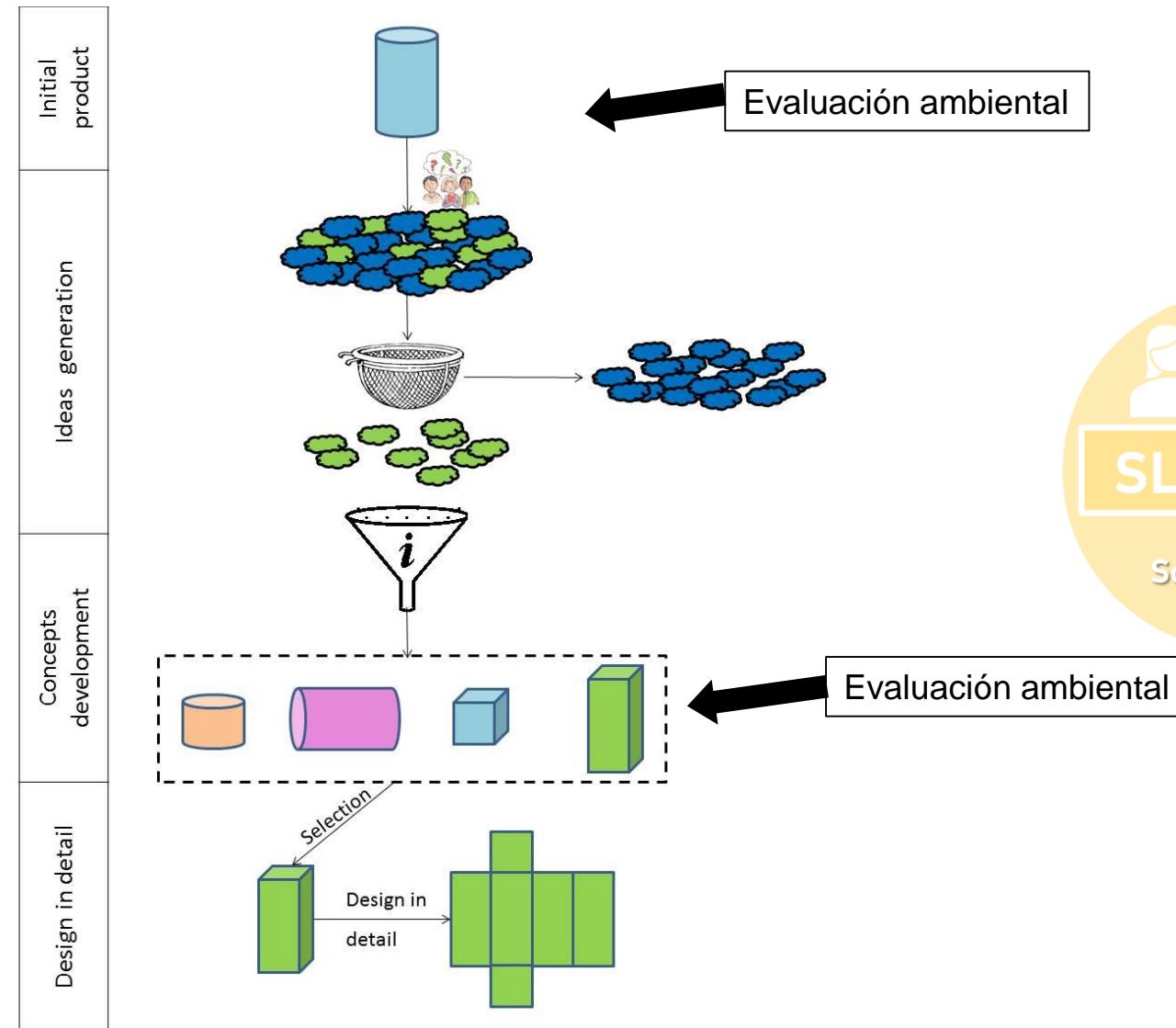
Sistema de generación de hidrógeno renovable

- Módulo SOEC de 9 kW con caja caliente de SolydEra
- Módulo SOEC de 10 kW con caja caliente de eGen
- Sistema BoP integrado en contenedor que incluye recuperación de calor, soplante de aire, generador de vapor (eléctrico), sistema de suministro de agua desmineralizada y sistema de control automático
- Lazo solar con circuito de generación de vapor
- Rack con 10 baterías Lithium Ecoline 48 V 2400 W de alto voltaje cada una y convertidor de corriente CA/CC.

Desarrollo típico de productos



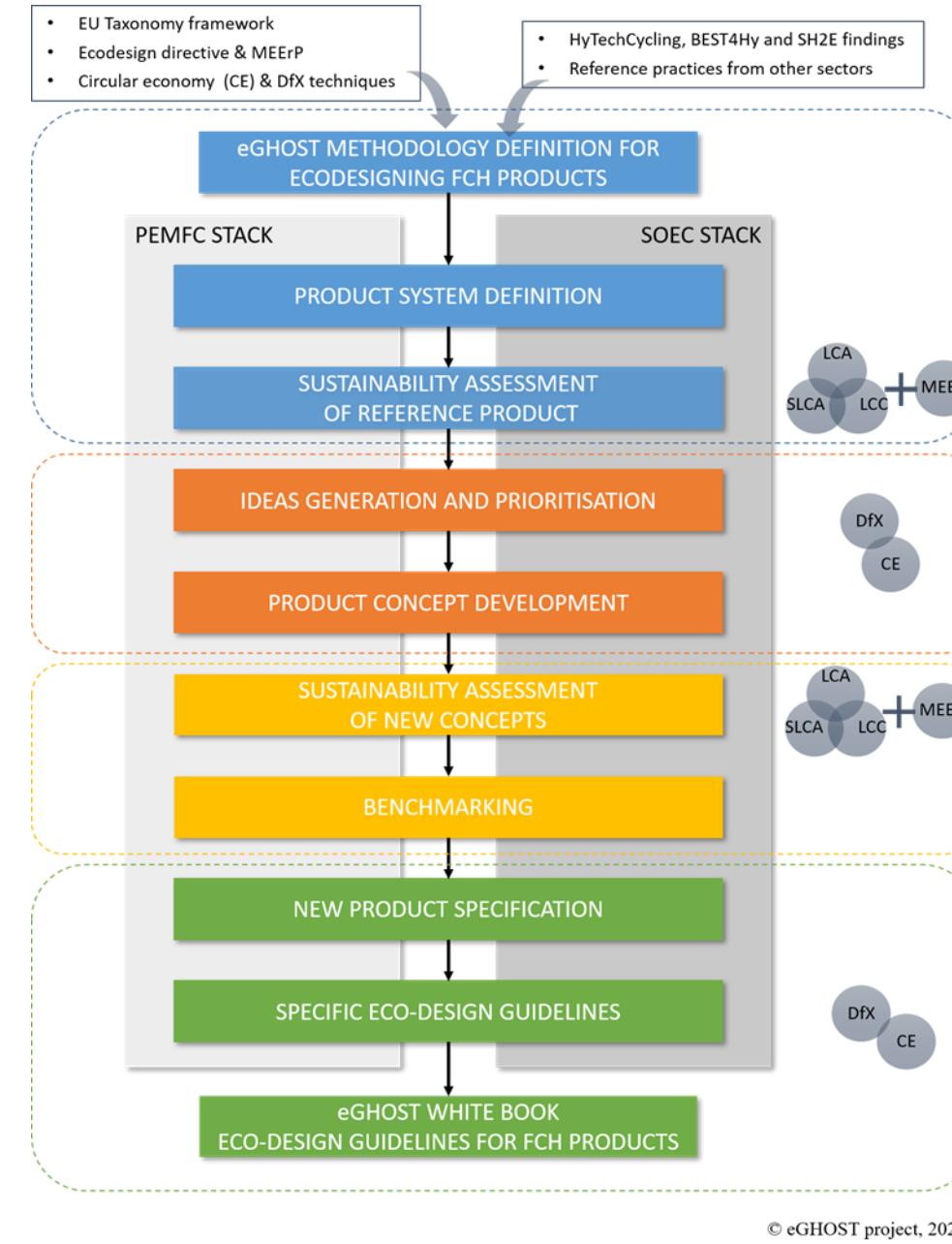
Ecodiseño de productos



- Primer hito en el ecodiseño de sistemas de hidrógeno.
- Proporciona directrices sólidas de diseño sostenible para tecnologías de H₂ en diferentes niveles de desarrollo.
- Guías específicas para stacks de PEMFC y SOE.

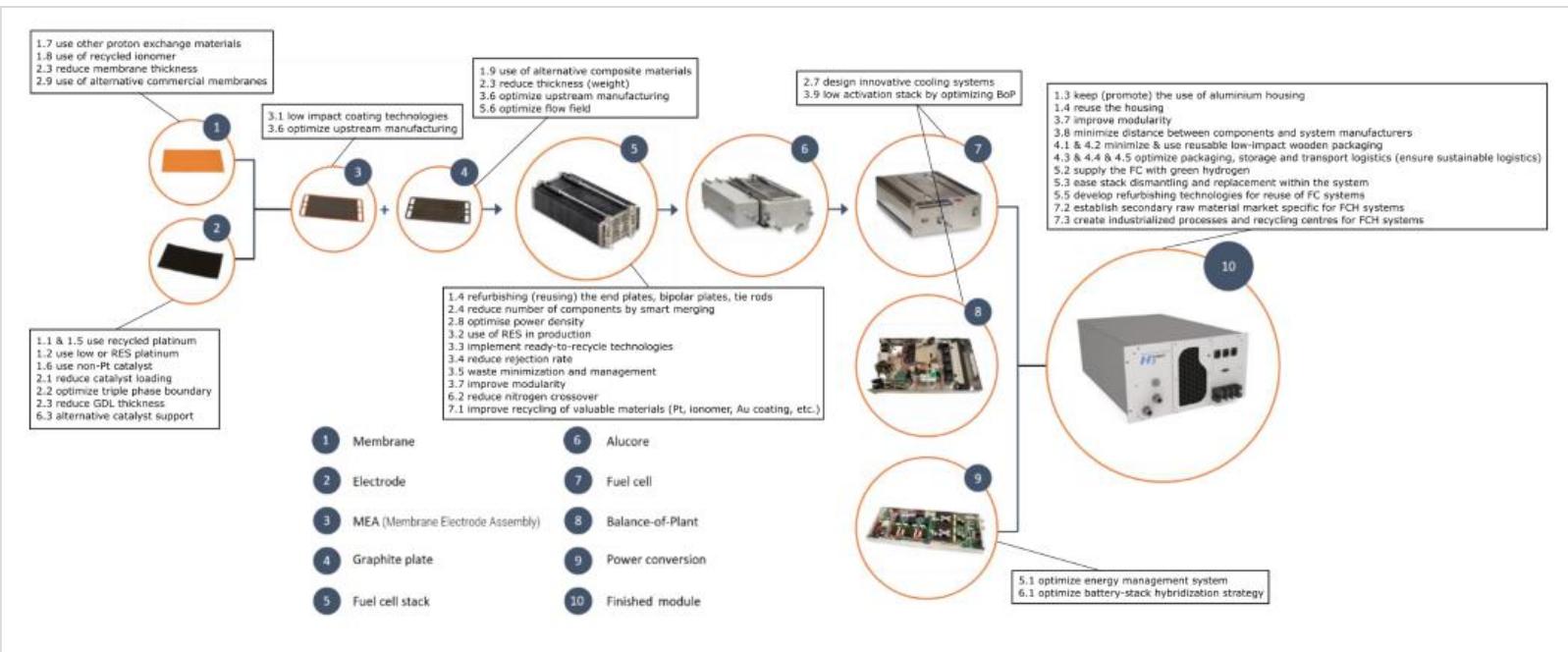


<https://eghost.eu/>

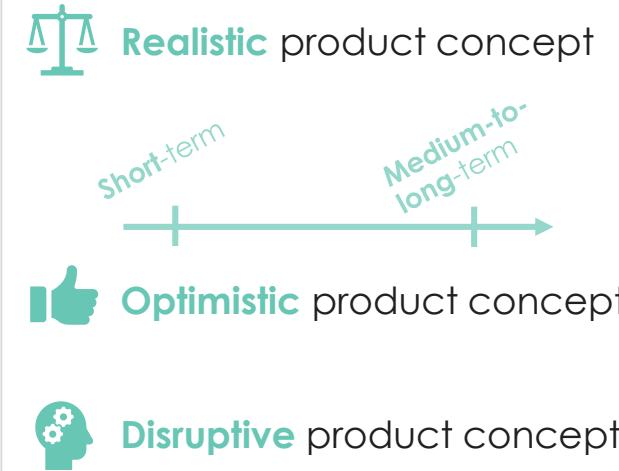


© eGHOST project, 2022

PEMFC STACK: PRODUCT CONCEPTS



Schematic of the fuel cell system and eco-design actions in developing product concepts (original image courtesy of Advent Technologies A/S) [eGHOST D3.2]



SOEC PRODUCT CONCEPTS



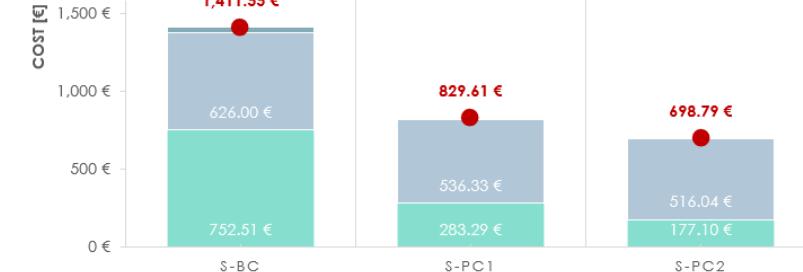
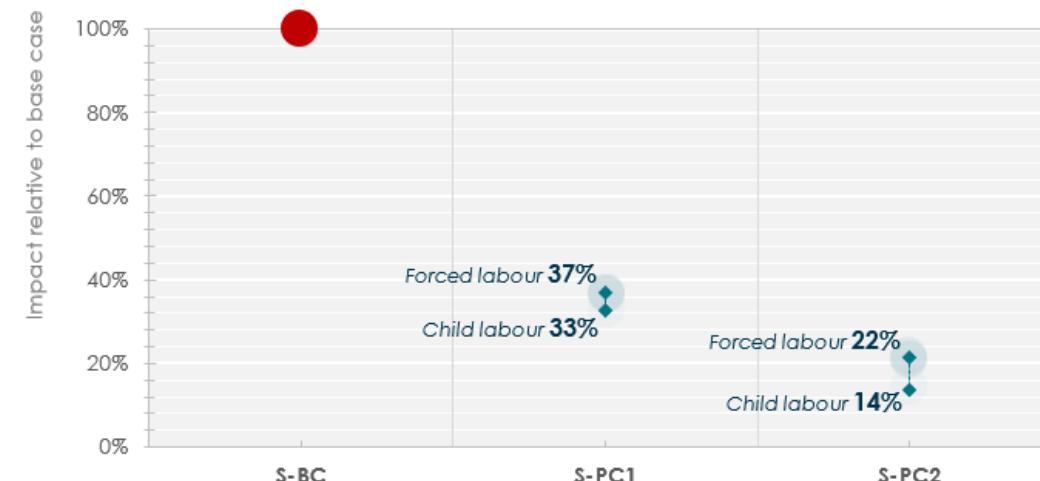
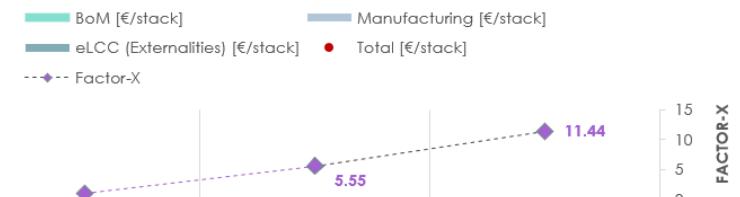
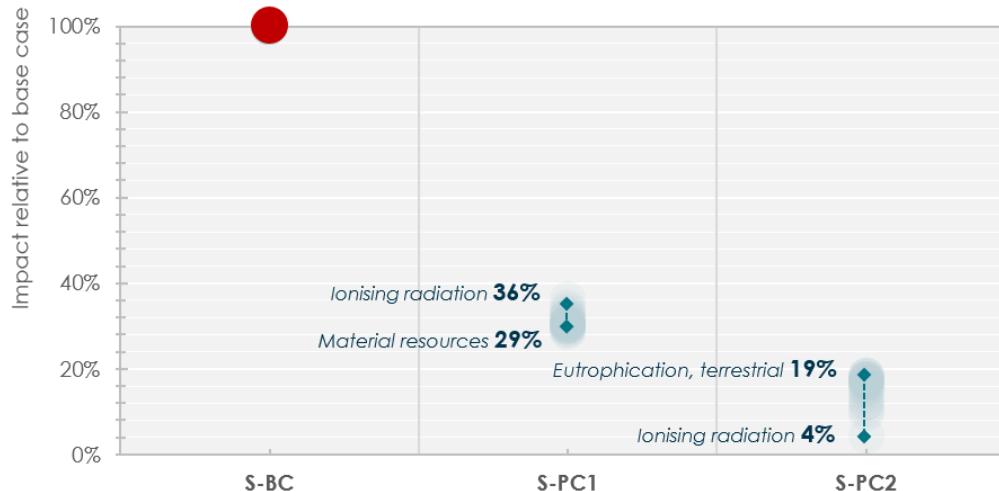
Enhanced realistic product concept



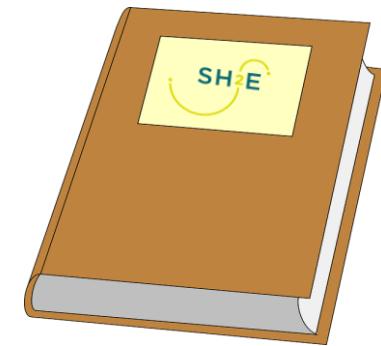
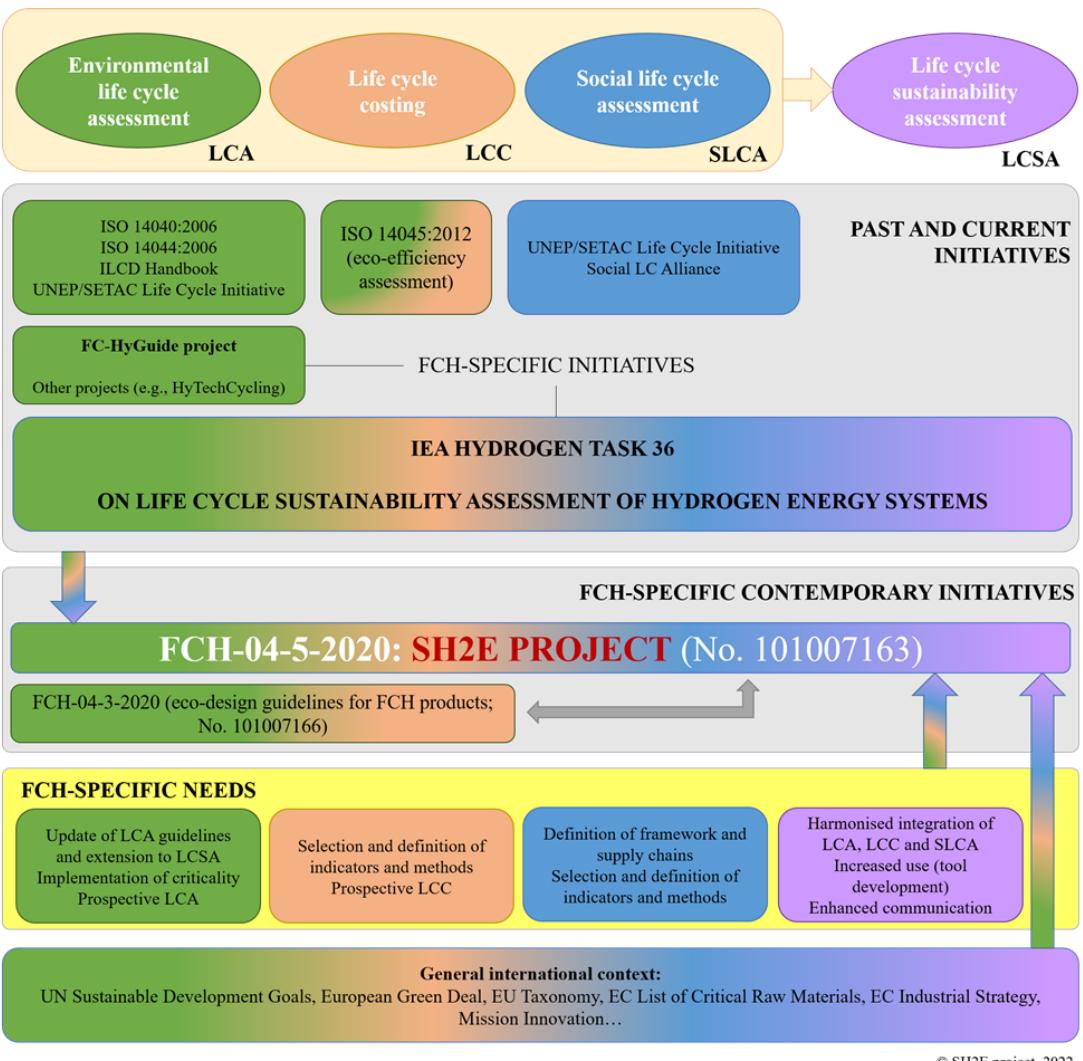
Optimistic product concept

Schematic of the solid oxide system and eco-design actions in developing product concepts (original image courtesy of Sunfire GmbH) [eGHOST D3.2]

SOEC PRODUCT CONCEPTS – SUSTAINABILITY EVALUATION



SH2E project

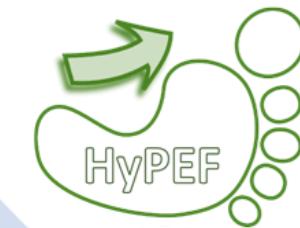
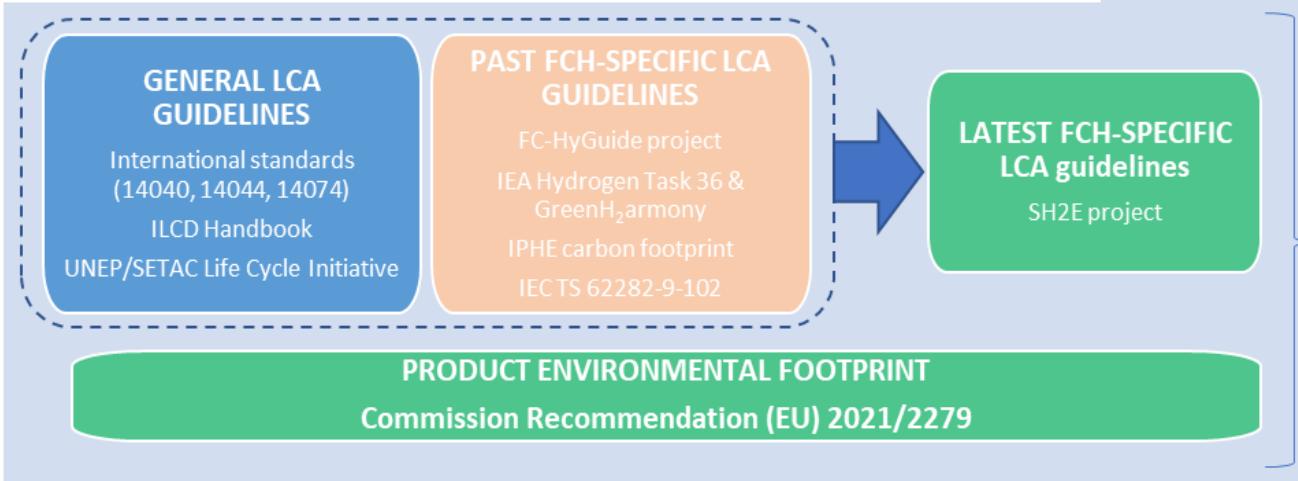


<https://sh2e.eu/>

- 1 document of FCH-LCA guidelines
- 1 document of FCH-LCC guidelines
- 1 document of FCH-SLCA guidelines
- 1 document of FCH-LCSA guidelines
- 1 integrated FCH-LCA/LCC/SLCA/LCSA software tool
- 2 FCH systems assessed and benchmarked from a life-cycle sustainability perspective

HyPEF project

ENVIRONMENTAL LIFE CYCLE ASSESSMENT & FCH PRODUCTS



FCH-PEFCRs

- ✓ Product categorisation & definition
- ✓ Formulation
- ✓ Testing
- ✓ Consultation and review
- ✓ Policy implications

HyPEF apoya y promueve el establecimiento de una economía del hidrógeno responsable con el medio ambiente mediante el desarrollo y la demostración de las primeras Reglas de Categoría de Huella Ambiental de Producto (PEFCR) específicas para los productos FCH.

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

GUESS-WHy targets three core aspects of the hydrogen value chain



Production

In production, we examine electrolyzers (including PEM, alkaline, and SOE) to ensure improved design concepts.

Storage

For storage, we focus on metal hydrides as innovative, safe-by-design solutions offering compactness, efficiency, and improved system integration.

Utilization

For utilization, we focus on fuel cells and hydrogen-fueled gas turbines to reduce environmental impacts while maximizing reliability.

El proyecto GUESS-WHy pretende mejorar la sostenibilidad y la seguridad de los sistemas de pilas de combustible e hidrógeno (FCH) promoviendo el enfoque seguro y sostenible desde el diseño, metodología SSbD.

GUESS-WHy

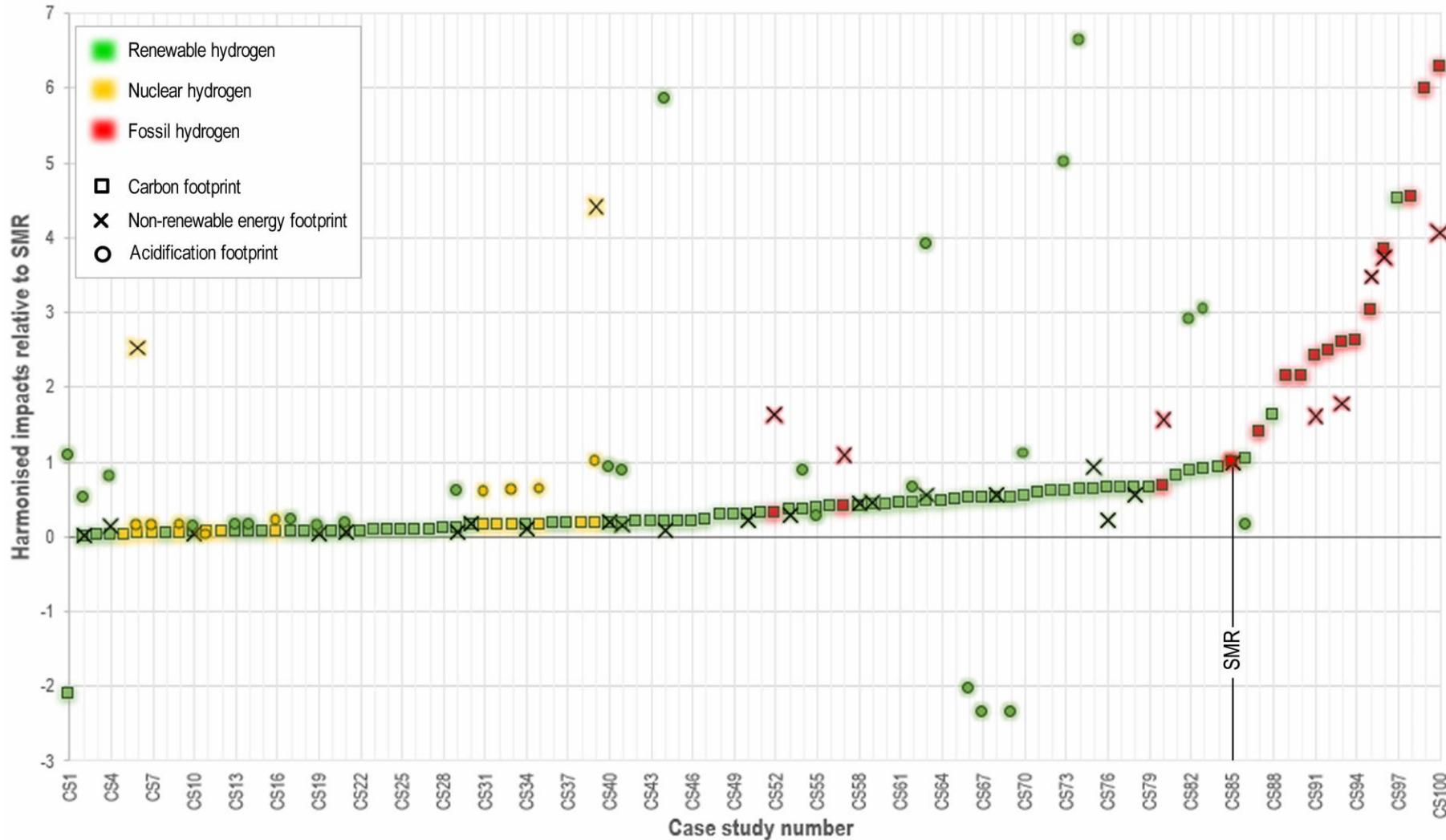
<https://guesswhy.eu/>

El objetivo de HYPOP es aumentar la concienciación y la confianza del público en las tecnologías del hidrógeno y sus beneficios sistémicos mediante:

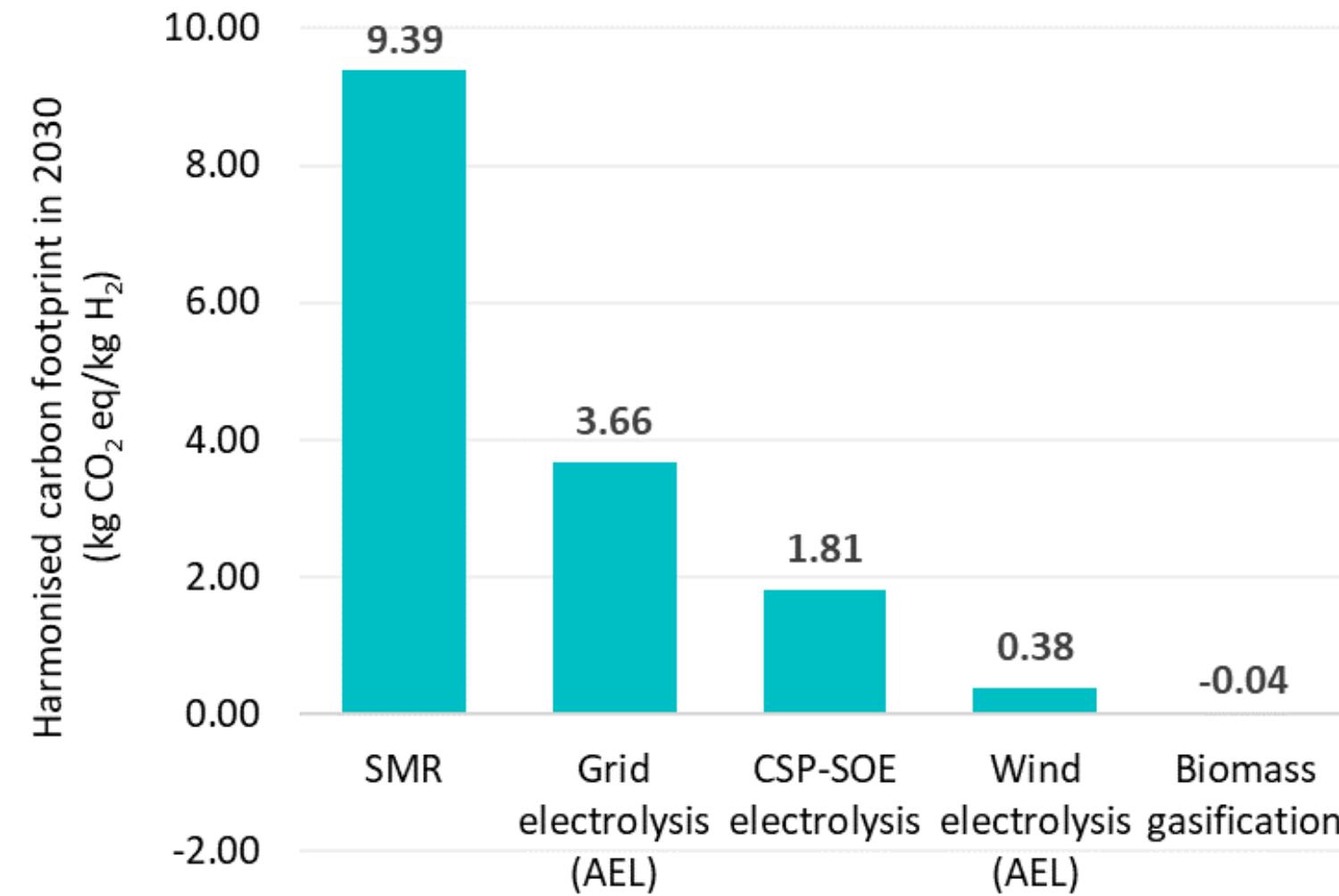
- a) la preparación de directrices y buenas prácticas que ayuden a definir de forma más eficaz cómo pueden participar los ciudadanos, los consumidores/usuarios finales y las partes interesadas en la aplicación de las tecnologías del H₂.
- b) la creación de una plataforma web que recoja material de comunicación, principalmente vídeos, sobre las nuevas tecnologías del hidrógeno, desarrollado de acuerdo con los primeros resultados de las actividades de participación pública.

Resultados

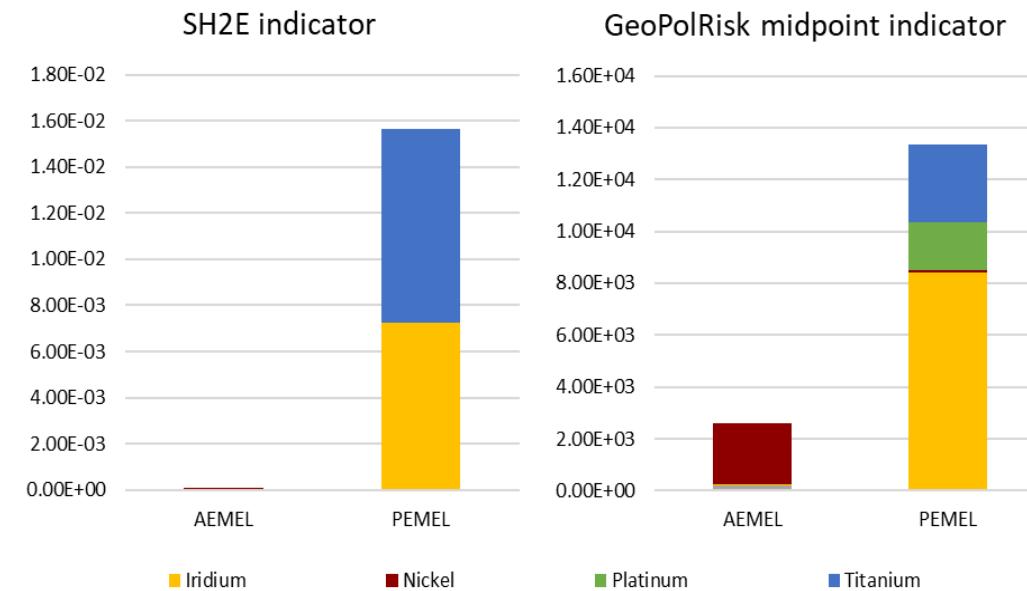
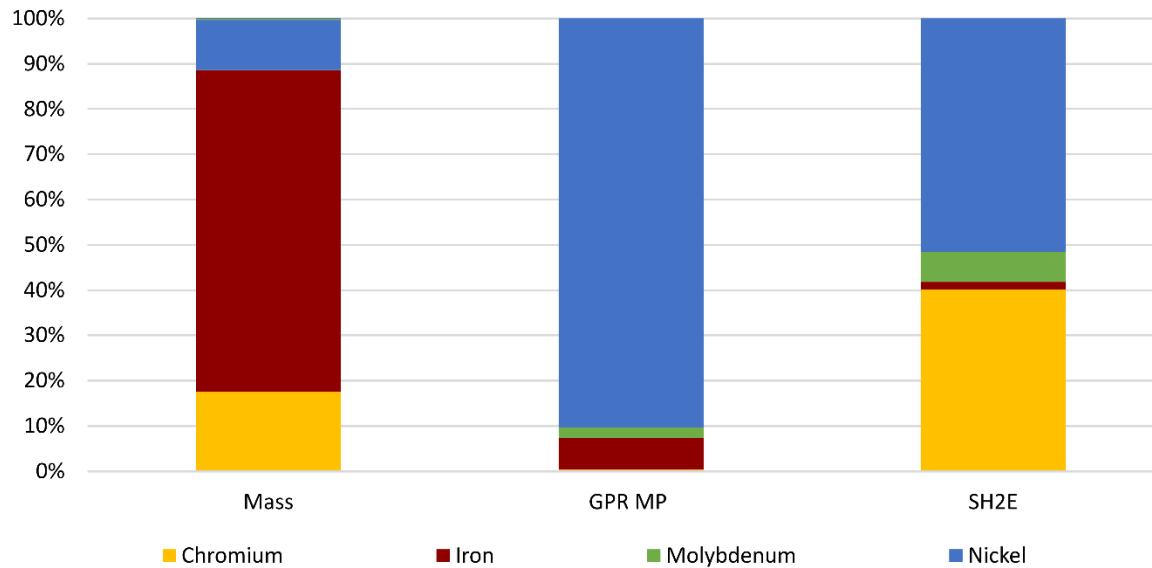
Impacto ambiental



Huella de carbono en función del modo de generación del H₂



Materiales críticos y riesgo geopolítico



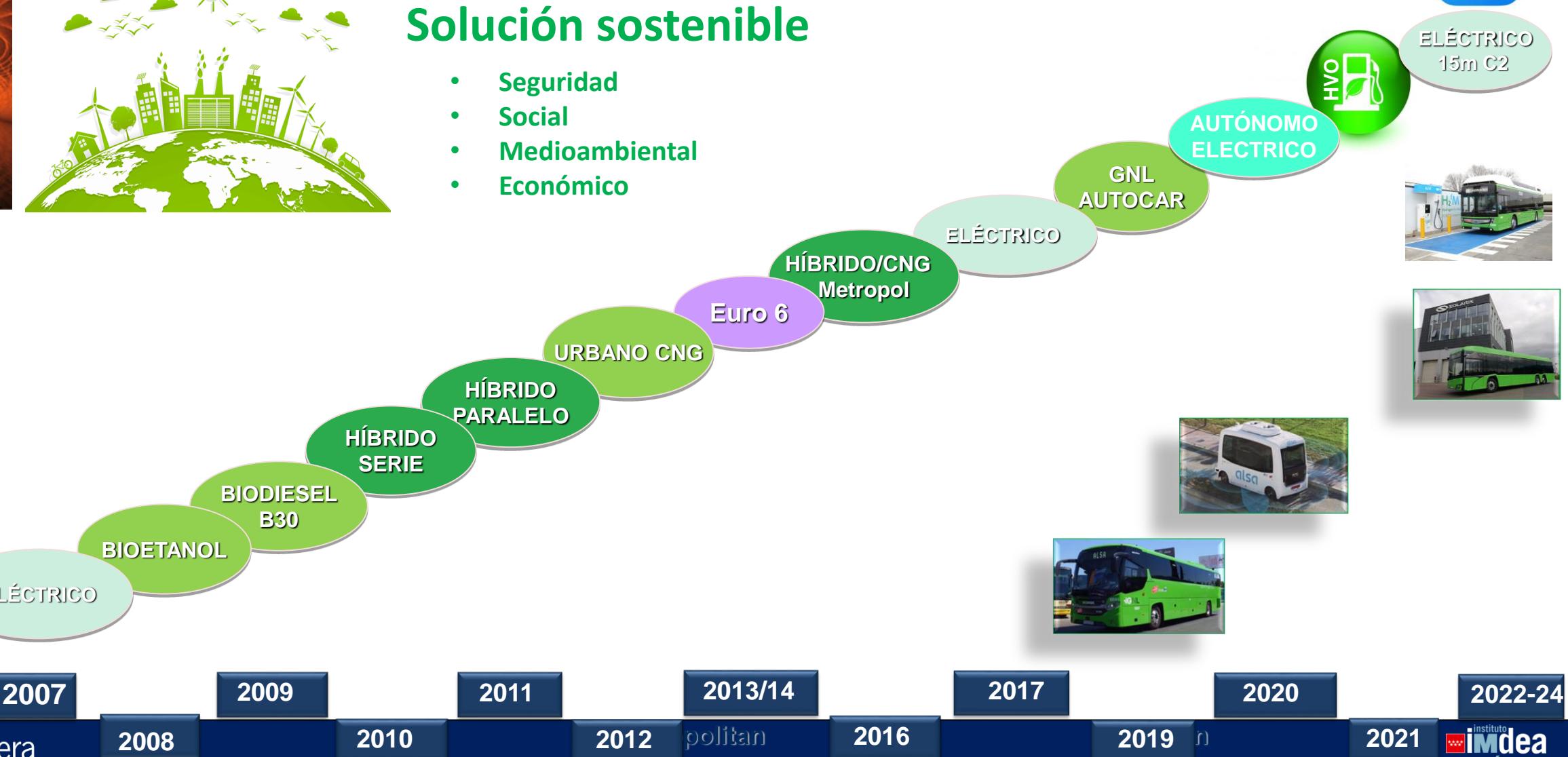
En Alsa nos movemos en verde.

Cronograma tecnológico soluciones sostenibles.



Solución sostenible

- Seguridad
- Social
- Medioambiental
- Económico



En Alsa nos movemos en verde.

alsa

Tipología



HGV + GCV (H2)



FCEV (H2)



BEV (Battery)



CNG/LNG



Hybrid



Diesel Euro 6

Metropolitan

Urban

En Alsa nos movemos en verde.

Flota de H2 (CRTM: Torrejón de Ardoz)



Primer bus FCEV en operación en España desde enero 2022.
Toyota-Caetano

 SHYNE
Spanish Hydrogen Network

 exolum

 TOYOTA

 alsa



Segundo bus FCEV en
operación desde marzo 2023.
CAF-Solaris

En **Alsa** nos movemos en **verde**.
Aerobus Zaragoza. Línea del aeropuerto

alsa



Primera línea 100% de H2 desde enero 2024.

SHYNE
Spanish Hydrogen Network

ZOILORÍOS
GRUPO

REPSOL

TOYOTA

alsa

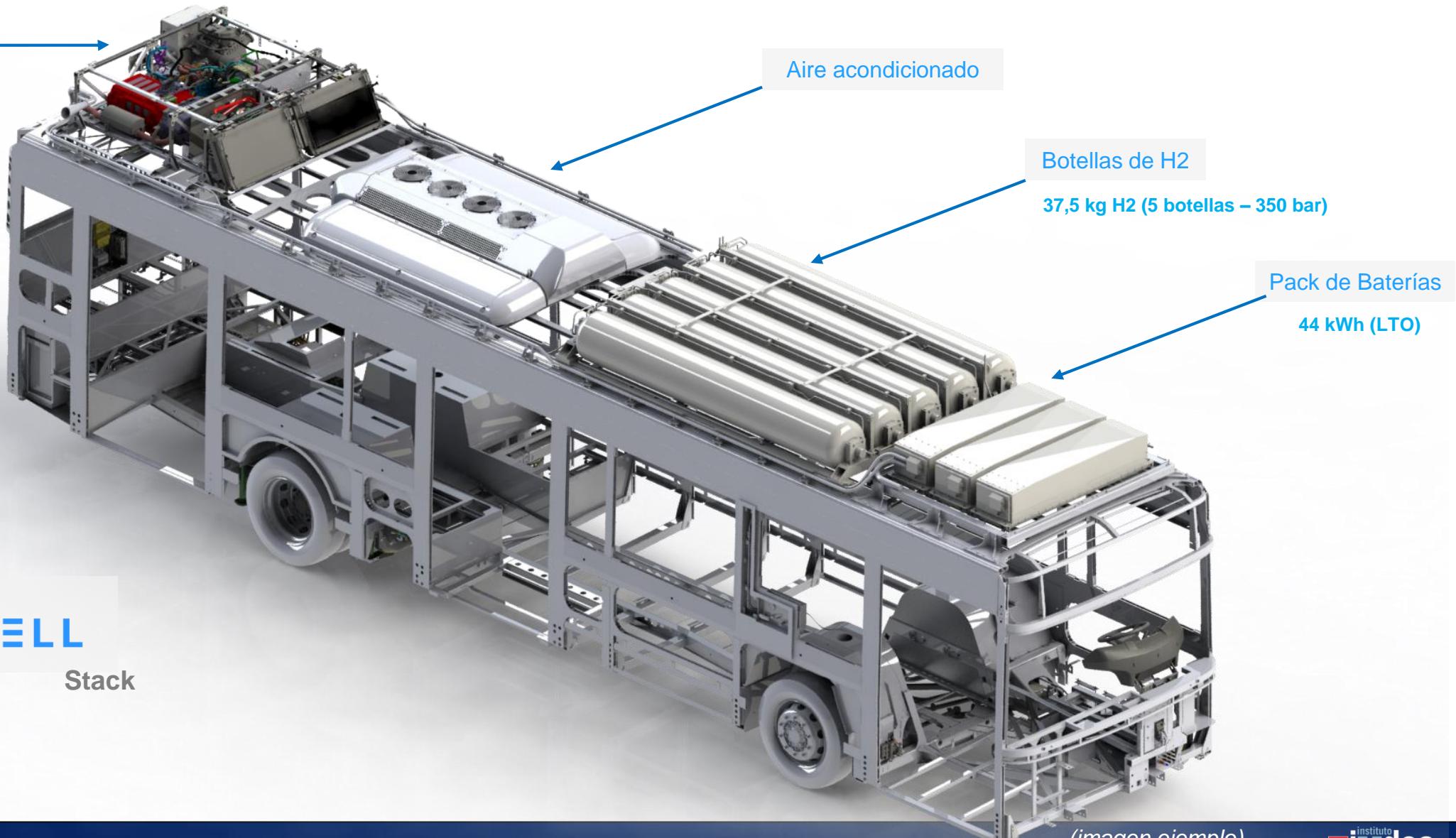
En **Alsa** nos movemos en **verde**.
Aerobus Zaragoza. Línea del aeropuerto

alsa

imdea.org



En **Alsa** nos movemos en **verde**.
Bus de pila de combustible



En Alsa nos movemos en verde.
Experiencia con el H₂

- ✓ Cero emisiones.
- ✓ Silencioso.
- ✓ Autonomía.
- ✓ Tiempo de carga.
- ✓ Fiabilidad.
- ✓ Comportamiento dinámico.
- ✓ Solución necesaria para medio y largo recorrido (Autocar)
- ✓ Escalabilidad con la agregación de demanda.
- ✓ Proyecto País?



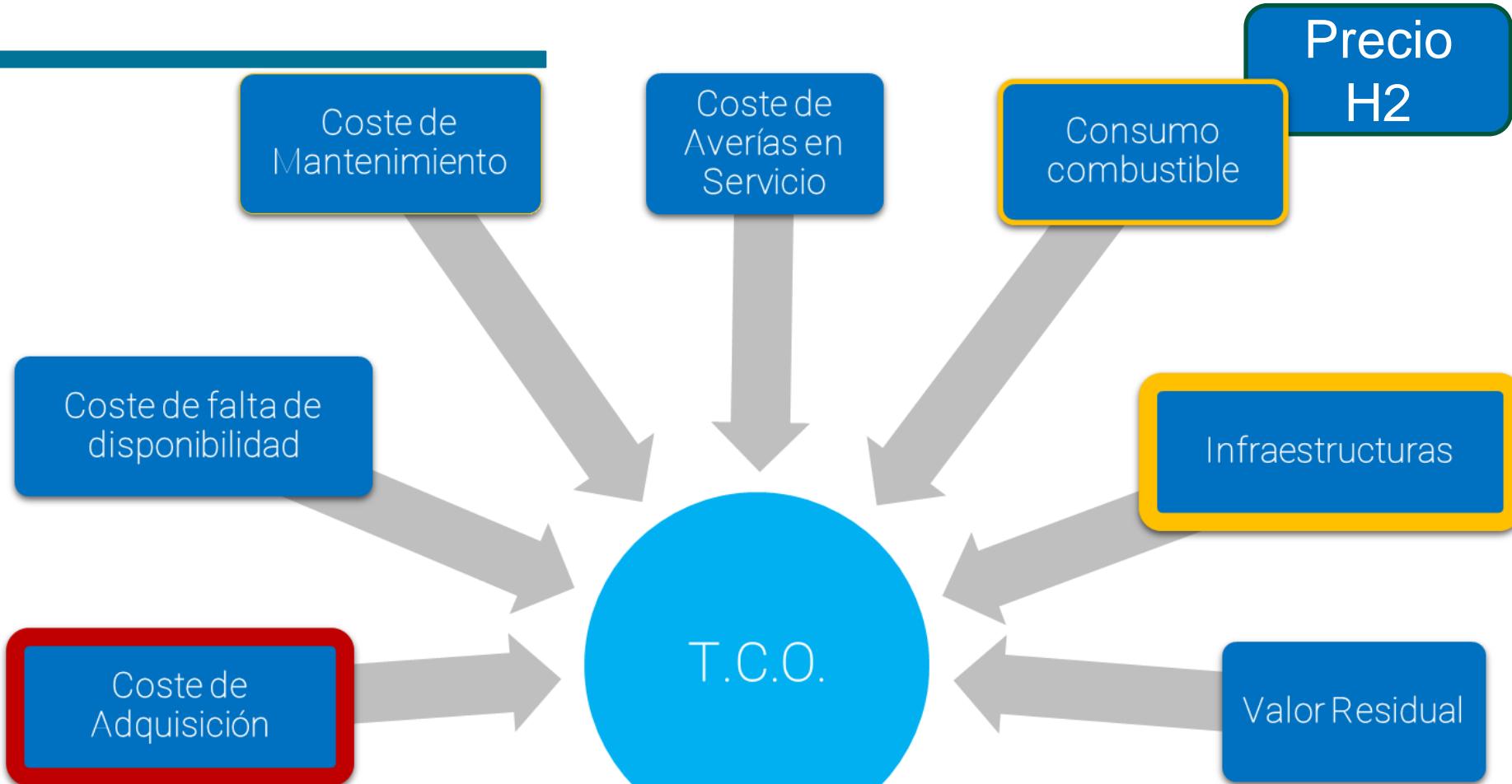
- ✗ Desarrollo del Autocar.
- ✗ Marco normativo.
- ✗ Coste de la infraestructura de recarga.
- ✗ Disponibilidad: No hay red de producción y distribución.
- ✗ Dependiente de ayudas europeas.
- ✗ Precio del bus.(Capex)
- ✗ Precio todavía alto del H2 verde. (OPEX)
- ✗ T.C.O. (Coste total de la propiedad).

En Alsa nos movemos en verde.

T.C.O.

alsa

www.energy.imdea.org



En Alsa nos movemos en verde.
Autobuses de H₂

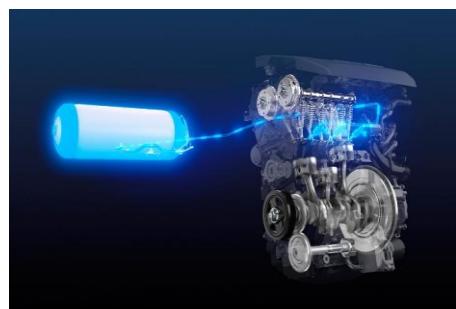
alsa



En Alsa nos movemos en verde.
Autocares de H₂



alsa





En Alsa nos movemos en verde.

Medidas para una transición sostenible con H₂

alsa

1. Para conseguir transicionar de forma sostenible es necesario:
 - Colaboración público-privada e incentivos:
 - Tanto a la oferta como a la demanda
 - Certidumbre
 - Continuidad
 - Menos burocracia.
2. Desarrollo de **nuevas tipologías de autobuses y autocares de H₂**.
3. **Neutralidad tecnológica.** Objetivo es descarbonizar de forma sostenible, no hay tecnologías ganadoras.
4. Enfoque hacia la **agregación de demanda de los diferentes sectores**, para conseguir economías de escala y precios que permitan la transición. Colaboración privada.
5. Necesaria **regulación clara** y una **adecuación de las infraestructuras** (Estaciones de autobuses, Intercambiadores de Transporte,...)



¿H₂ Proyecto País?

Hidrógeno verde: integración de generación, consumo y ecodiseño

Moderador: IMDEA Energía, Félix Marín, responsable de Desarrollo y Transferencia de Tecnología.

Alsa, Miguel Ángel Alonso, Director de Ingeniería.

IMDEA Energía, María Beatrice Falasconi, Investigadora.

Matteco, Gonzalo Abellán, Co - Fundador y CTO.

Moeve, Carlos Alberto Prieto, Coordinador Dpto. Tecnologías de Transición Energética del Centro de Innovación.

Genera 19-11-2025