

# INTEGRACIÓN DEL HIDRÓGENO RENOVABLE EN EL SECTOR AGRÍCOLA

Juan Pérez Rico  
[juan.perez@ite.es](mailto:juan.perez@ite.es)



Este material es de propiedad del Instituto Tecnológico de la Energía (ITE). Un vector de futuro. No está permitida la reproducción total o parcial de su contenido ni su tratamiento por cualquier método sin autorización expresa del Instituto Tecnológico de la Energía (ITE).



# Contenidos

---

**1** Introducción

**2** Producción

**3** Almacenamiento

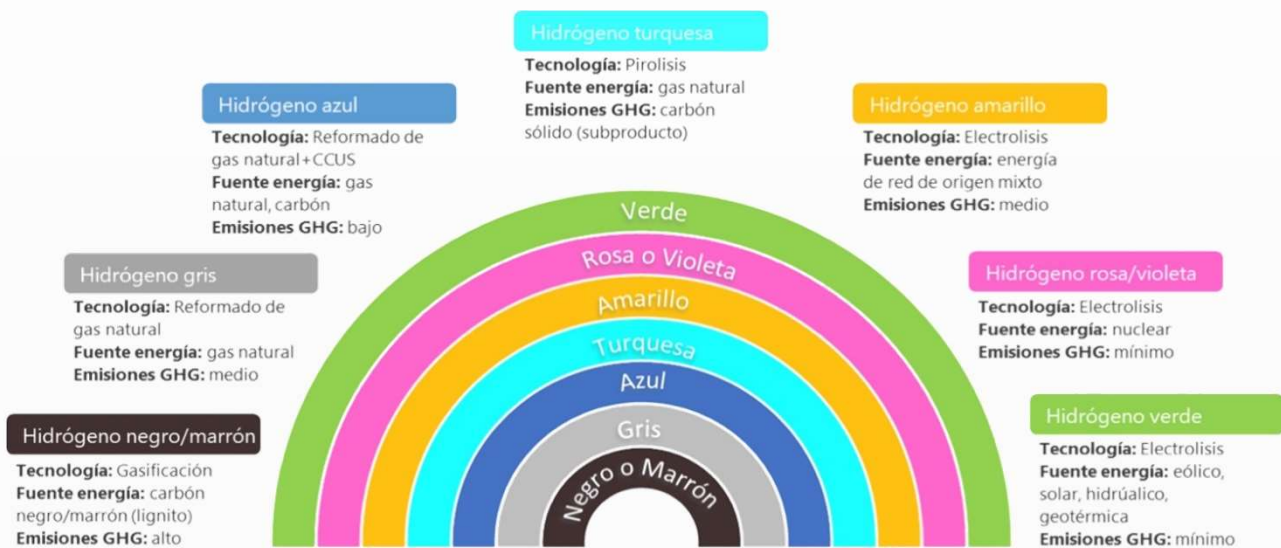
**4** Usos

**5** Caso de uso: sector agrícola

**6** Retos



# 1. Introducción: colores de hidrógeno



# 1. Introducción: Datos a tener en cuenta

## Datos relevantes

Hidrógeno: 33,3 kWh/kg  
Gasóleo : 11,9 kWh/kg  
Gas Natural : 13,3 kWh/kg

1 kg de  $H_2$   $\approx$  11,2 Nm<sup>3</sup>

Hidrógeno: 2,99 kWh/Nm<sup>3</sup>  
Gasóleo : 10000 kWh/Nm<sup>3</sup>  
Gas Natural : 9,2 kWh/Nm<sup>3</sup>

Para producir 1 kg de  $H_2$  es necesario....

~ 9-10 litros de agua  
Alrededor de 55 kWh de energía aportada

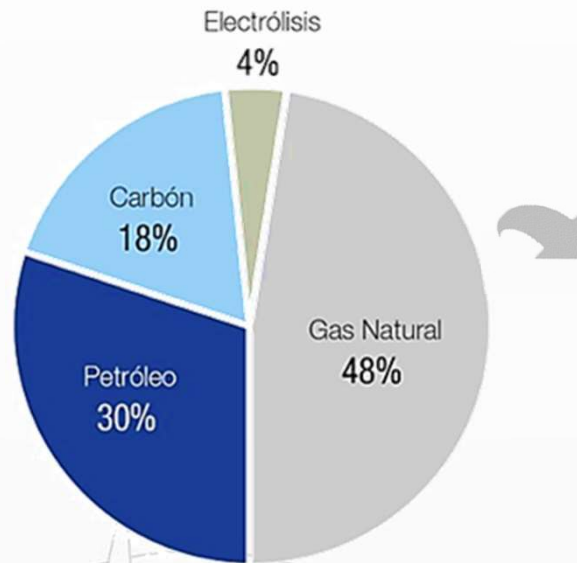
Además se produce....

- ~ 8 kg de  $O_2$
- Calor

## 2. Producción: Fuentes no renovables

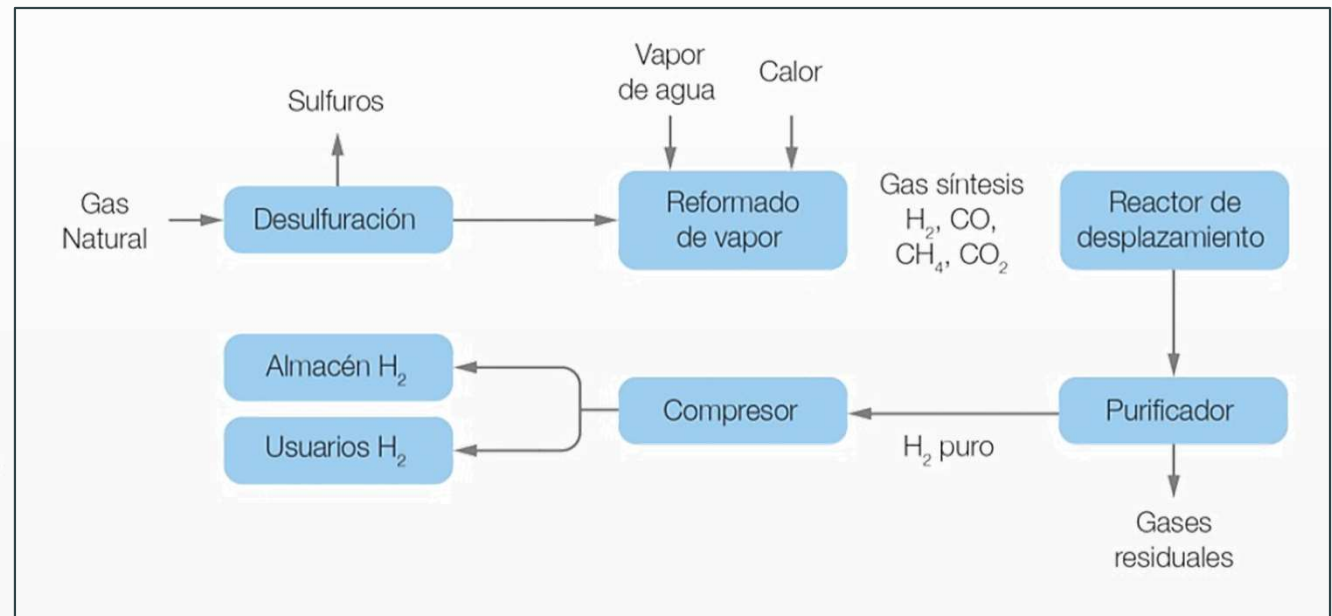
### Reformado de Gas Natural

Producción actual de H<sub>2</sub>

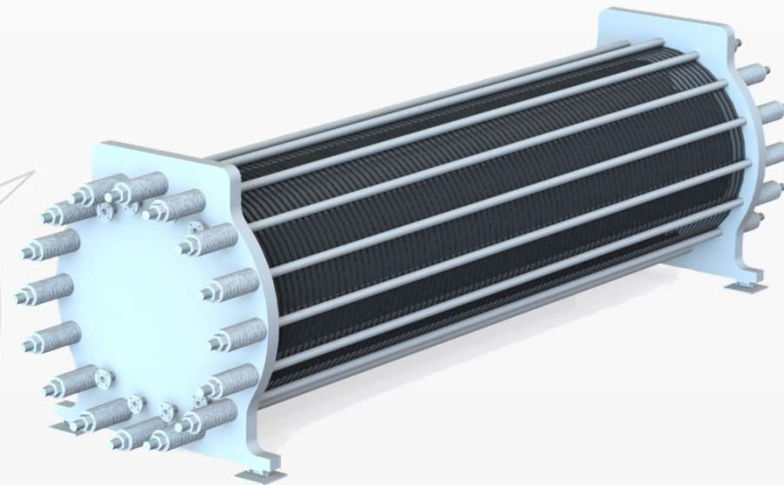
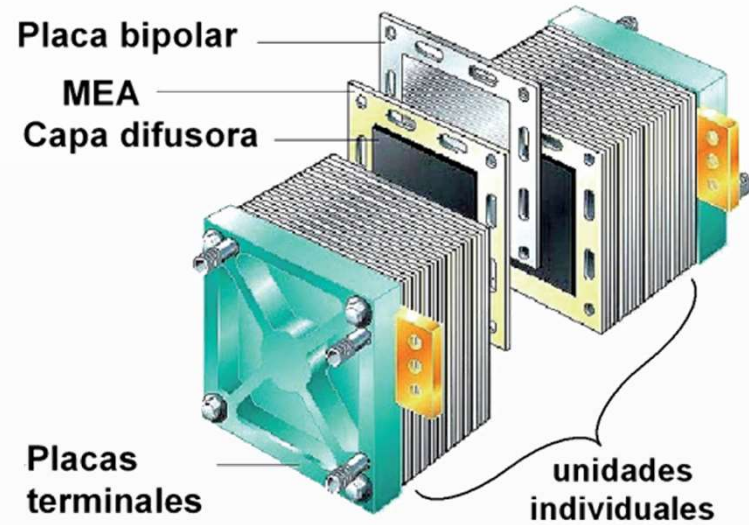
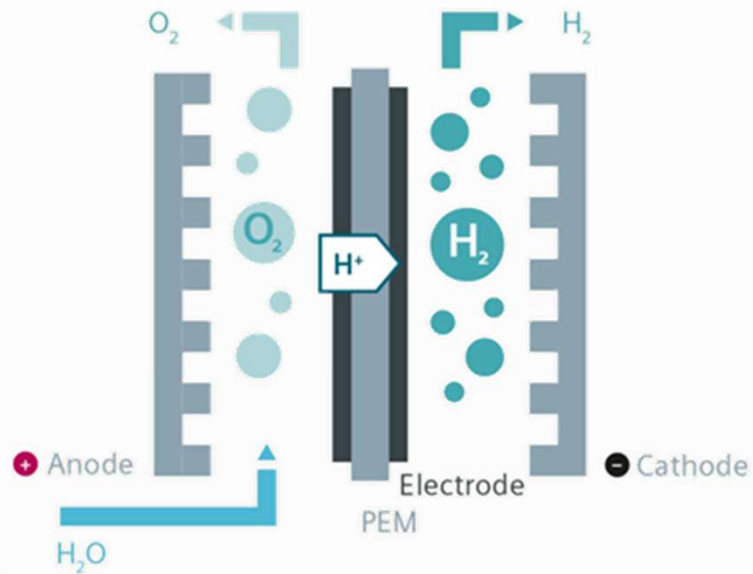


Fuente: La energía del hidrógeno. CYTED

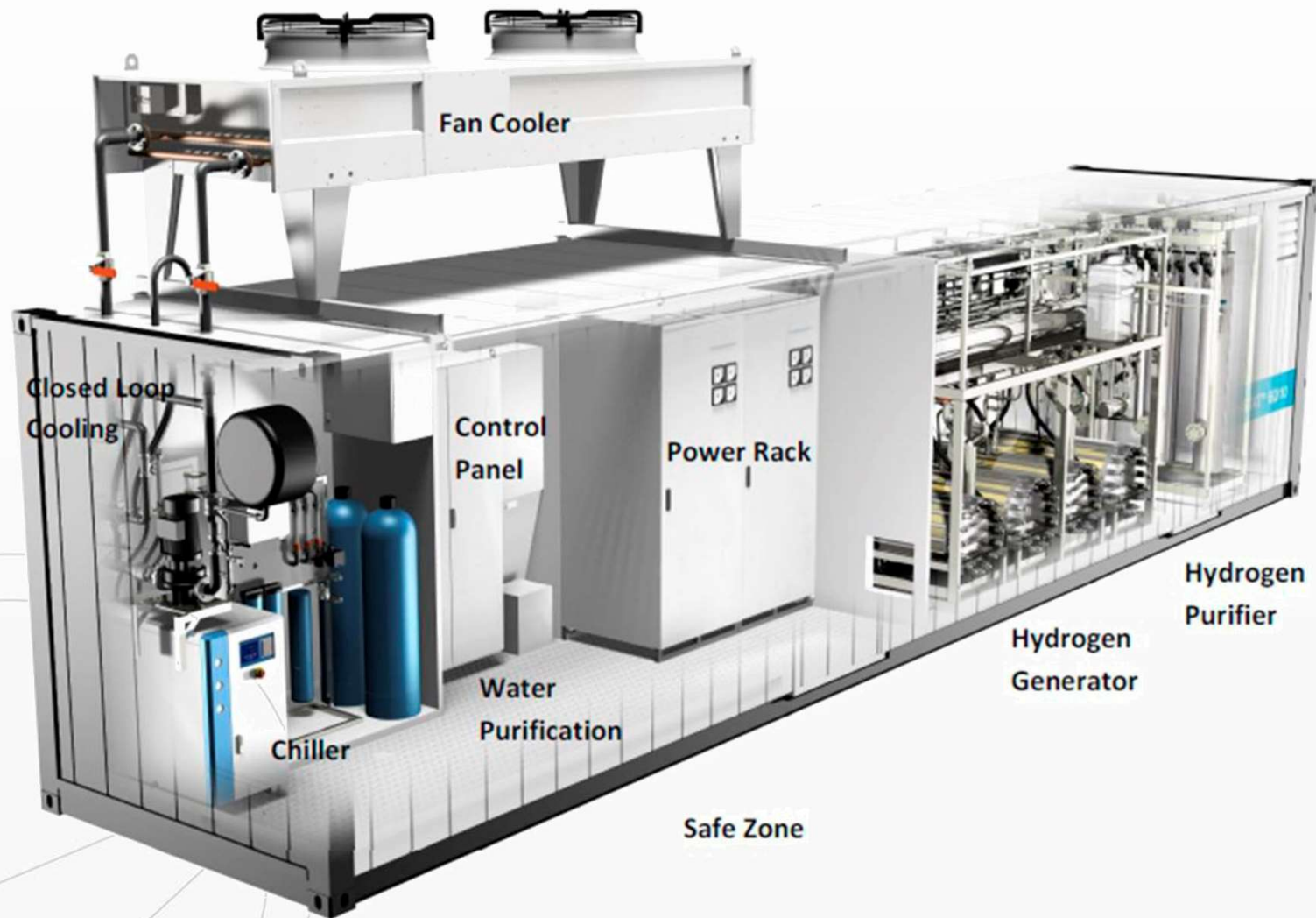
#### Etapas en el proceso de reformado de gas natural



## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis



## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis



## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis

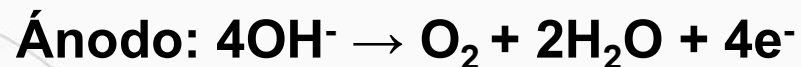
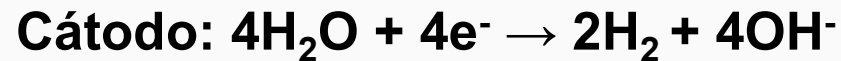
### Electrolizador alcalino (AWE)

- Comercializando desde hace aprox. un siglo, **tecnología madura**
- **Electrolito:** disolución **alcalina** 25-30% NaOH o KOH (más conductor)
- **Temperatura** de operación **60-80°C**

- **Electrodos:**

Cátodo: Ni dopado con catalizador (Pt)

Ánodo: Níquel o cobre recubierto óxidos Mn, Ru, W

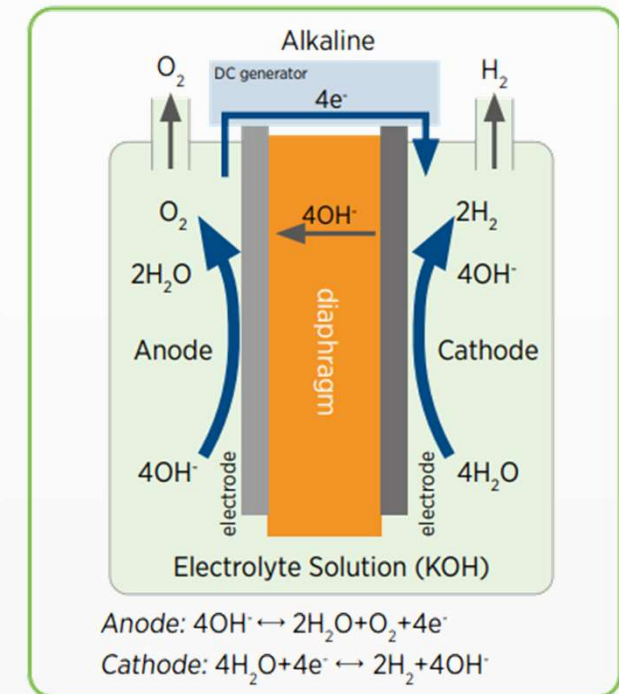


- Densidad de corriente **100-300 mA/cm<sup>2</sup>**

- **Rendimiento 60-70%**

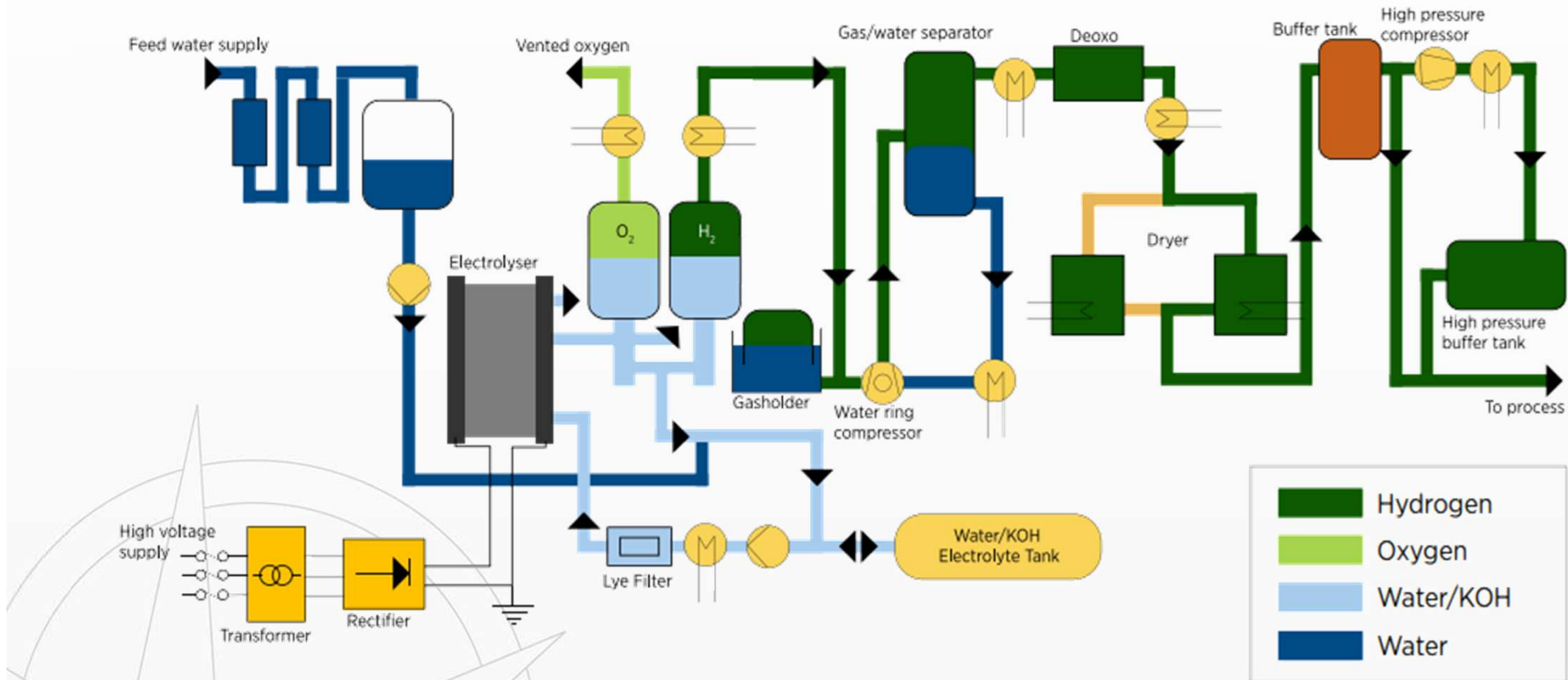
- **Presión: <30bar**

- Tiempo de respuesta más elevado ante cambios de capacidad, no son tan aptos ante fluctuaciones de potencia





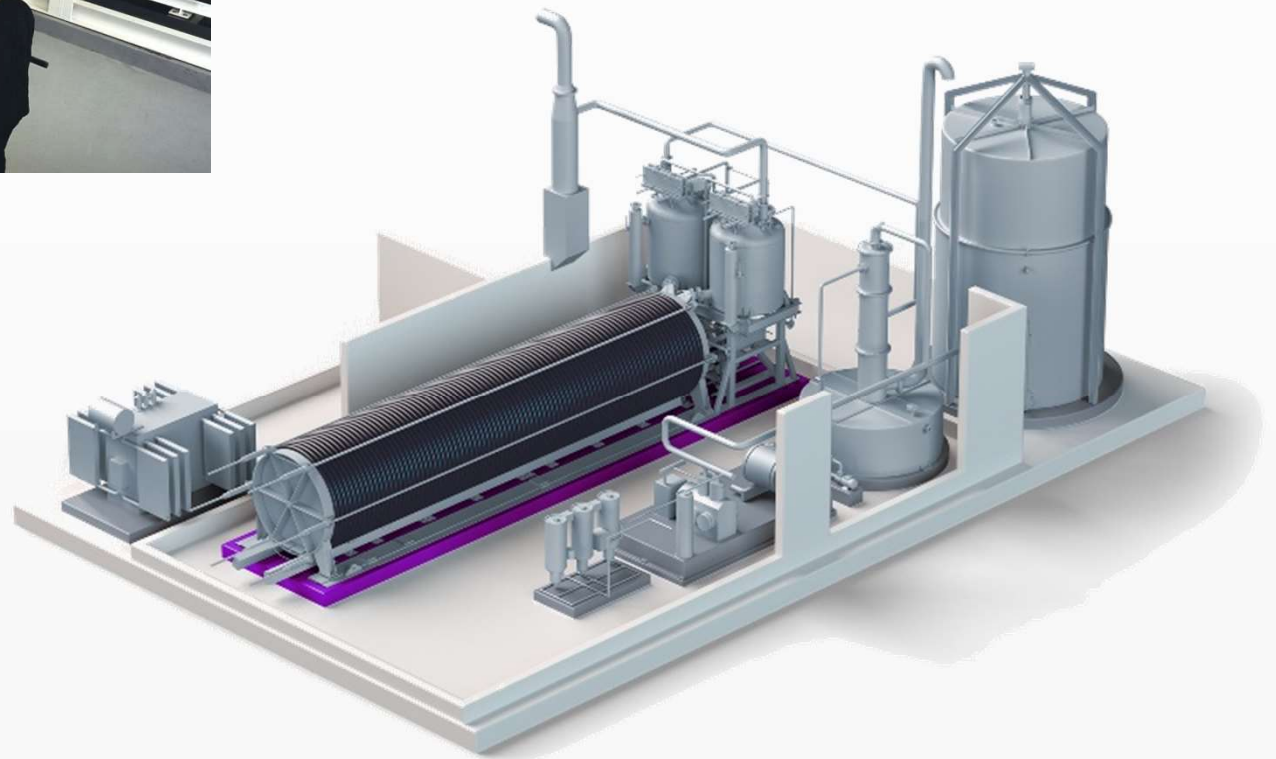
## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis



Fuente: IRENA, 2021

©2023 Instituto Tecnológico de la Energía

## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis



## Diapositiva 10

---

**JPRO**

**Cambiar**

Juan Pérez Rico; 2023-09-19T11:54:47.877

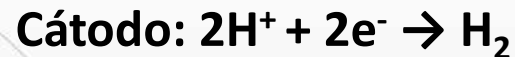
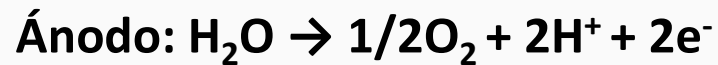
## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis

### Electrolizador de membrana polimérica (PEMEL)

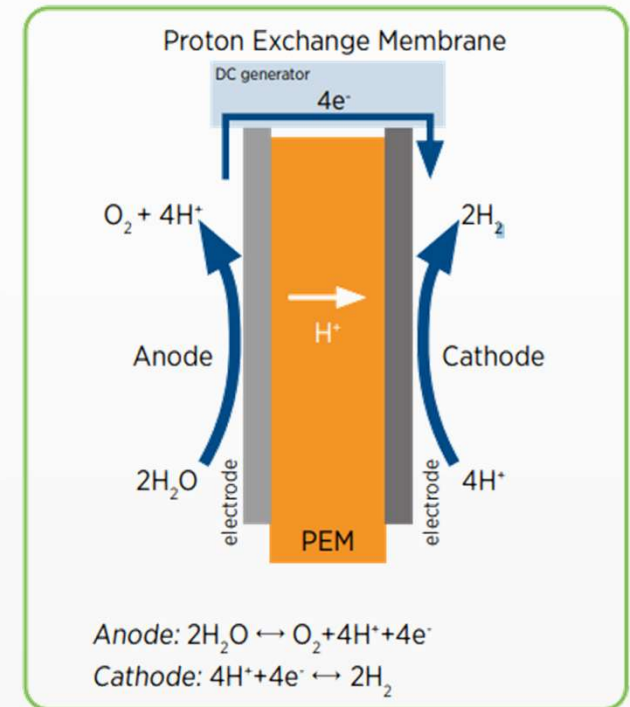
- **Tecnología** relativamente reciente, pero ya implementada en la industria
- **Electrolito:** membrana polimérica sólida (**Nafion**, ácidos sulfónicos perfluorados)
- **Temperatura** de operación **50-80°C**
- Posibilidad trabajar alta **presión:** < **30 bar**
- **Electrodos:**

Cátodo: carbono o grafito cubiertos con Pt

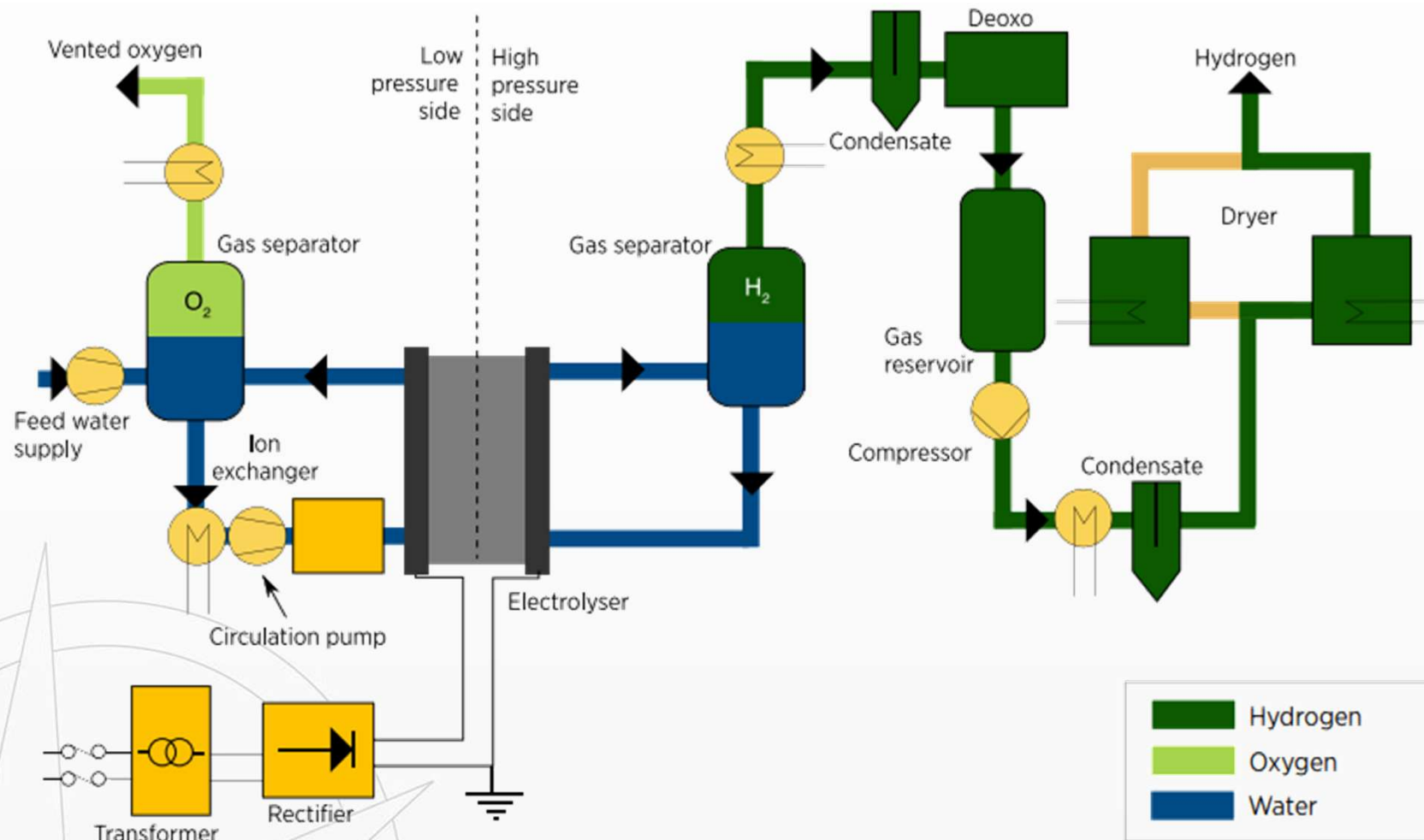
Ánodo: óxidos de Ru, Ir, Rh



- Baja resistencia iónica, elevada conductividad
- Densidad de corriente elevada **2000mA/cm<sup>2</sup>**
- **Rendimiento 55-70%**
- Tiempo de respuesta corto ante cambios de capacidad, aptos para generación variable



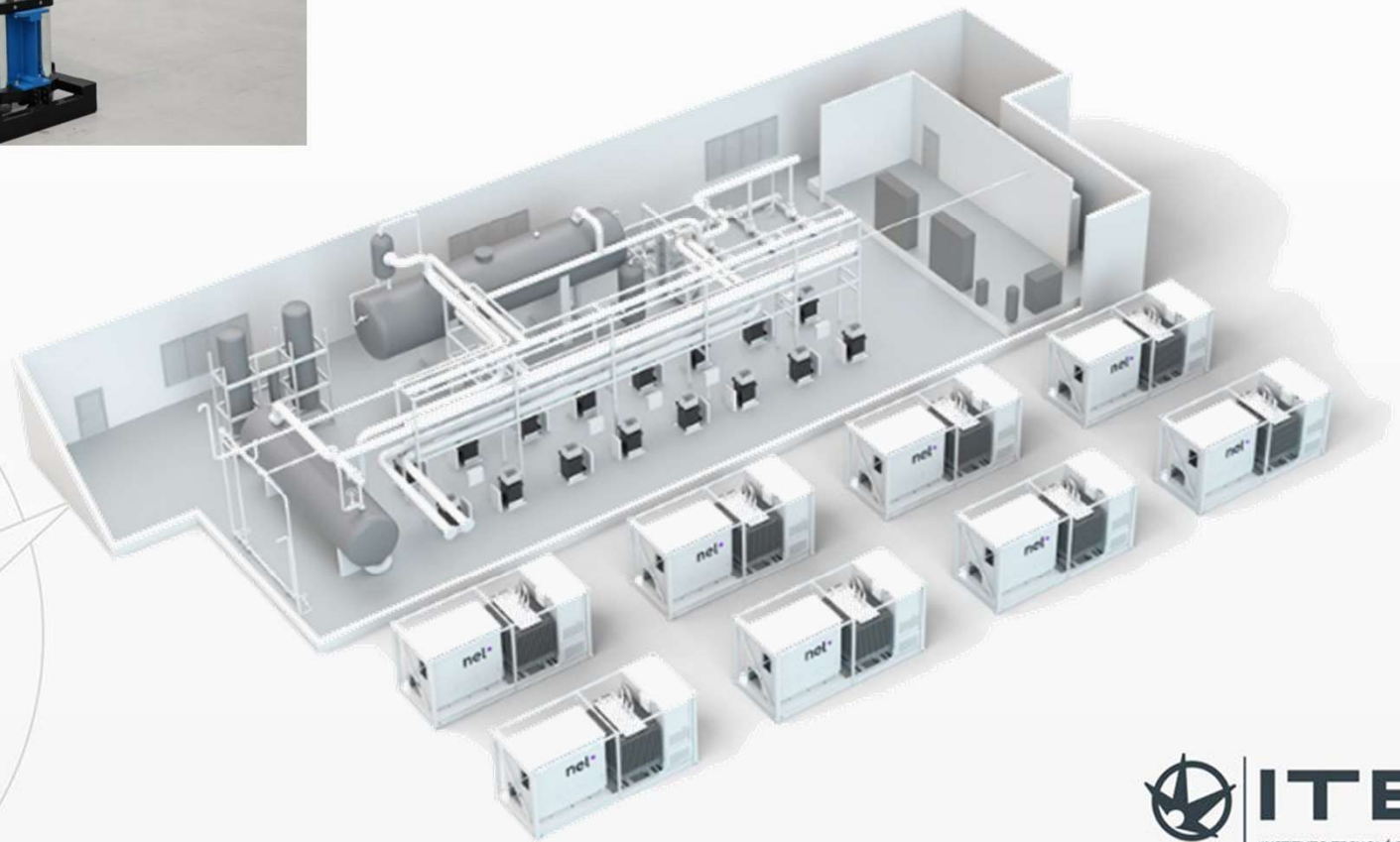
## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis



[2]

- Mas simple que el alcalino

## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis



## Diapositiva 13

---

**JPRO**

cambiar

Juan Pérez Rico; 2023-09-19T11:54:39.267

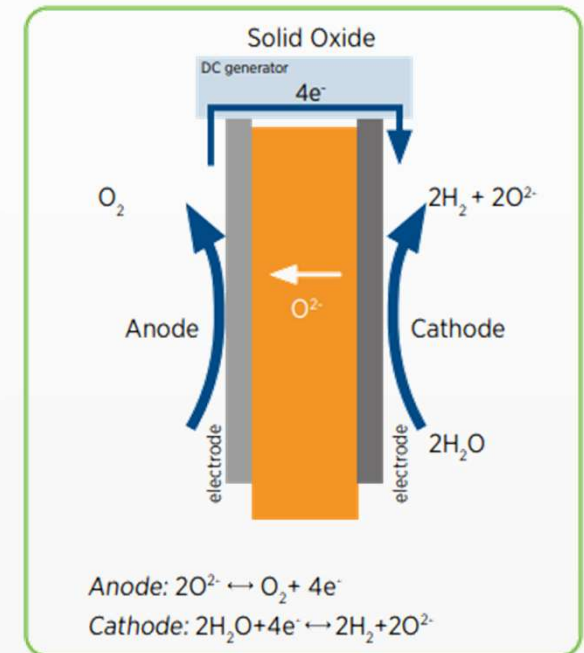
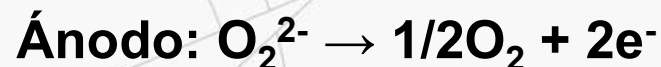
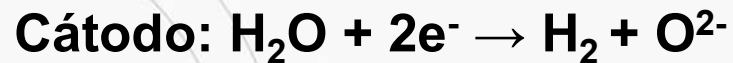
## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis

### Electrolizador óxido sólido (SOEC)

- **Alta T:** consumen **menos energía eléctrica** pero **más energía térmica**
- Tecnología adecuada aplicaciones con **acceso fuentes de energía térmica**
- **Electrolito:** sólido, material cerámico  
óxidos metálicos no porosos de Zr e Y (conductores de iones oxígeno)
- **Temperatura** de operación elevadas **650-1000 °C**
- Electrolizador modificado, **100% sólido**
- **Rendimiento 75-80%**
- Electrodo:

Cátodo: Ni o Pt

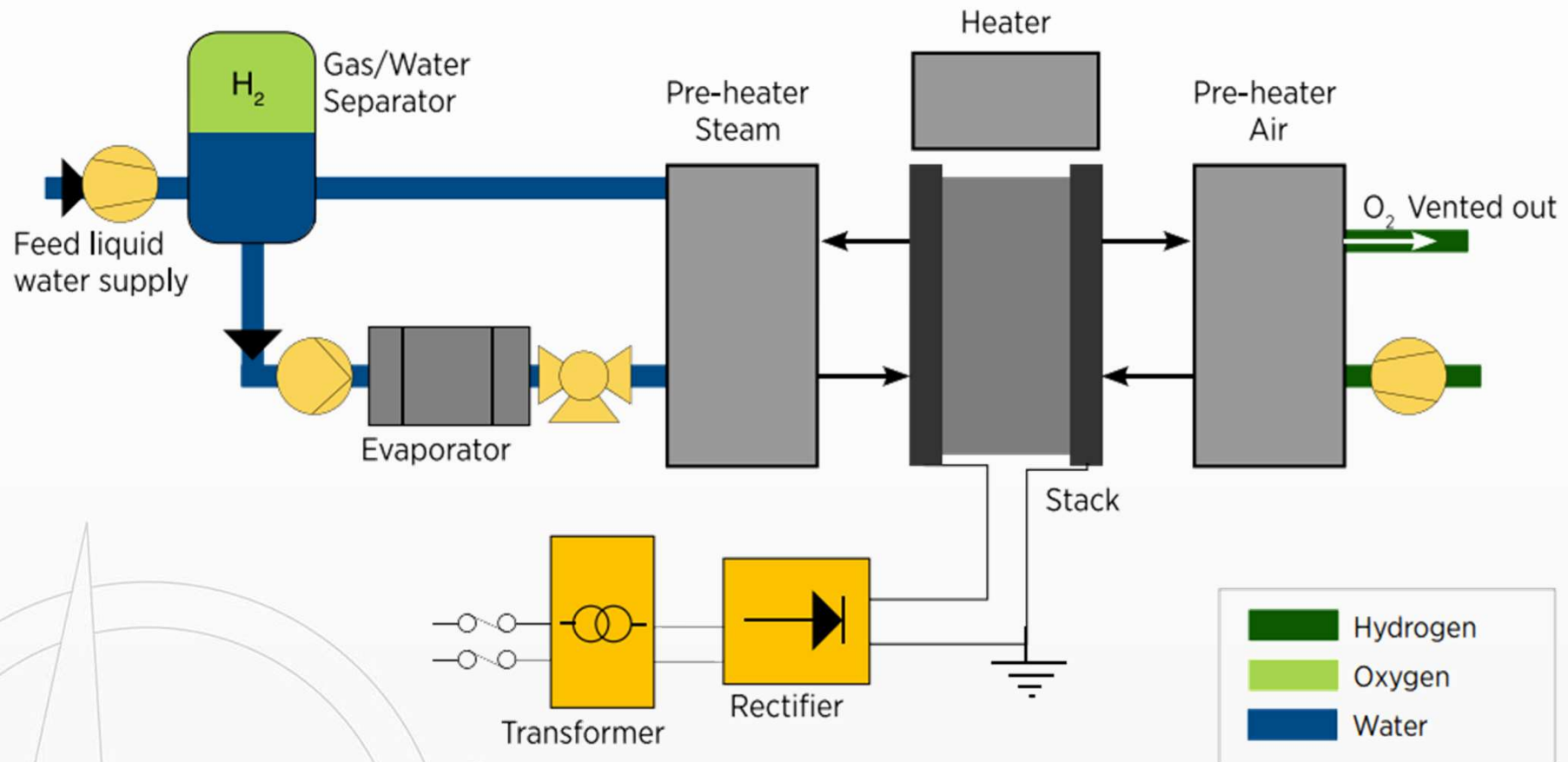
Ánodo: Ni mezclado óxidos metálicos



- Sistemas reversibles, que pueden trabajar como pila de combustible o como electrolizadores
- Pueden funcionar con agua, hidrocarburos o  $\text{CO}_2$  como combustible para producir syngas



## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis



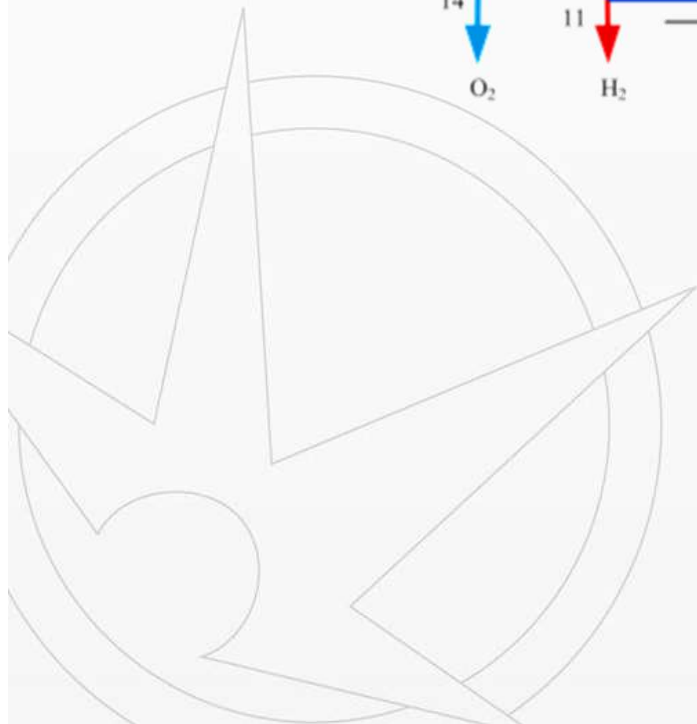
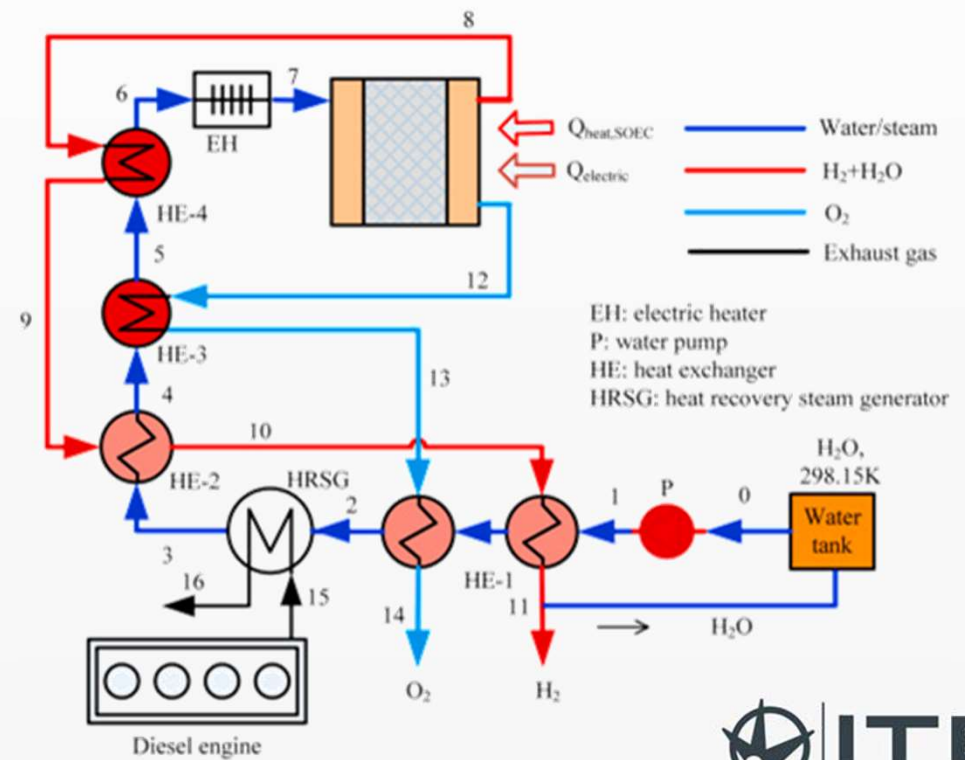
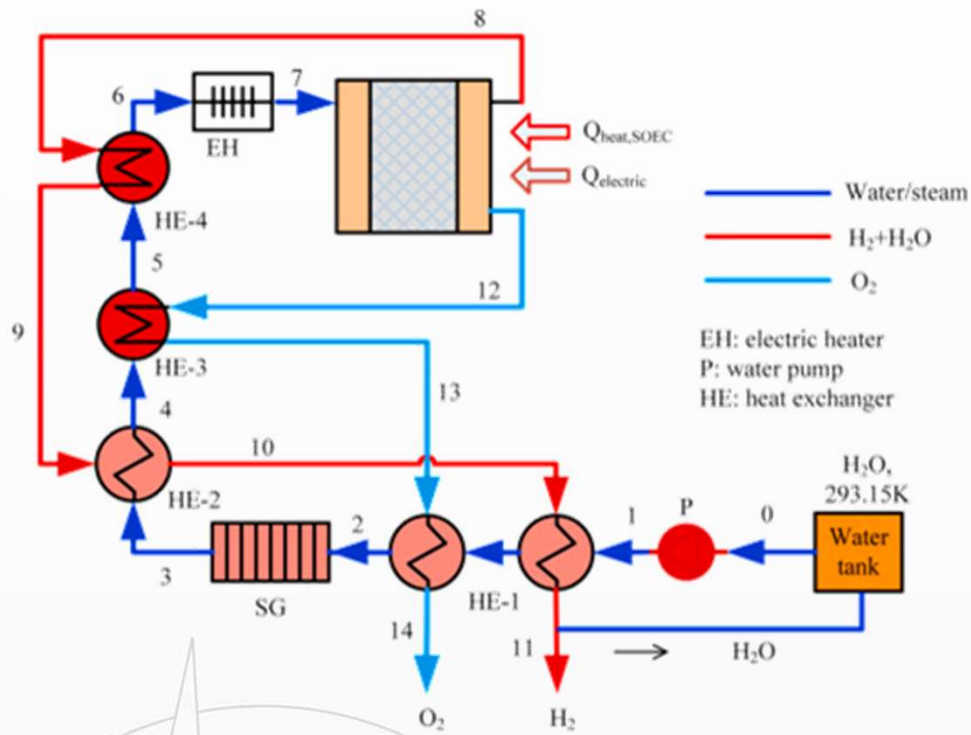
[2]

- Necesitan estar acoplados con una fuente de calor de alta temperatura
- Solar térmica, calor residual del industria
- Requieren etapa de compresión posterior del  $H_2$
- Stacks actuales al nivel de kW, aún a nivel demostrador, no implementados en industria

©2023 Instituto Tecnológico de la Energía

[2] Green Hydrogen Cost Reduction. Scaling up electrolsers to meet the 1.5°C Climate goal

## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis



## Diapositiva 16

---

**JPRO**

Añadir proceso de aprovechamiento

Juan Pérez Rico; 2023-09-19T11:55:19.559

## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis

	2020				2050			
	Alkaline	PEM	AEM	SOEC	Alkaline	PEM	AEM	SOEC
Cell pressure [bar]	< 30	< 70	< 35	< 10	> 70	> 70	> 70	> 20
Efficiency (system) [kWh/kgH <sub>2</sub> ]	50-78	50-83	57-69	45-55	< 45	< 45	< 45	< 40
Lifetime [thousand hours]	60	50-80	> 5	< 20	100	100-120	100	80
Capital costs estimate for large stacks (stack-only, > 1 MW) [USD/kW <sub>el</sub> ]	270	400	-	> 2 000	< 100	< 100	< 100	< 200
Capital cost range estimate for the entire system, >10 MW [USD/kW <sub>el</sub> ]	500-1000	700-1400	-	-	< 200	< 200	< 200	< 300

## Diapositiva 17

---

**JPRO**

**Actualizar**

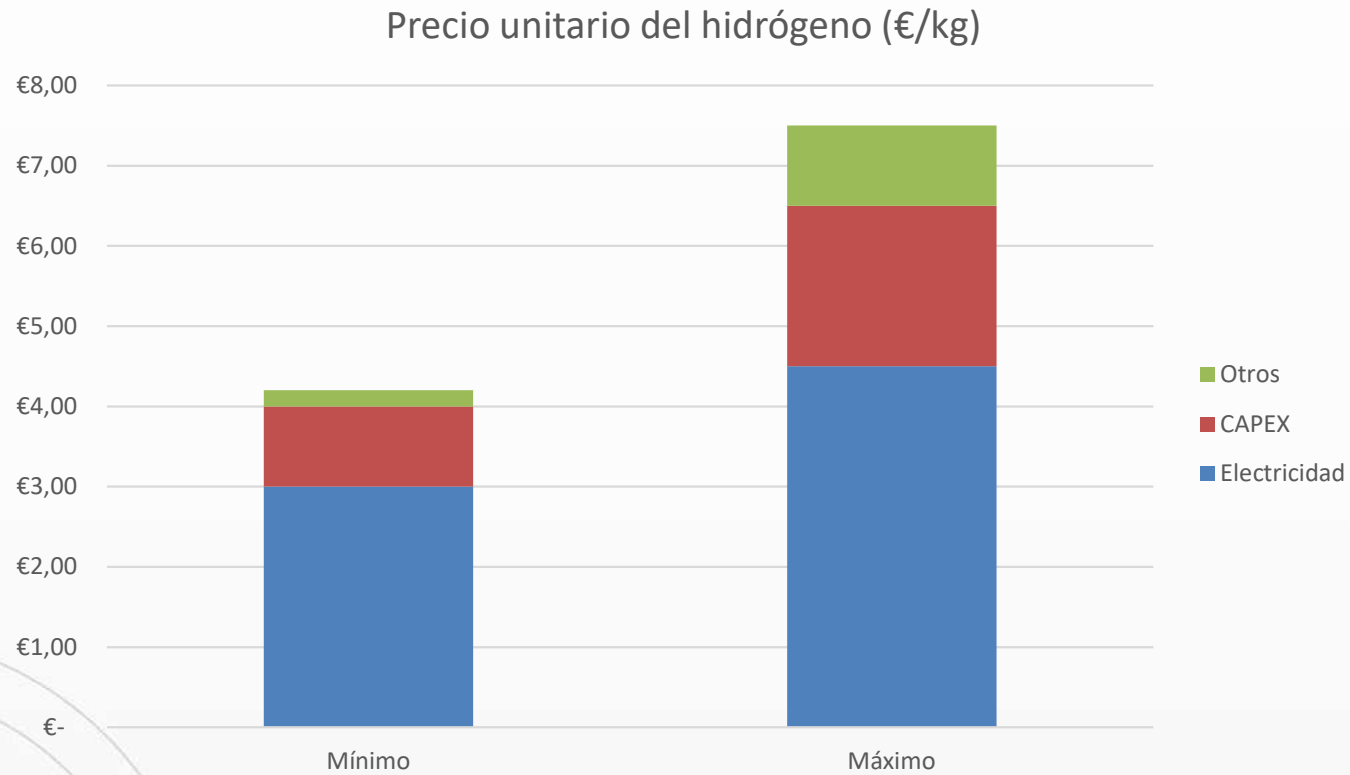
Juan Pérez Rico; 2023-09-19T11:55:36.667

## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis

### Flexibilidad

Tipo de electrolizador	Inicio en frío	Arranque desde el modo de espera en caliente	Velocidad de Rampa
Electrolizador de membrana electrolítica de polímero (PEM)	De 5-10 minutos	Segundos	Capaz de variar por completo el rango de funcionamiento en segundos si se encuentra a la temperatura de operación
Electrolizador Alcalino	De 1-2 horas	De 1-5 minutos	Capaz de variar por completo el rango de funcionamiento en segundos si se encuentra a la temperatura de operación
Electrolizador de Óxido Sólido (SOEC)	De 7-8 horas	Varios minutos	Capaz de variar por completo el rango de funcionamiento en segundos o varios minutos

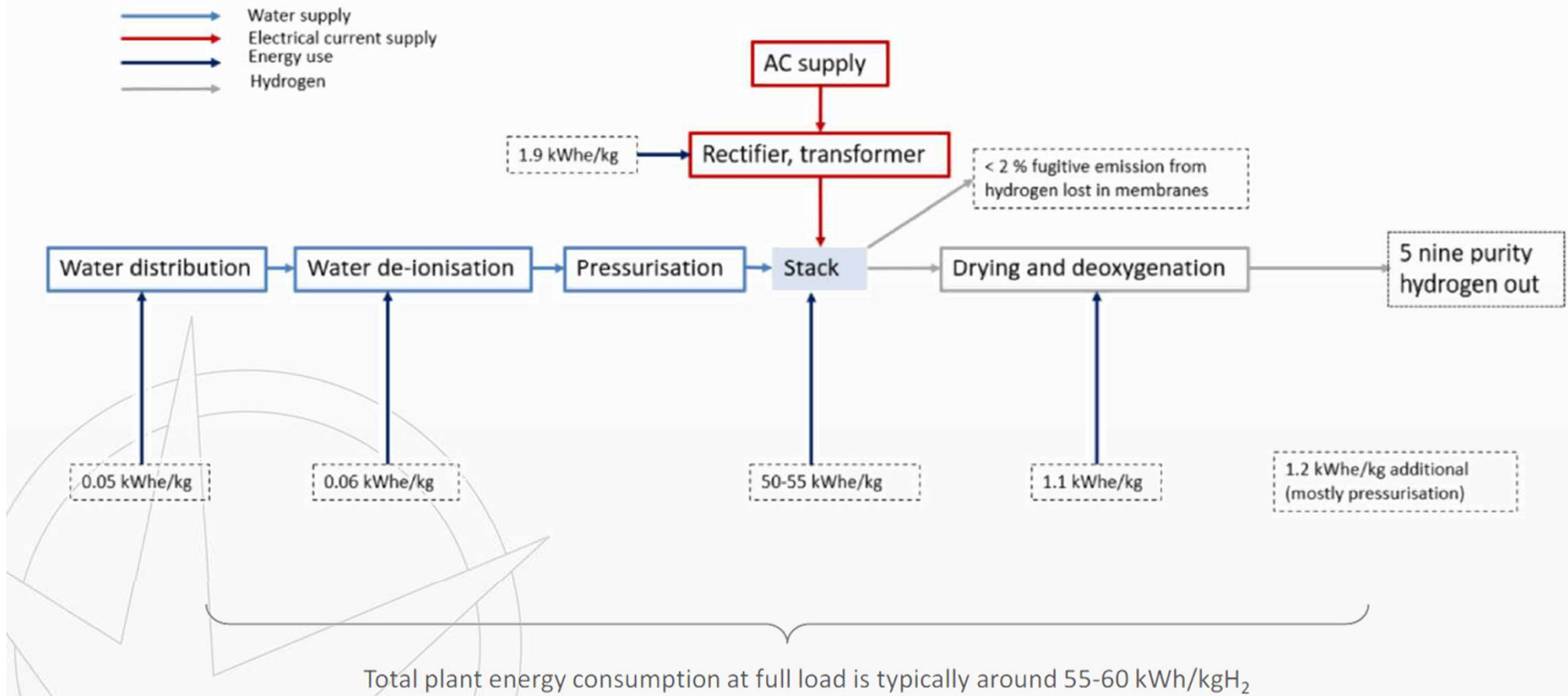
## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis



## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis

### Consumo de energía de planta

BoP ~ 10% del uso total de la energía





## Diapositiva 20

---

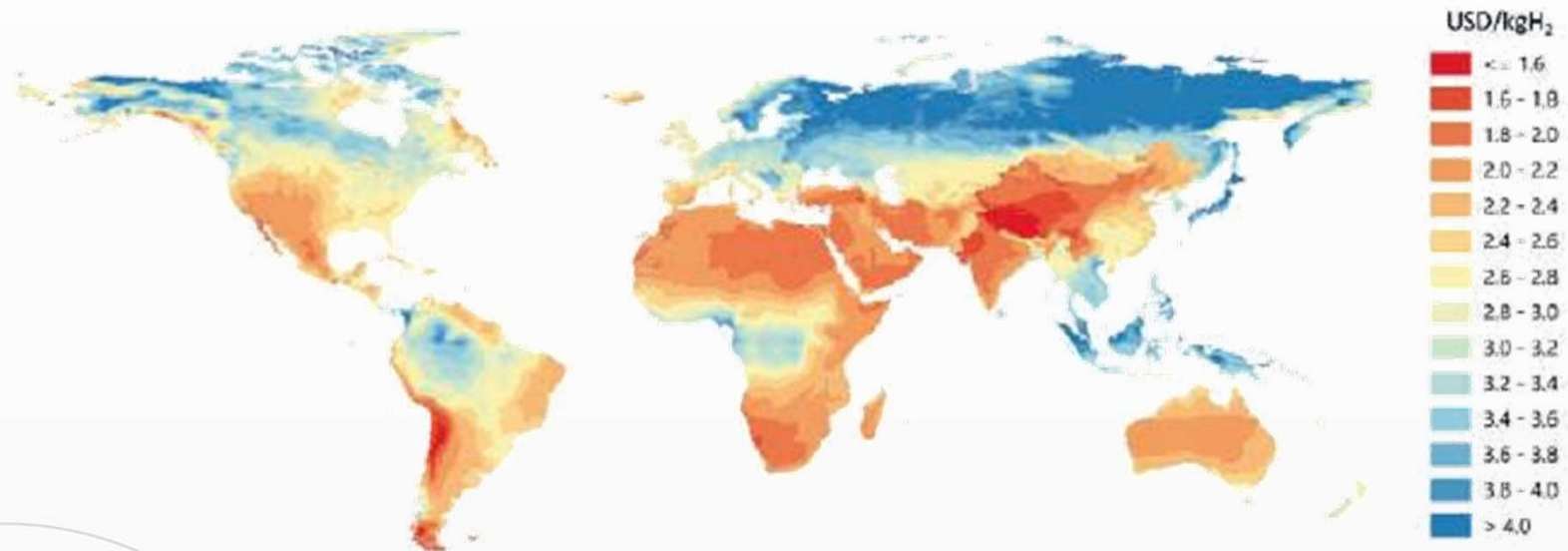
**JPRO**

Diapo intermedia con división de costes

Juan Pérez Rico; 2023-09-19T12:36:30.271

## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis

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



Notes: This map is without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area. Electrolyser CAPEX = USD 450/kW<sub>e</sub>, efficiency (LHV) = 74%; solar PV CAPEX and onshore wind CAPEX = between USD 400–1 000/kW and USD 900–2 500/kW depending on the region; discount rate = 8%.

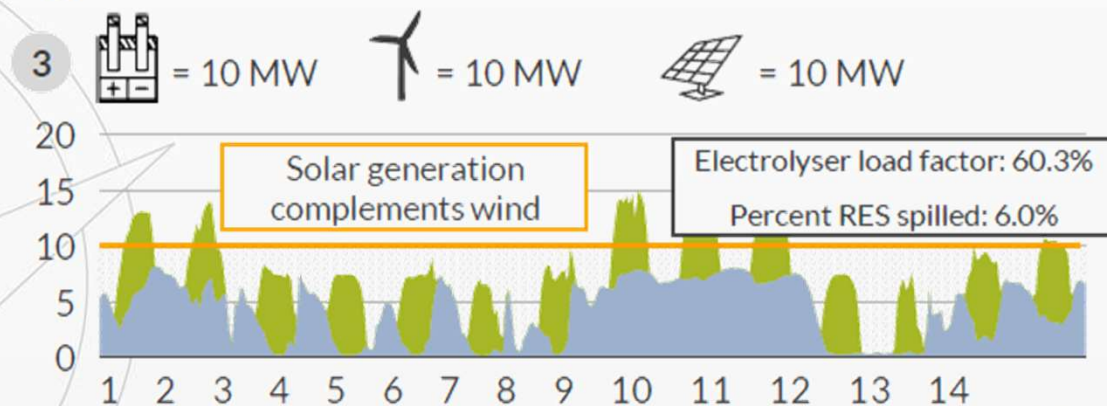
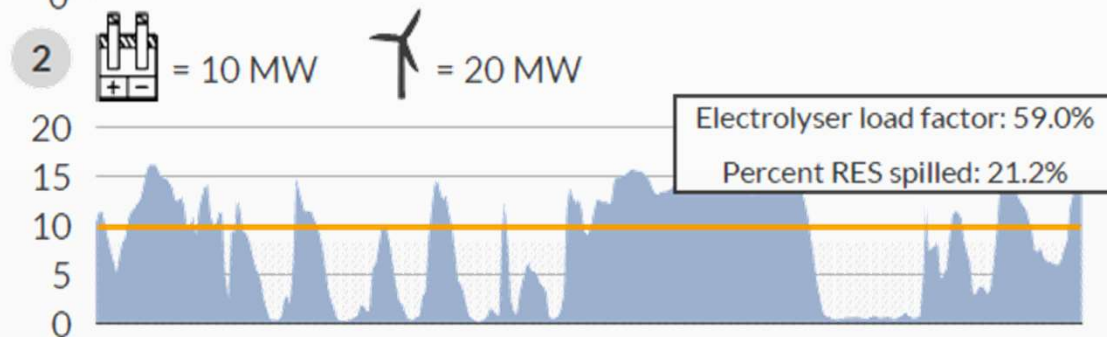
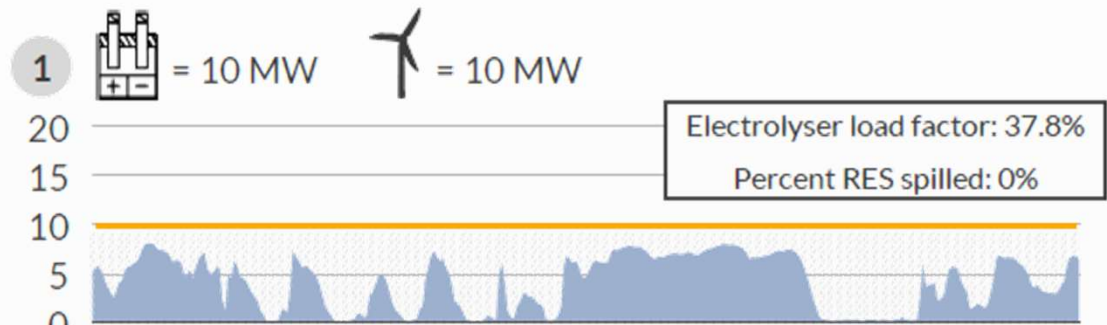
Source: IEA analysis based on wind data from Rife et al. (2014), NCAR Global Climate Four-Dimensional Data Assimilation (CFDDA) Hourly 40 km Reanalysis and solar data from renewables.ninja (2019).

**The declining costs of solar PV and wind could make them a low-cost source for hydrogen production in regions with favourable resource conditions.**

## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis

Example electricity generation profiles for various renewable sizings

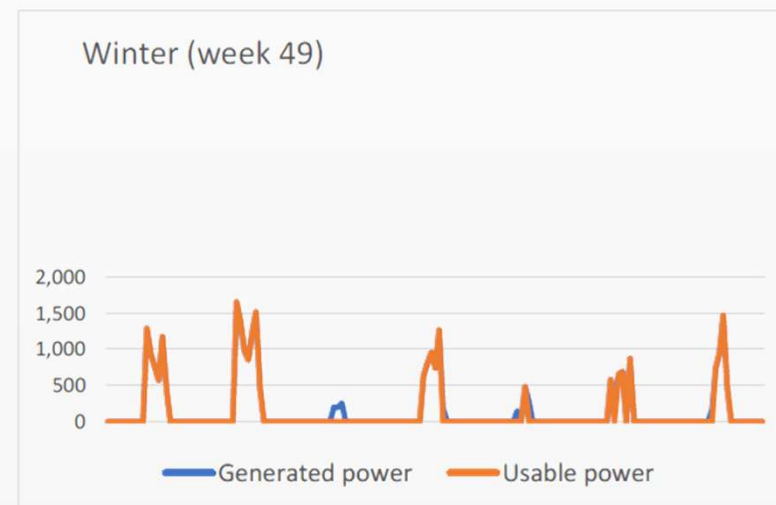
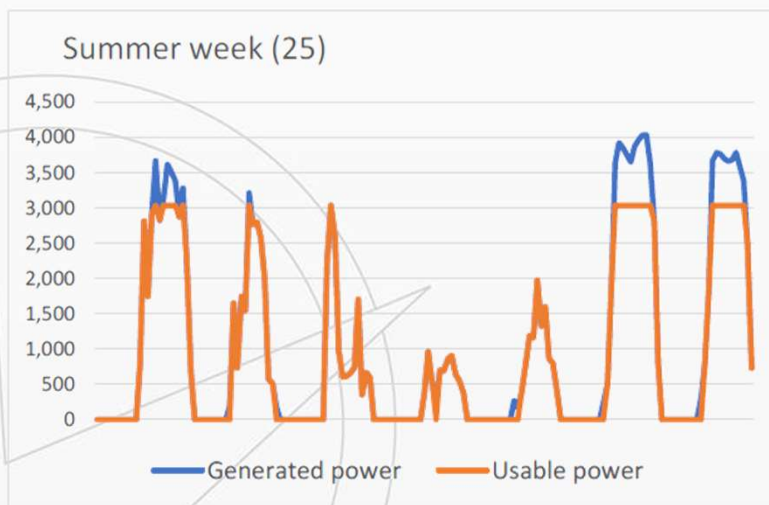
MW



 Solar generation  Wind generation  Supply deficits  Electrolyser capacity

©2023 Instituto Tecnológico de la Energía

## 2. Producción: Fuentes renovables | Electrólisis



## Diapositiva 23

---

**JPRO**

Producción y consumo de comunidaes de regantes

Juan Pérez Rico; 2023-09-19T12:37:13.830

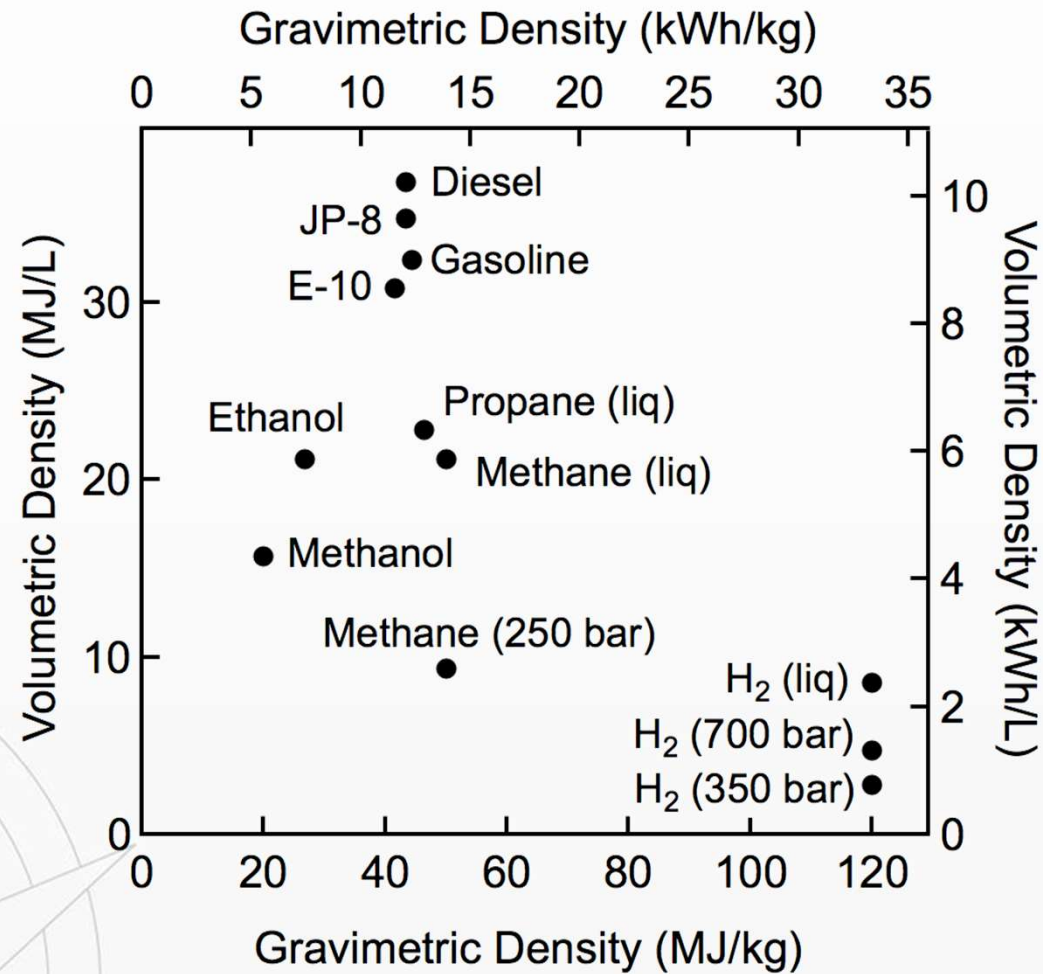
### 3. Almacenamiento de hidrógeno

Los sistemas más desarrollados para el almacenamiento de hidrógeno son:

- en gas a presión
- en forma líquida (almacenamiento criogénico)
- en hidruros metálicos



### 3. Almacenamiento de hidrógeno



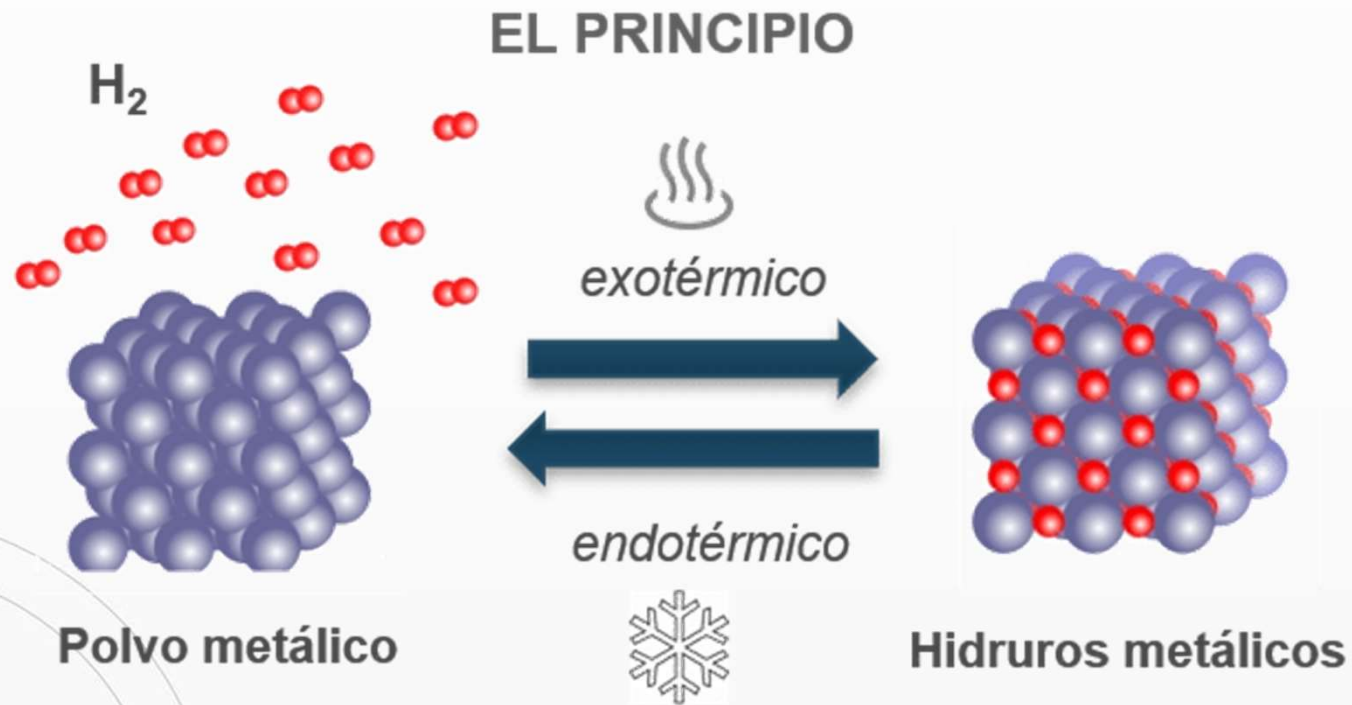
### 3. Almacenamiento de hidrógeno

	VENTAJAS	INCONVENIENTES	EQUIPOS REQUERIDOS
<b>PRESURIZADO (350 BAR)</b>	Simple	Baja densidad energética	Tanque
<b>LICUADO</b>	Alta densidad energética	Coste elevado Aislamiento térmico	Tanque con sistema de aislamiento Bomba Evaporador
<b>HIDRUROS METÁLICOS</b>	Alta densidad energética	Generación/absorción de calor Selección de materiales	Tanque almacenamiento Sistema control de temperatura Sistema de control presión
<b>AMONIACO</b>	Alta densidad energética	Necesita equipos adicionales	Tanque Reactor catalítico Sistema control de la temperatura



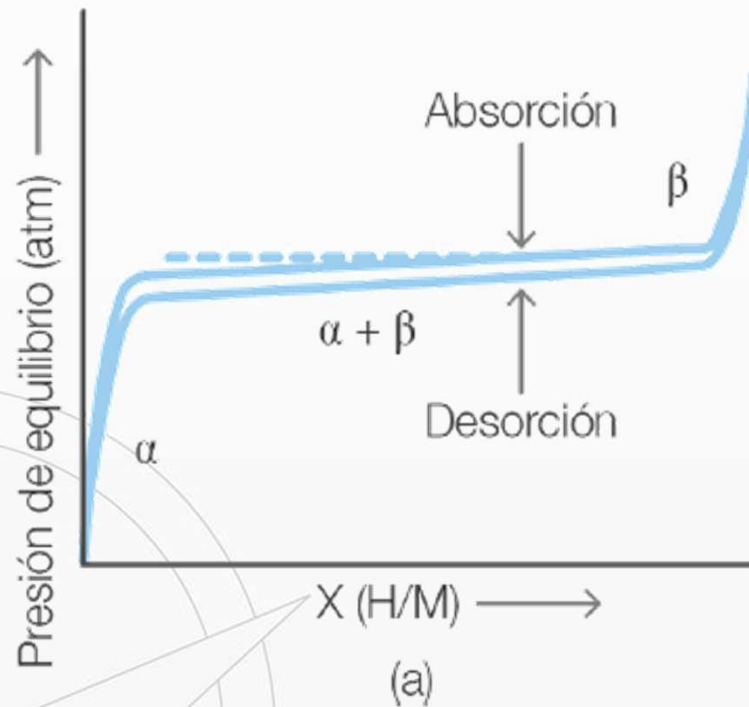
### 3. Almacenamiento de hidrógeno

#### Hidruros metálicos

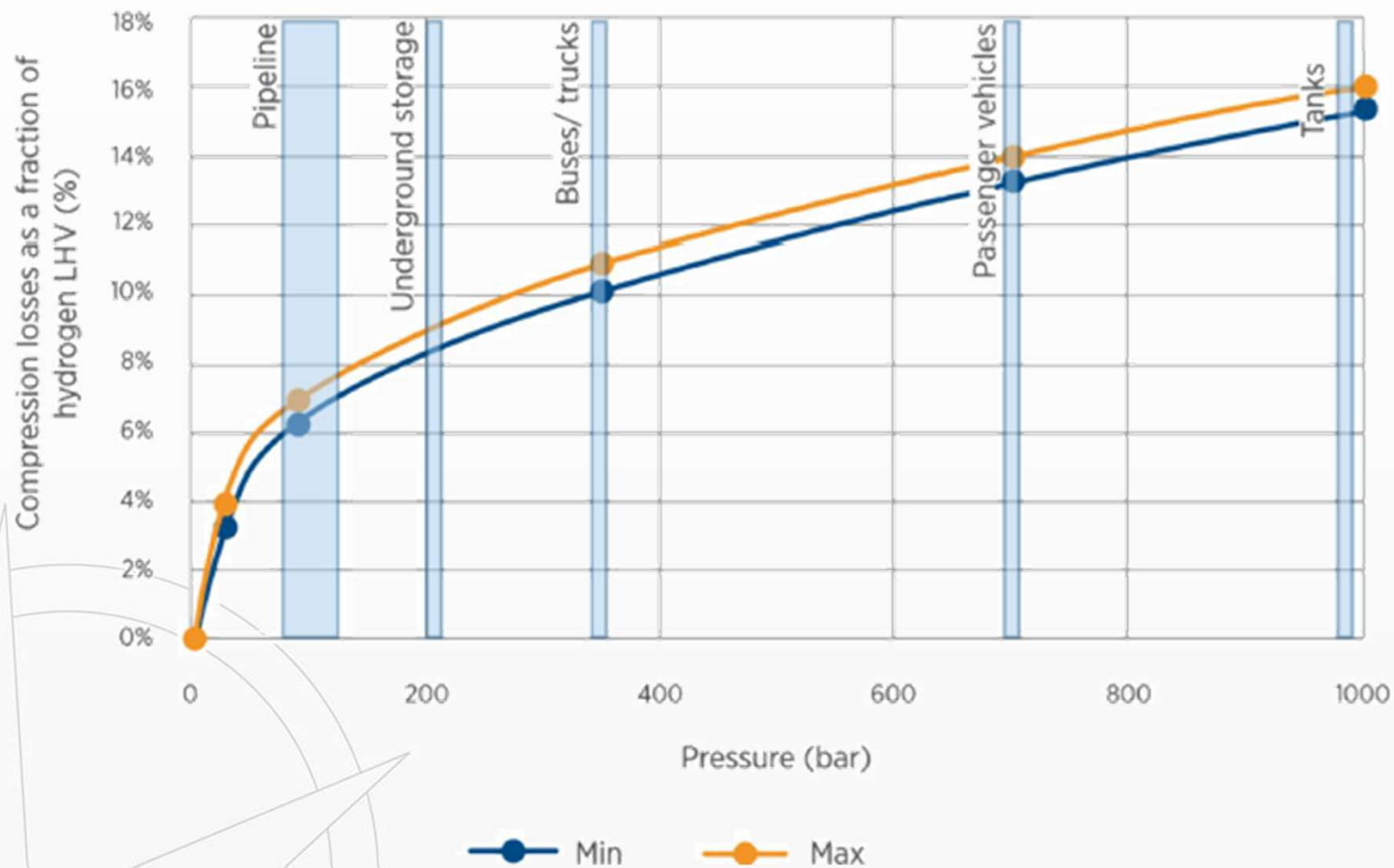


### 3. Almacenamiento de hidrógeno

#### Hidruros metálicos

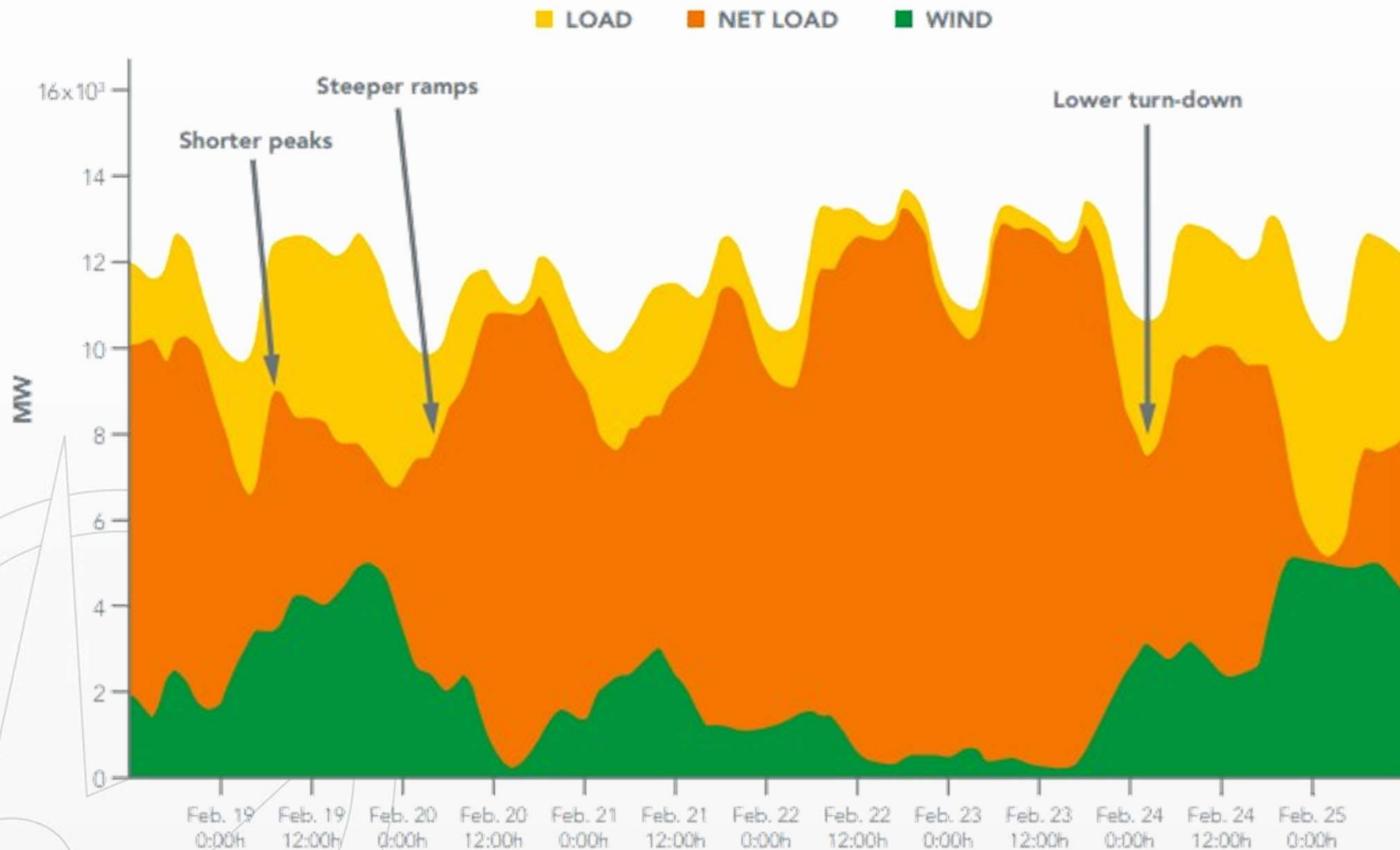


# Pérdidas de Energía debidas a compresión



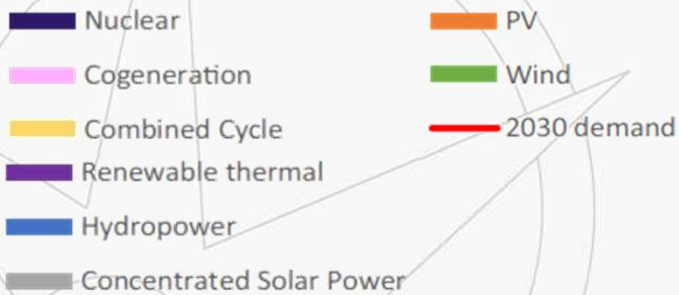
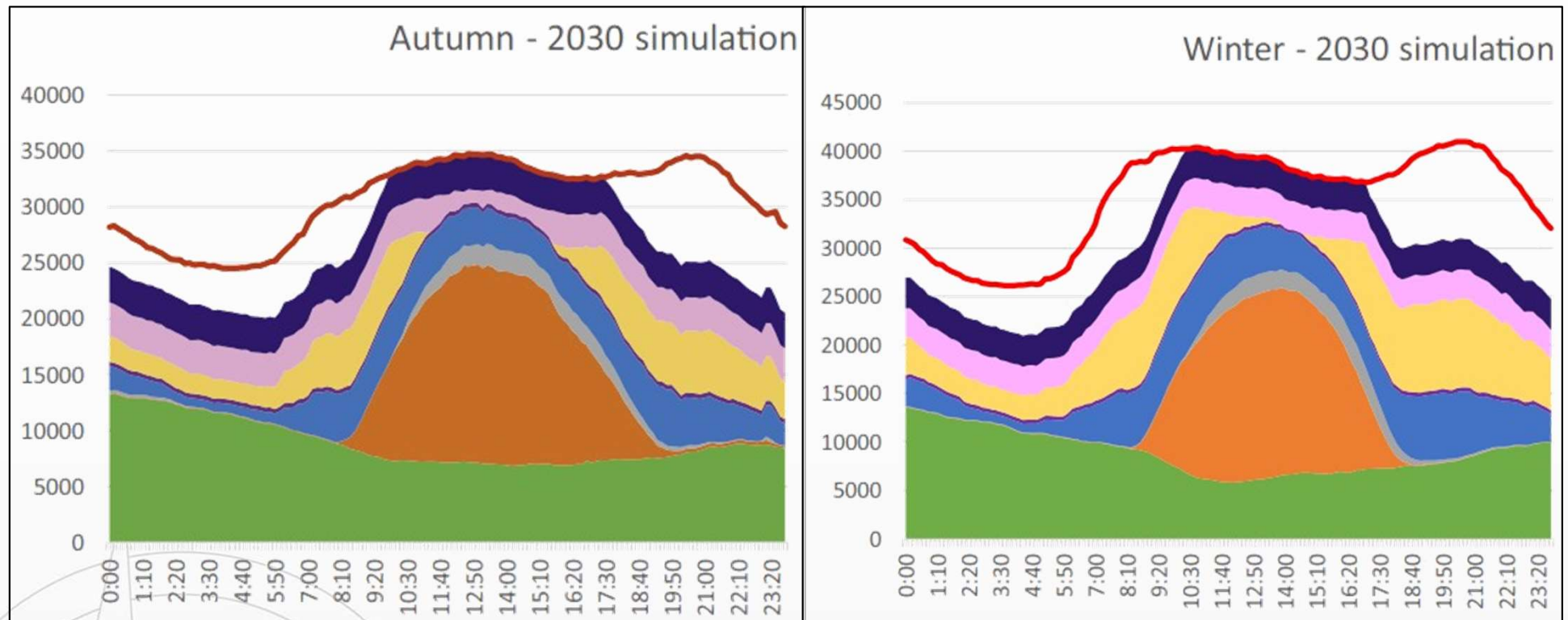
Fuente: IRENA (2020)

# Necesidad de flexibilidad en sistemas eléctricos descarbonizados



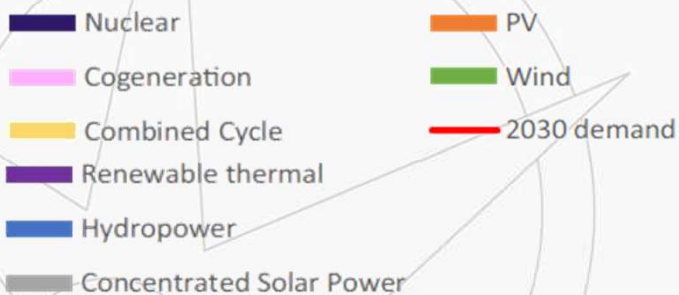
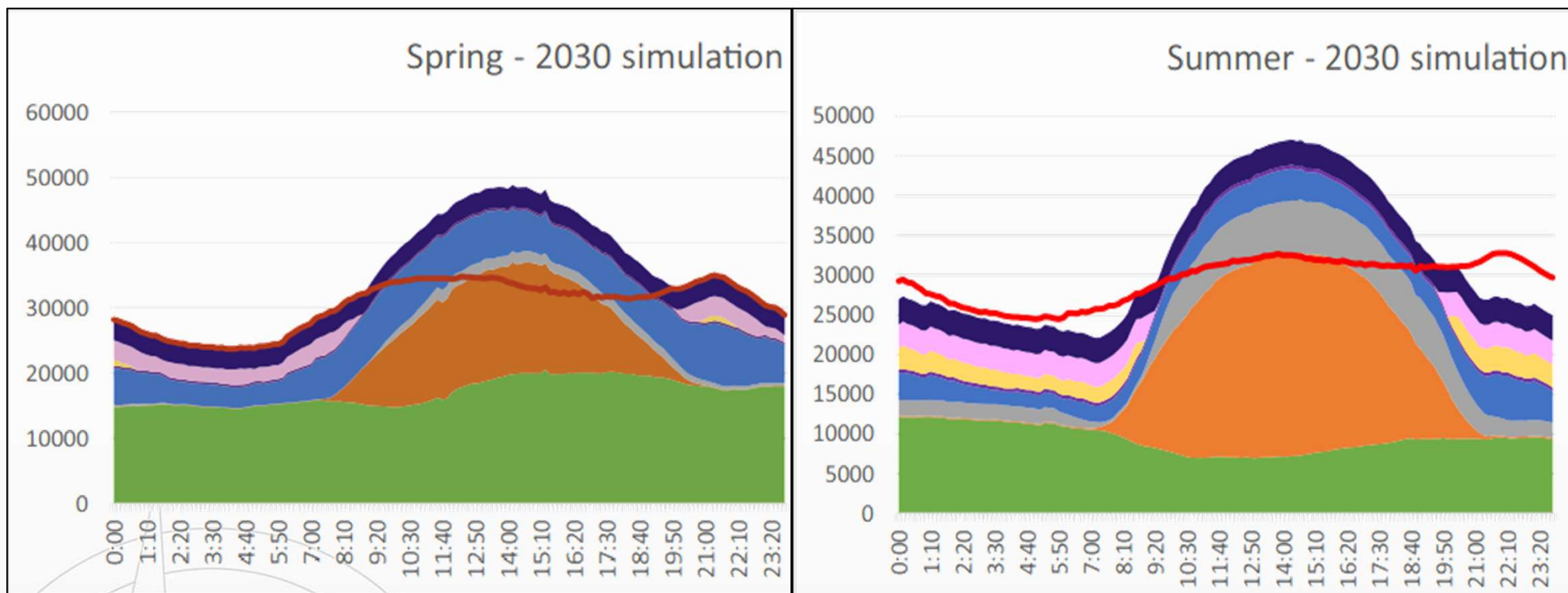
Fuente: Flexibility in 21st Century Power Systems © 2023 Instituto Tecnológico de la Energía

# Necesidad de flexibilidad estacional



Fuente: J.J. Brey, "Use of hydrogen as a seasonal energy storage system to manage renewable power deployment in Spain by 2030", International Journal of Hydrogen Energy, 2020, ©2023 Instituto Tecnológico de la Energía

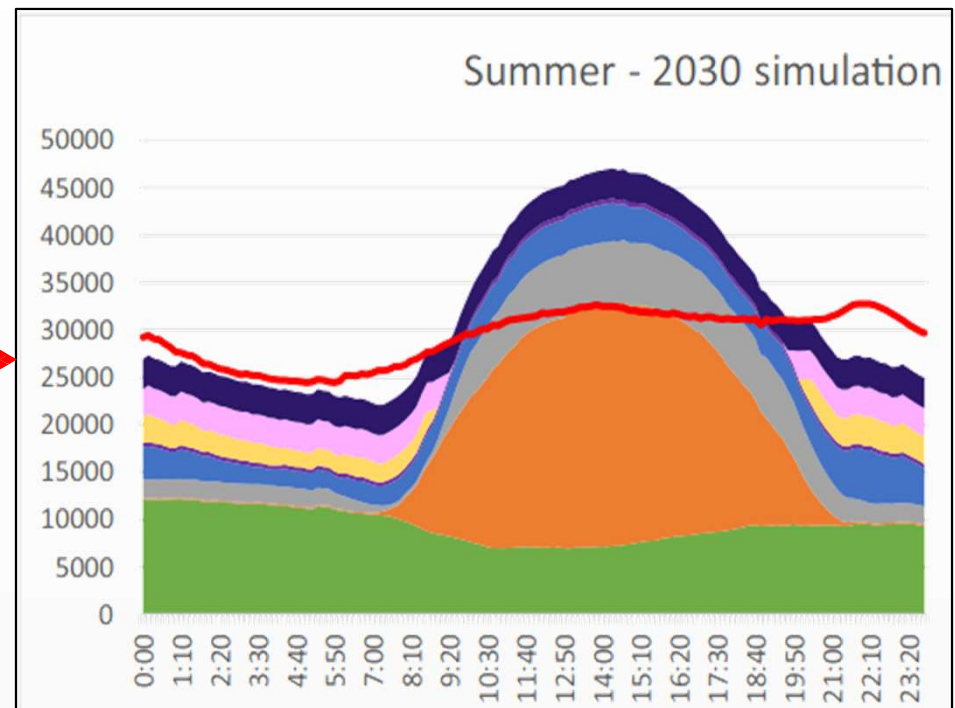
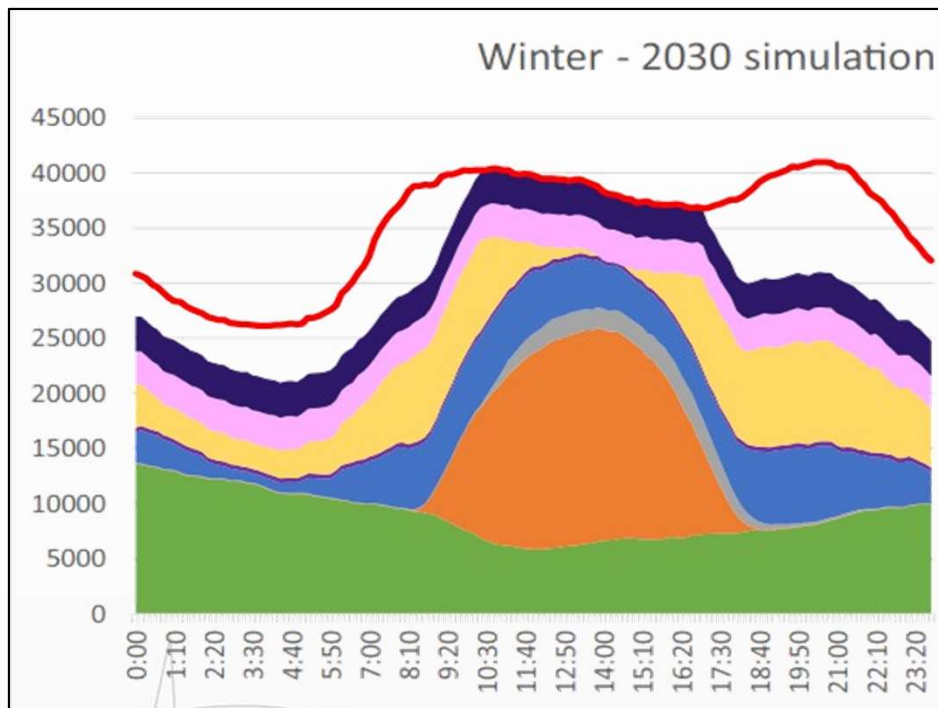
# Necesidad de flexibilidad estacional



Fuente: J.J. Brey, "Use of hydrogen as a seasonal energy storage system to manage renewable power deployment in Spain by 2030", International Journal of Hydrogen Energy, 2020,

©2023 Instituto Tecnológico de la Energía

# Necesidad de flexibilidad estacional



## Balance diario

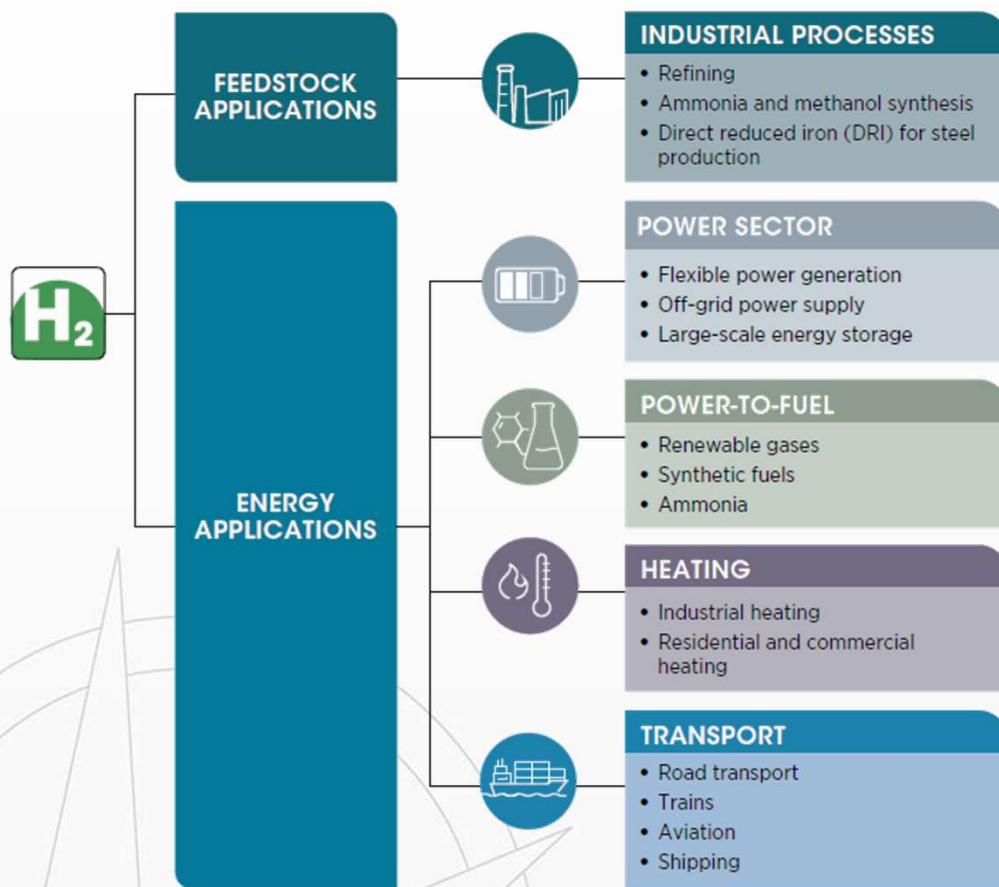
- Baterías
- Gestión de la demanda

## Balance estacional

- Hidrogeno
- Bombeo
- Gestión de la demanda

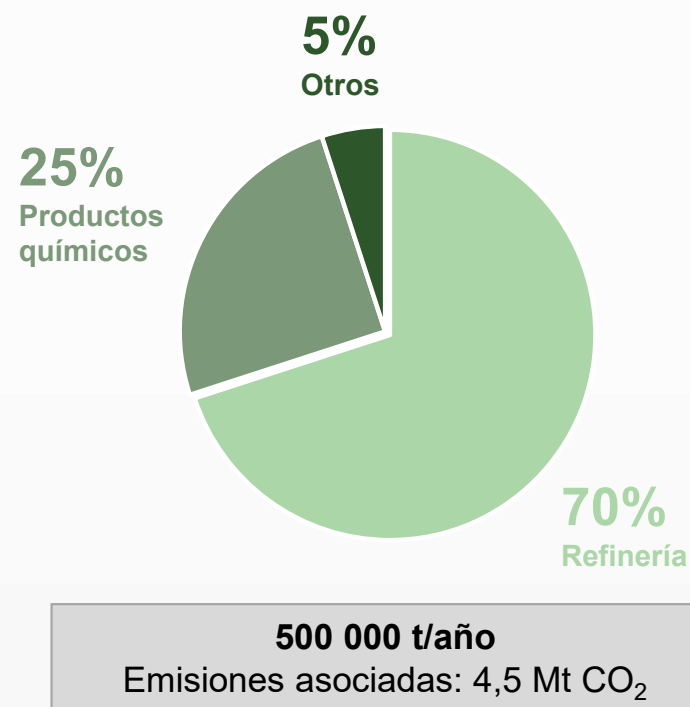
Fuente: J.J. Brey, "Use of hydrogen as a seasonal energy storage system to manage renewable power deployment in Spain by 2030", International Journal of Hydrogen Energy, 2020,

# 4. Usos



Fuente: IRENA 2020

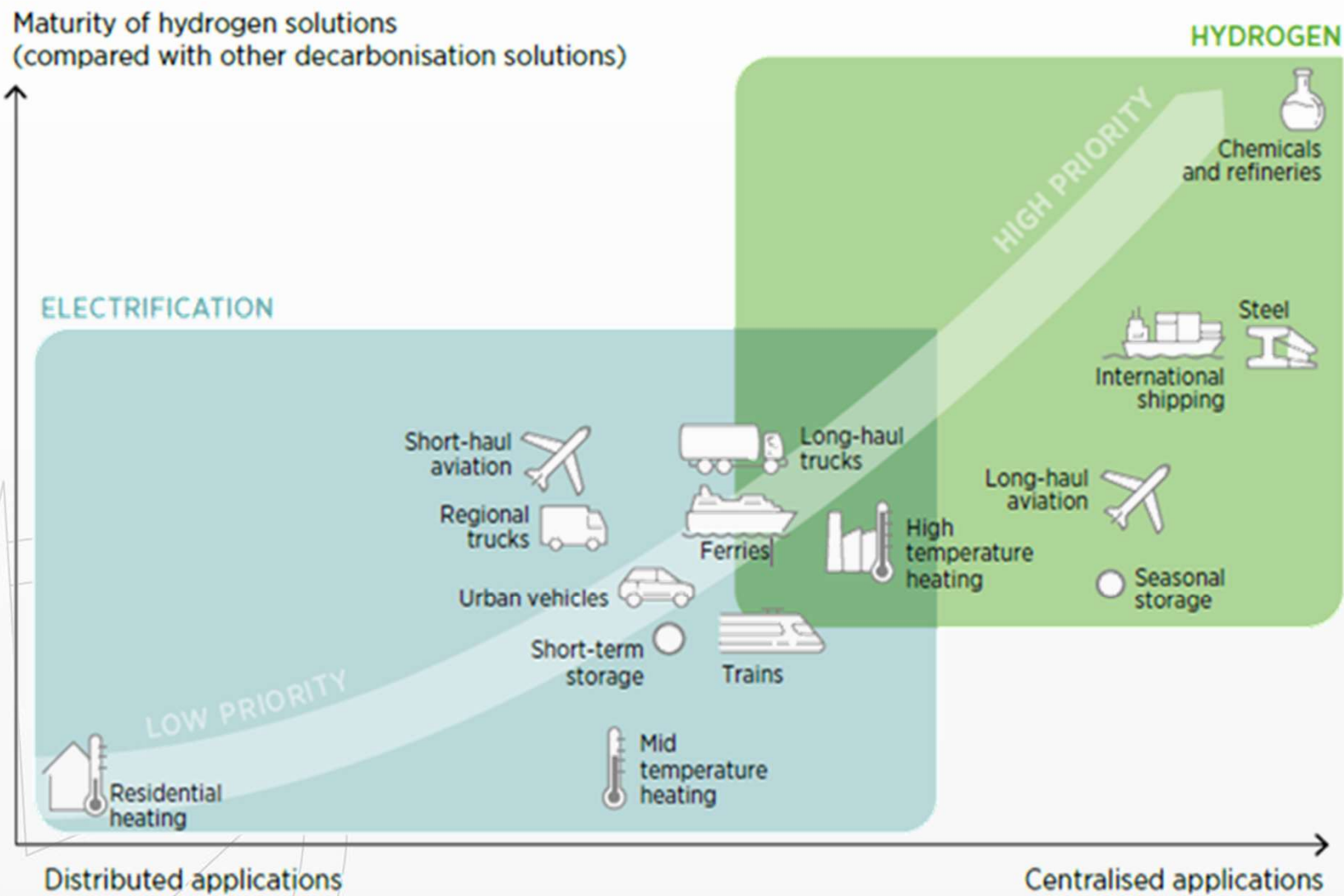
## Consumo de hidrógeno en España



Fuente: Hoja de Ruta del Hidrógeno, 2020

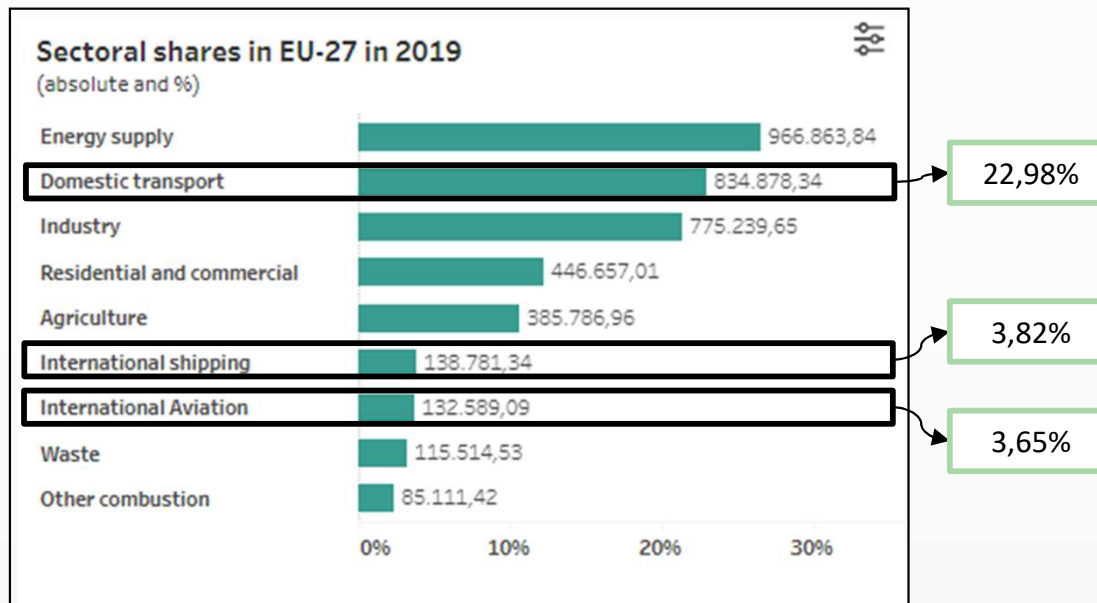


# 4. Usos



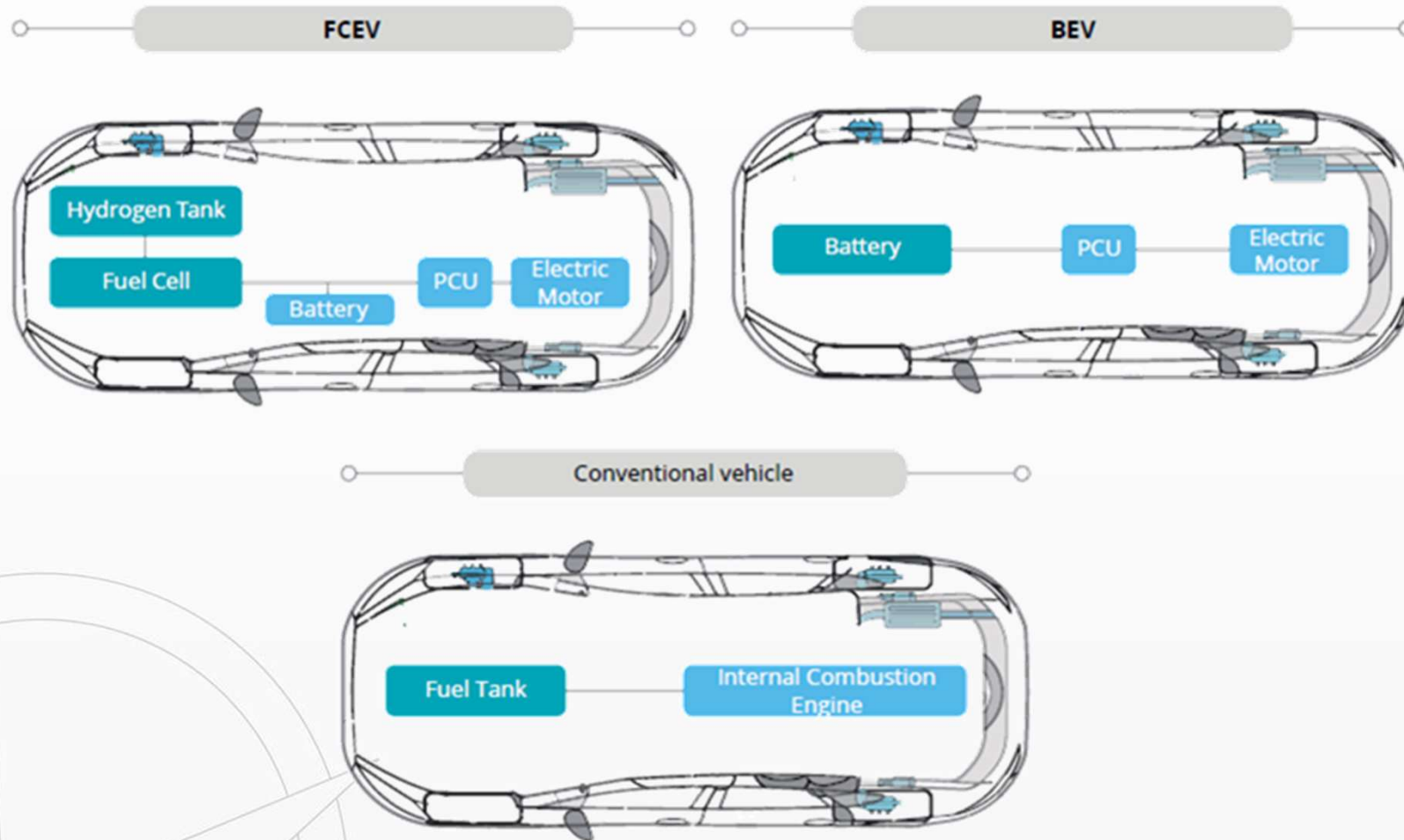
## 4. Usos: movilidad

-  Carretera
-  Ferroviario
-  Marítimo
-  Aviación



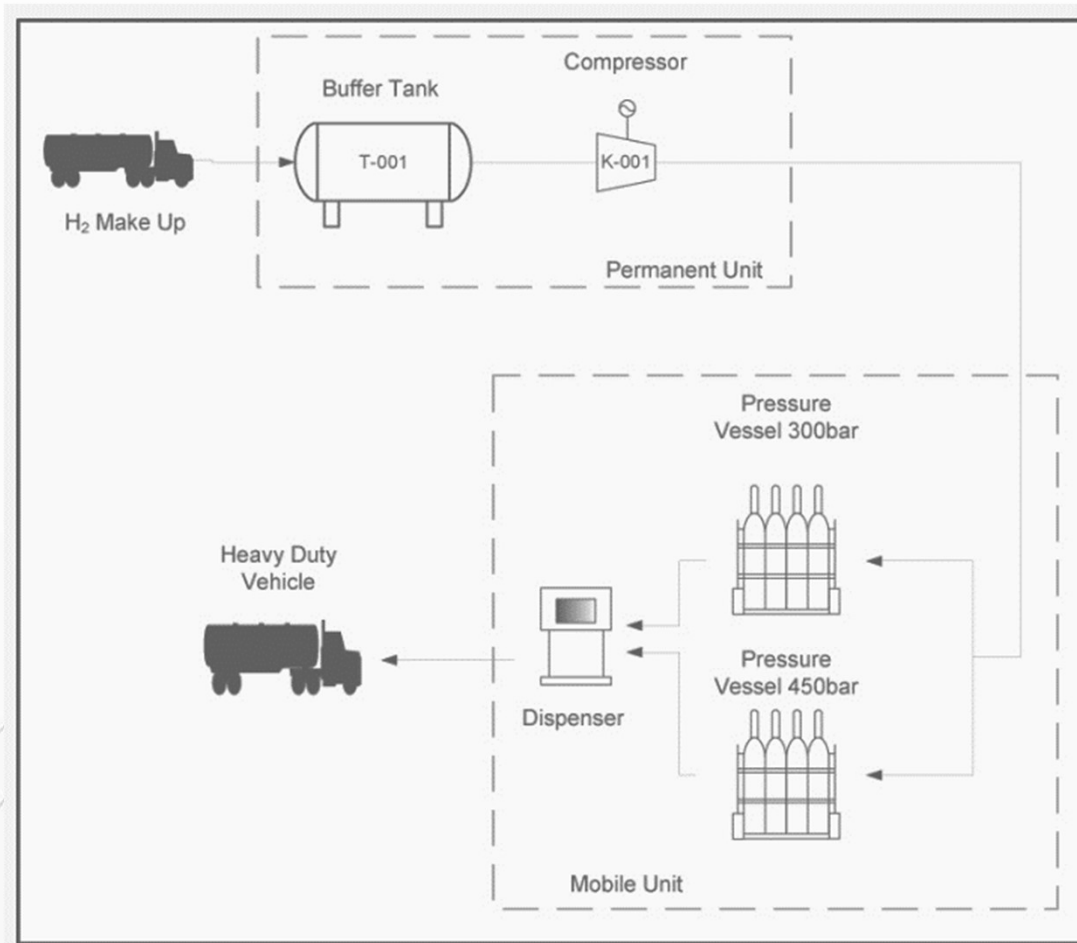
Fuente: eea.europa.eu

## 4. Usos: movilidad

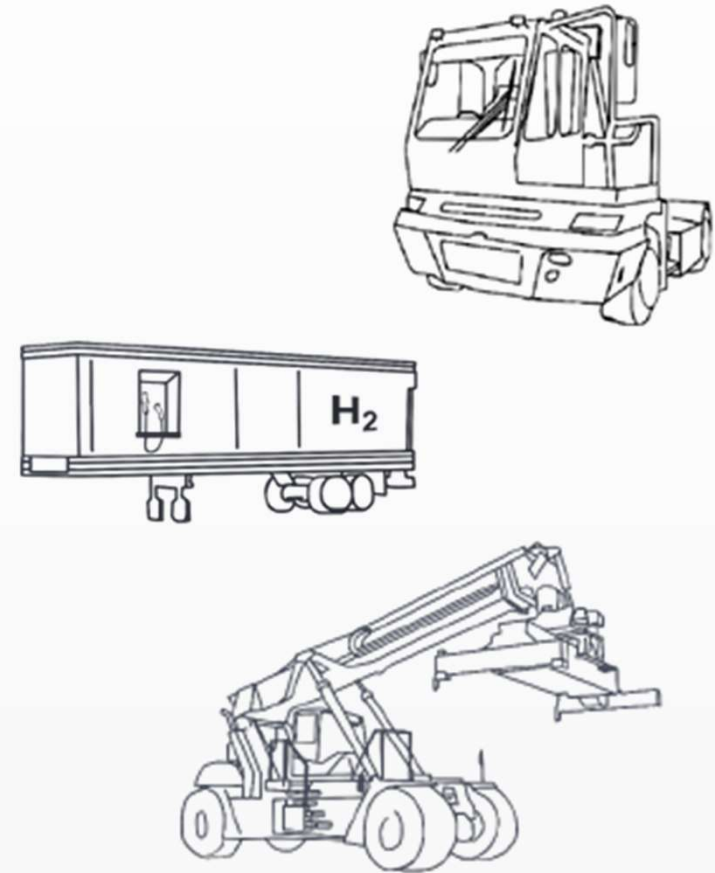


Fuente: Ballard

## 4. Usos: movilidad



Fuente: h2ports.eu



## 4. Usos: movilidad

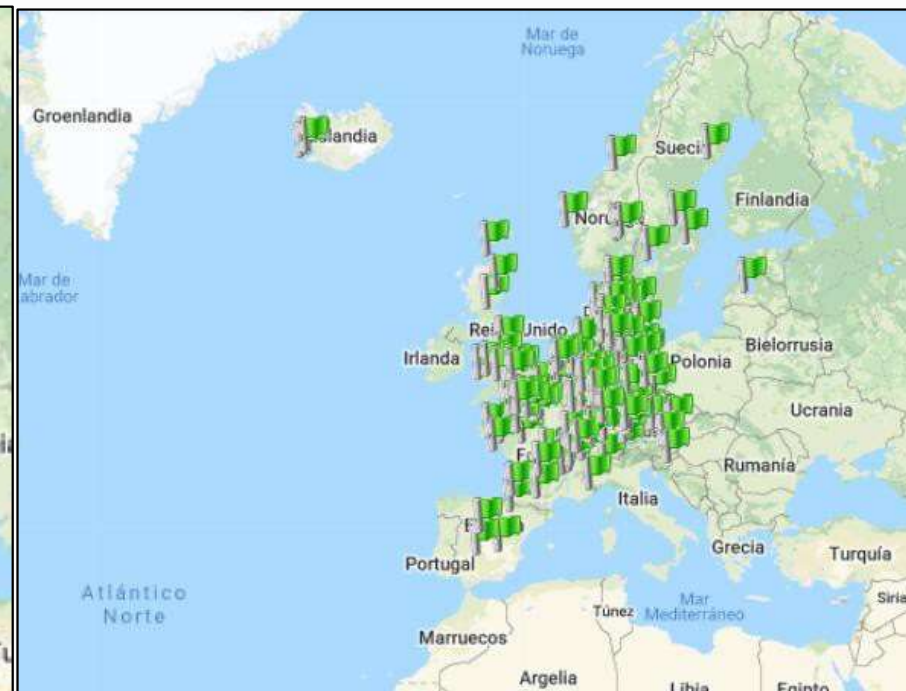


## 4. Usos: movilidad

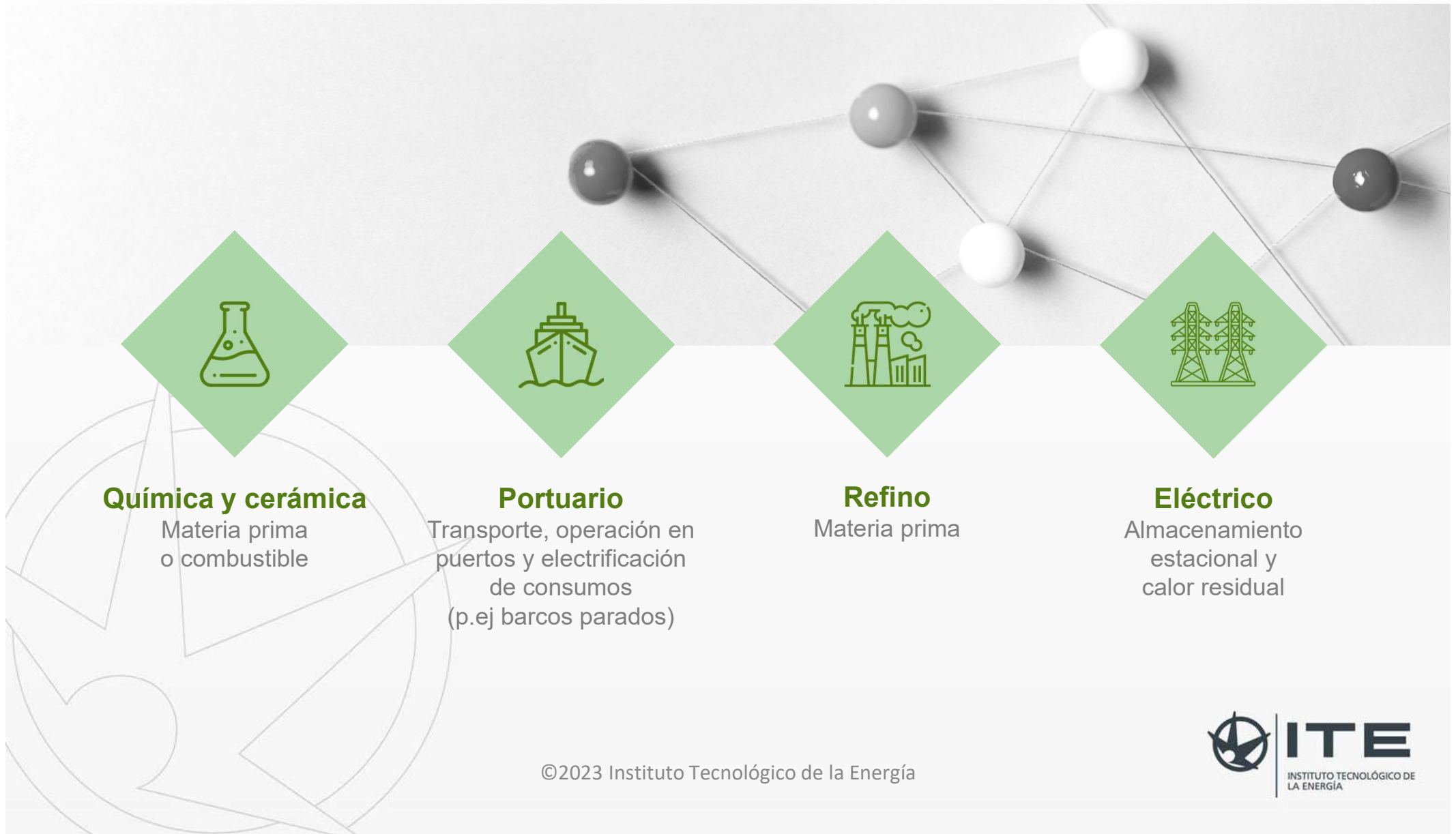
Hidrogeneras / hidrolineras  
planificadas



Hidrogeneras / hidrolineras en  
operación



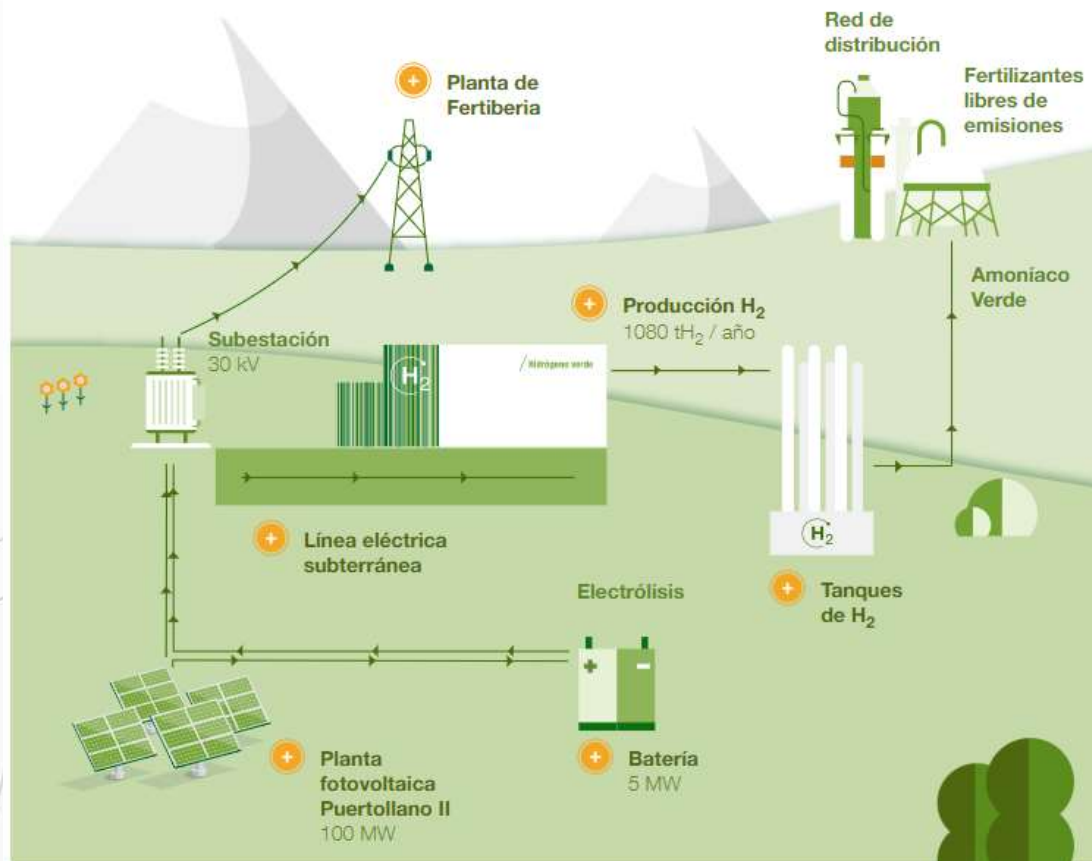
## 4. Usos: industria



## 4. Usos: industria

### Química

#### Producción de NH<sub>3</sub>



Fuente: Iberdrola, 2022

Como materia prima:  
**1,1 Mt CO<sub>2</sub>** en el sector

Caso Puertollano:  
**39 kt CO<sub>2</sub>**



# 4. Usos: industria

## Refinería

### La refinería de BP en Castellón se transformará en un 'clean energy hub' que producirá hidrógeno verde y biocombustibles

La Generalitat firma un convenio con la petrolera para reducir las emisiones de carbono en la Comunitat Valenciana



Refinería de BP en Castellón.. / LP

EUROPA PRESS  
CASTELLÓN

Miércoles, 26 enero 2022, 09:36



Fuente: Las Provincias, 2022

### Cepsa Intends to Build Spain-Morocco Hydrogen Pipeline

Hydrogen is a clean and carbon-free fuel that can be produced from renewable energy, biomass, nuclear power, or natural gas

Souad Anouar May 12, 2022 4:38 p.m.

### Ecopetrol seeking hydrogen partners, readying new project

Bnamericas

Published: Wednesday, May 11, 2022



### BP flags huge green hydrogen plan as oil giant joins Dutch offshore wind bidding race

UK-based supermajor says 500MW of electrolysis would supply Rotterdam refinery as it confirms bid for 1.4GW Hollandse Kust West zones

12 May 2022 8:04 GMT UPDATED: 18 May 2022 18:12 GMT

By Andrew Lee

## 4. Usos: industria

### Cerámica

Sustitución gas natural como combustible

Adaptar tuberías de acero

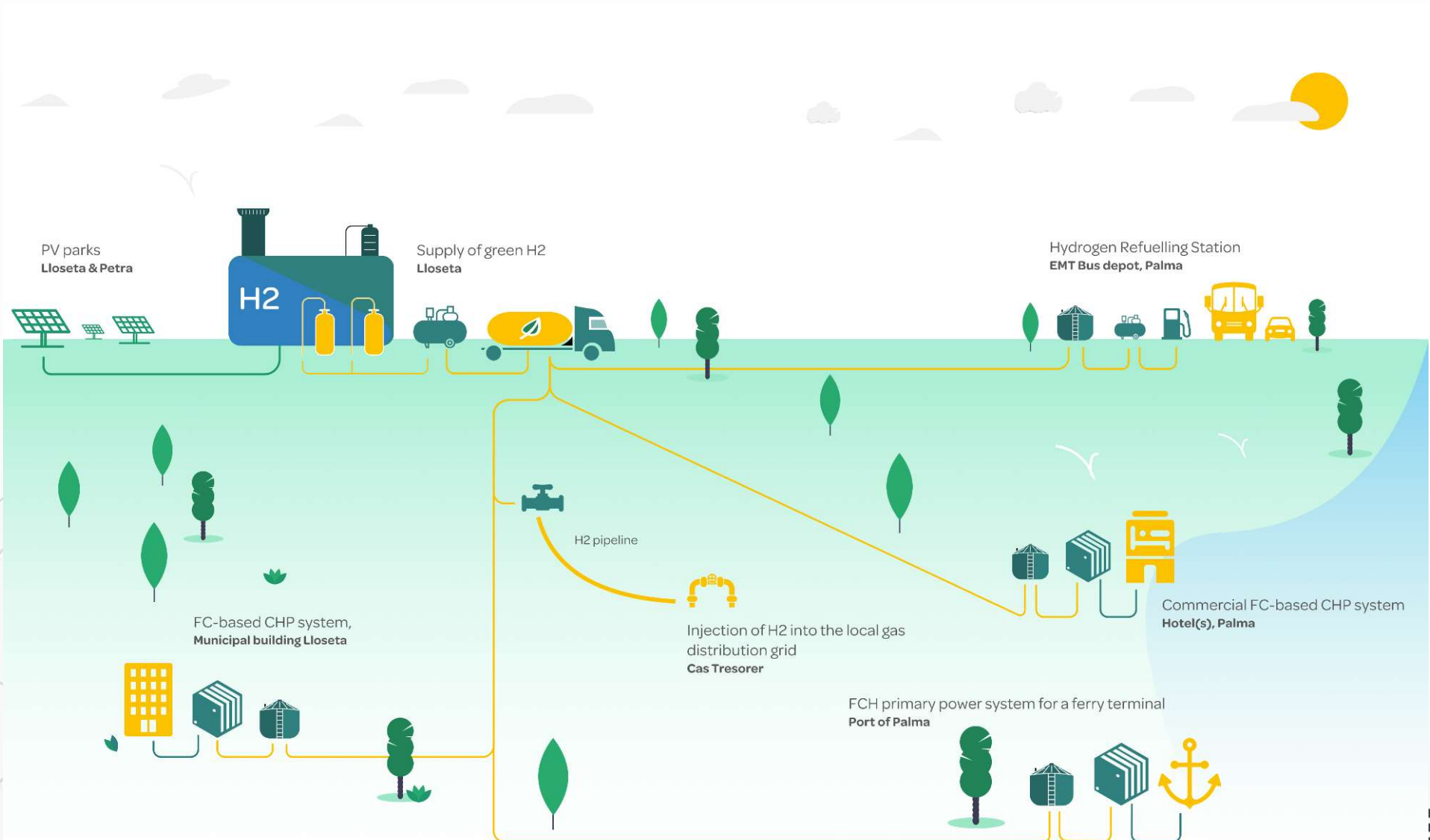
Quemadores convencionales hasta 20%  $H_2$

Quemadores de  $H_2$ :  
Menor temperatura de llama  
Moléculas más pequeñas  
Velocidad de retorno



# Casos de éxito: acoplamiento sectorial

## Proyecto Green Hysland



## Diapositiva 45

---

**JPRO**

**Actualizar imagenes**

Juan Pérez Rico; 2023-09-19T12:33:22.546

## 5. Caso de uso: sector agrícola

¿Por qué?

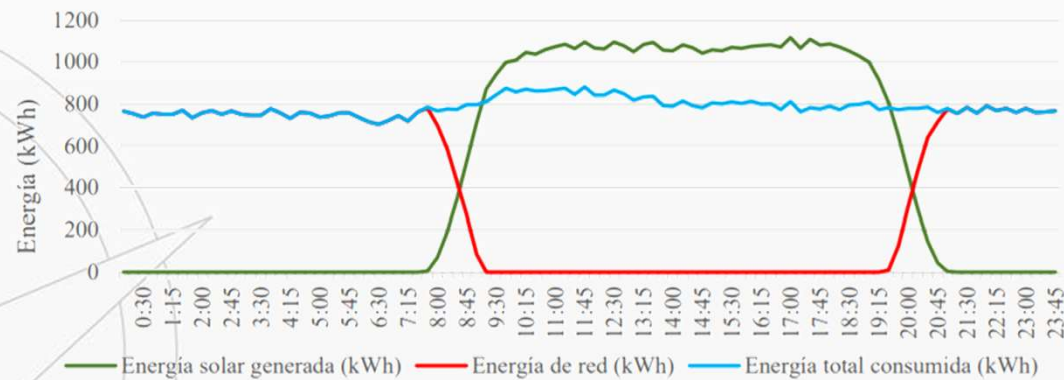
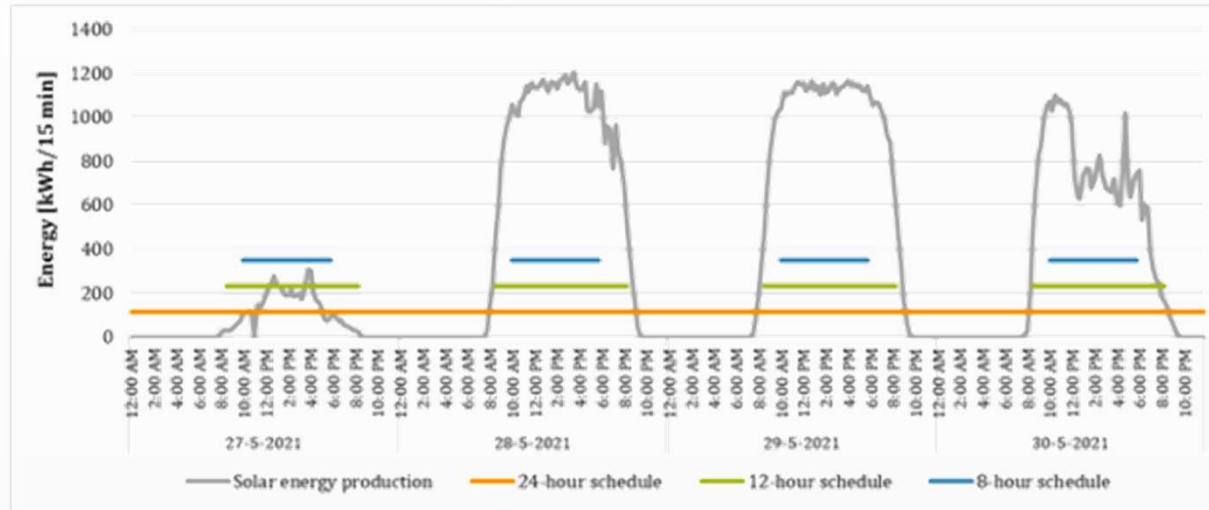


europapress / andalucía

**Regantes de Jaén cifran en más de dos millones las pérdidas por no poder vender sus excedentes de energía solar**

## 5. Caso de uso: sector agrícola

¿Por qué?

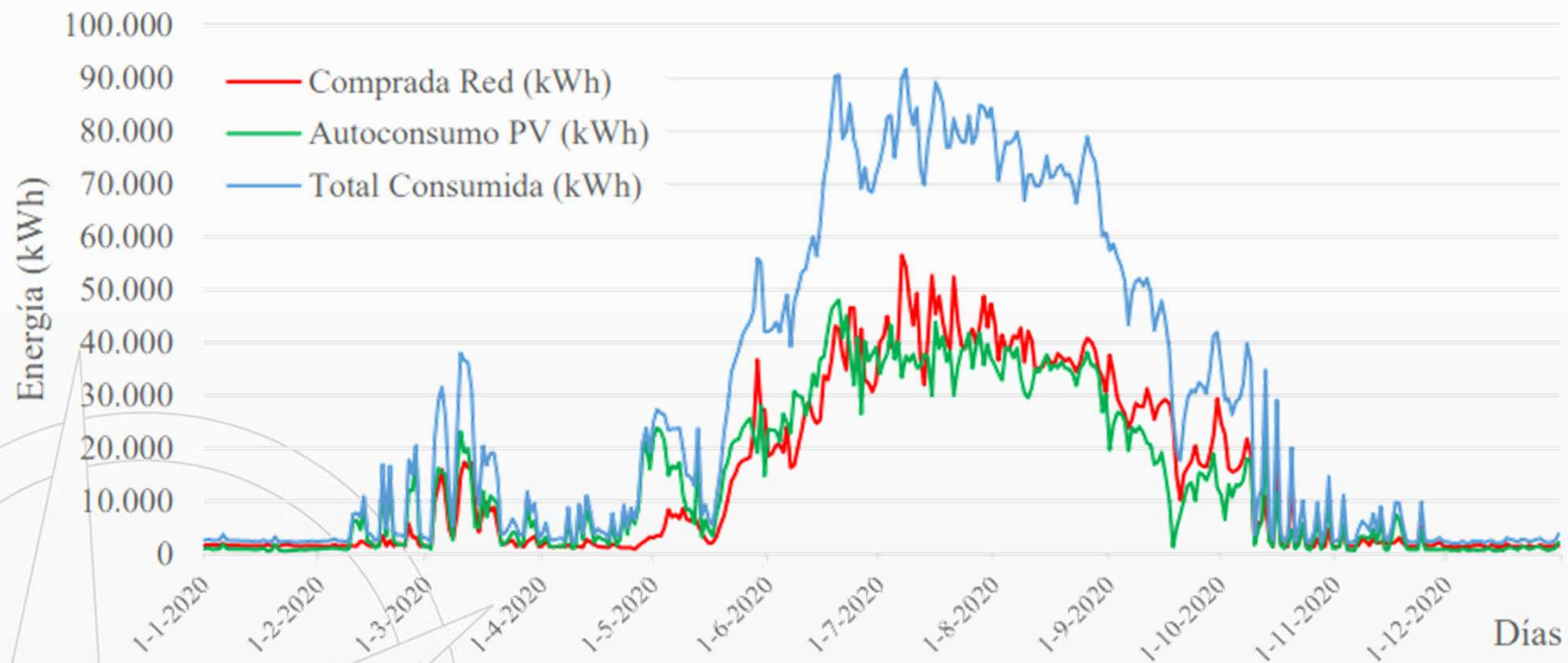


15/08/2020

Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir

## 5. Caso de uso: sector agrícola

¿Por qué?



## 5. Caso de uso: sector agrícola

¿Por qué?

Año	Mes	Uso del agua	Requerimientos de agua de riego	Uso de energía	Producción energía solar	Factor agua/energía
		[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m <sup>3</sup> ]
2020	Octubre	3.431.307	9.774.827	475.375	662.137	0,14
2020	Noviembre	1.711.292	4.054.076	132.031	474.952	0,08
2020	Diciembre	0	0	98.581	416.830	-
2021	Enero	20.779	0	85.018	496.554	4,09
2021	Febrero	34.694	1.261.268	85.134	543.231	2,45
2021	Marzo	2.824.556	11.171.231	593.180	1.025.820	0,21
2021	Abril	6.622.591	10.810.869	869.107	995.461	0,13
2021	Mayo	7.280.655	27.229.876	1.044.535	1.426.020	0,14
2021	Junio	10.245.744	32.432.607	1.597.119	1.445.793	0,16
2021	Julio	12.544.049	34.910.098	1.776.500	1.438.602	0,14
2021	Agosto	9.618.202	29.324.482	1.443.680	1.261.572	0,15
2021	Septiembre	4.106.075	11.486.548	747.479	958.166	0,18
	<b>Total</b>	<b>58.439.944</b>	<b>172.455.884</b>	<b>8.947.739</b>	<b>11.145.138</b>	<b>0,15</b>

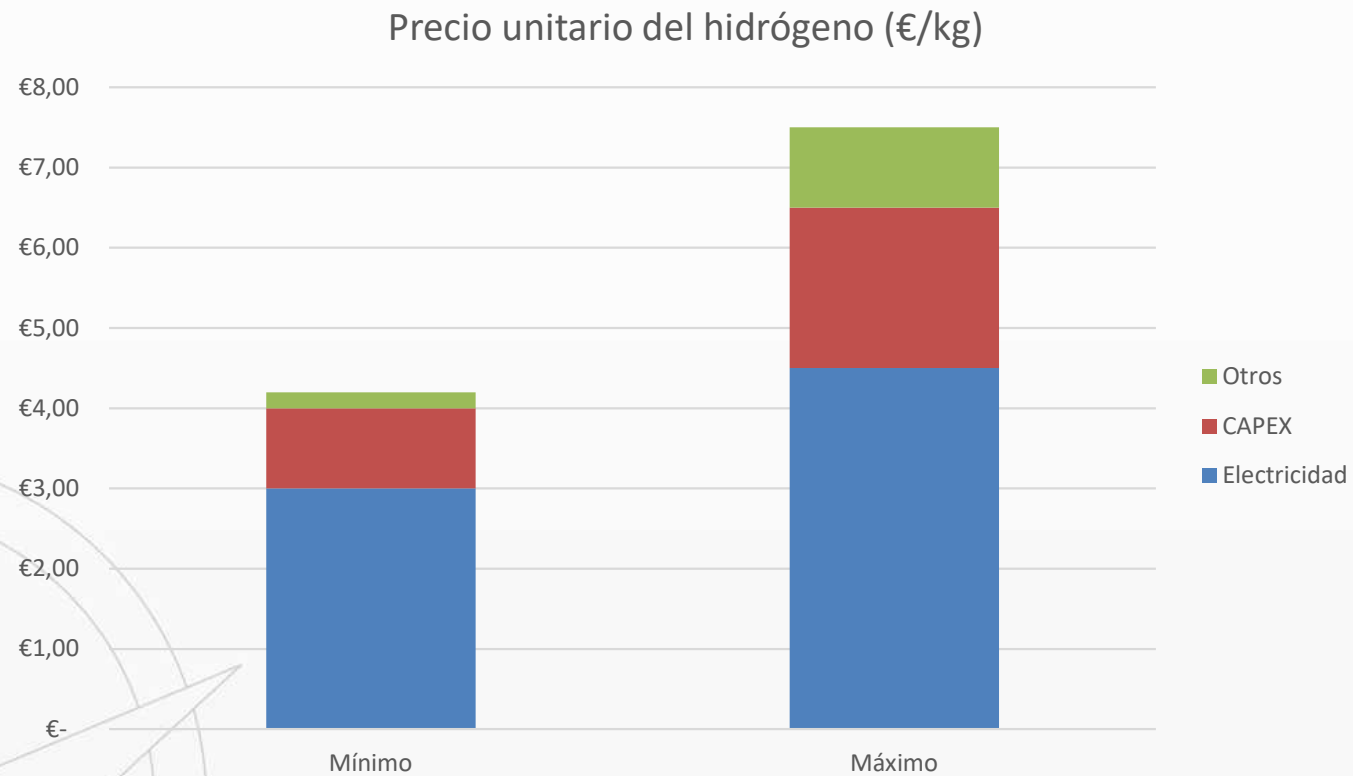
20% excedente teórico

55% excedente real



## 5. Caso de uso: sector agrícola

### ¿Por qué? Uso del hidrógeno



## 5. Caso de uso: sector agrícola

¿Para qué?

Aprovechamiento  
de excedentes

Oxigenación de  
balsas

Potencial uso en maquinaria o en  
re-electrificación



## 5. Caso de uso: sector agrícola

### ¿Para qué? Oxigenación de balsas

Tratamiento para la eutrofización y anoxia en balsas

Reducción volúmenes de fango y sedimentos

Homogenización y rotura tensión superficial

Reducción algas

Reducción olores



## 5. Caso de uso: sector agrícola

¿Para qué?

Uso del hidrógeno

### Los primeros tractores de hidrógeno de Fendt empezarán a trabajar en primavera

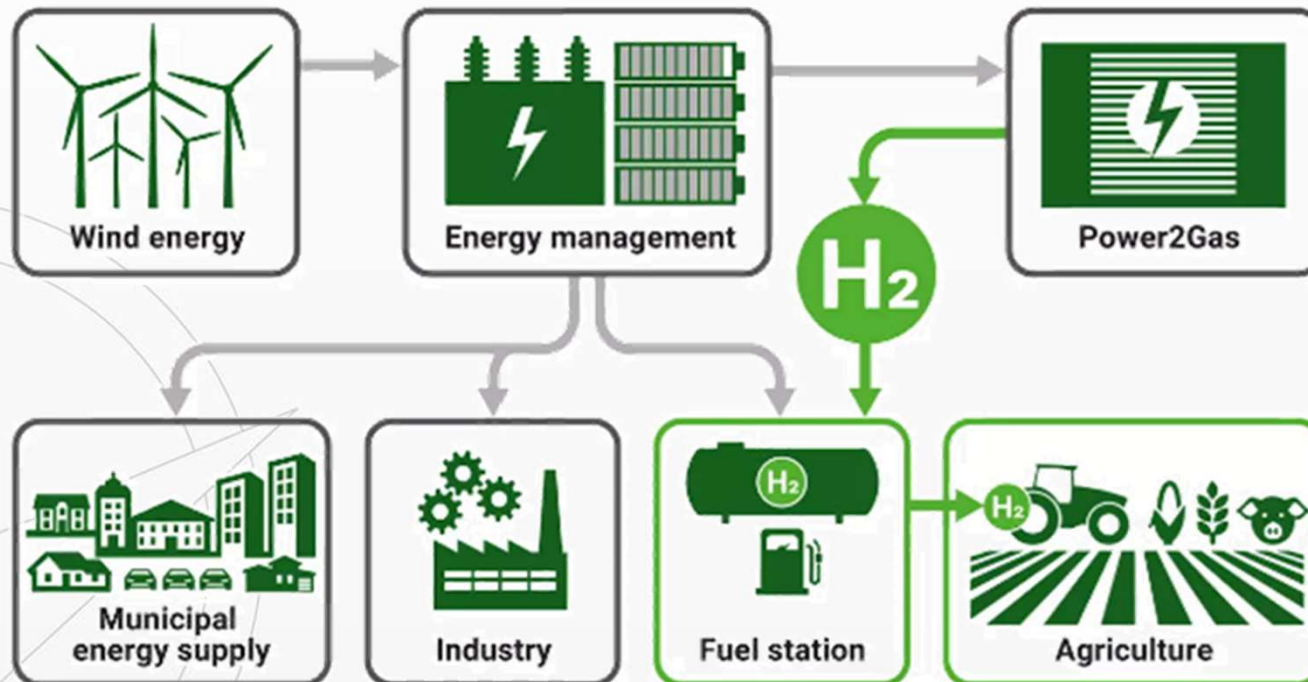
- Como parte del proyecto H2Agrar, Fendt entregará el próximo mes de abril dos tractores de hidrógeno que trabajarán en condiciones reales en Alemania.



## 5. Caso de uso: sector agrícola

¿Para qué?

Uso del hidrógeno



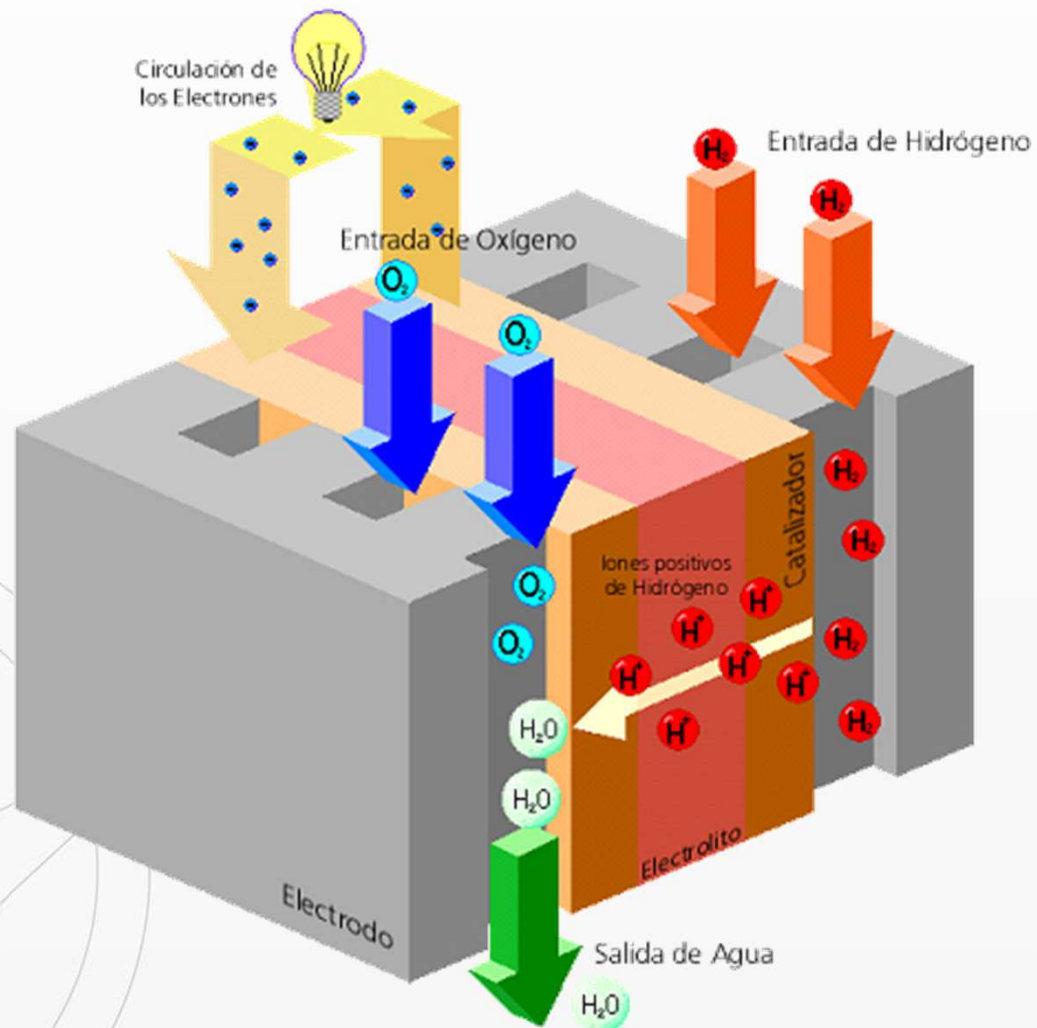
## 5. Caso de uso: sector agrícola

¿Para qué?  
Uso del hidrógeno



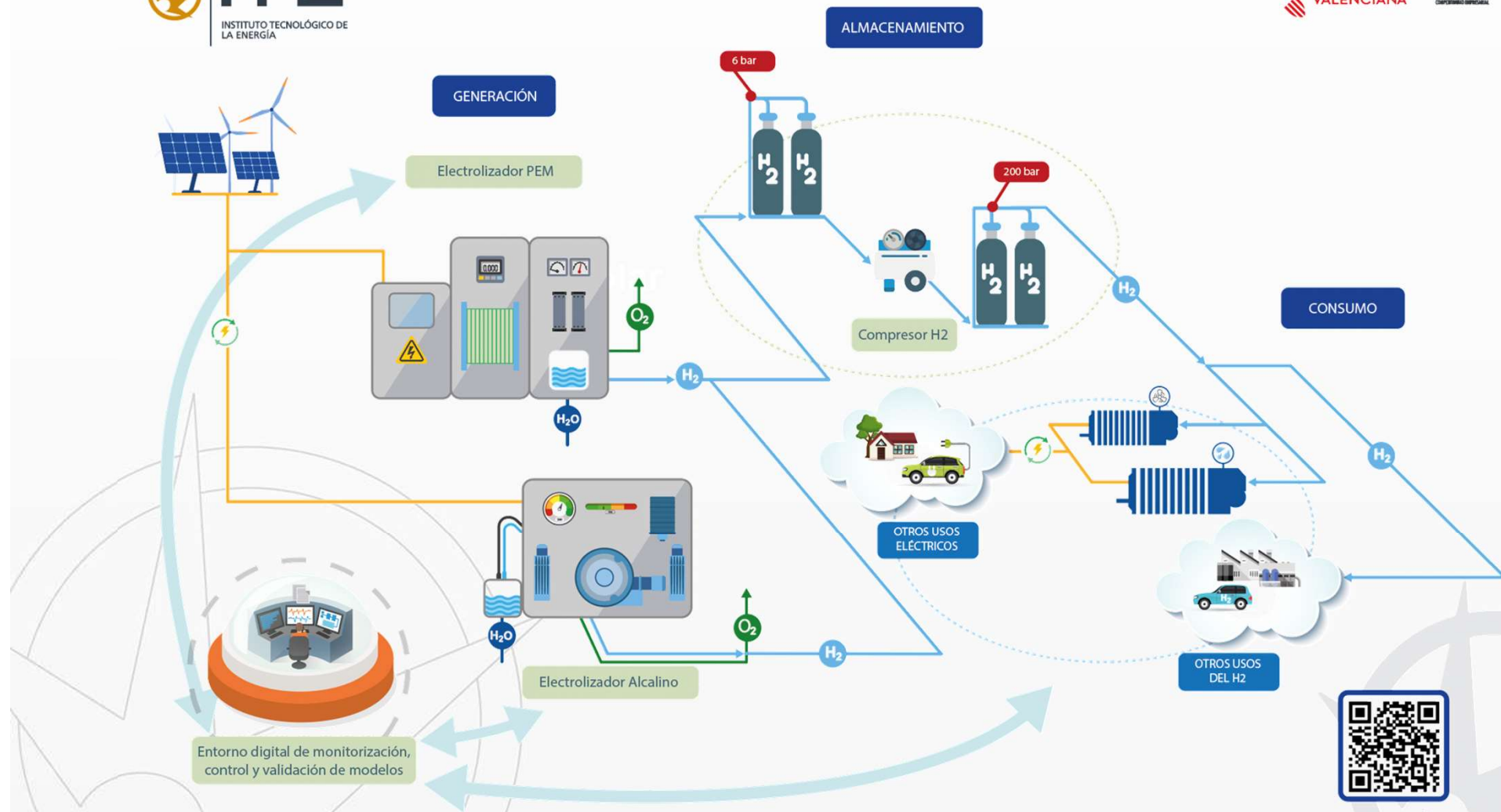
## 5. Caso de uso: sector agrícola

### ¿Para qué? Uso del hidrógeno



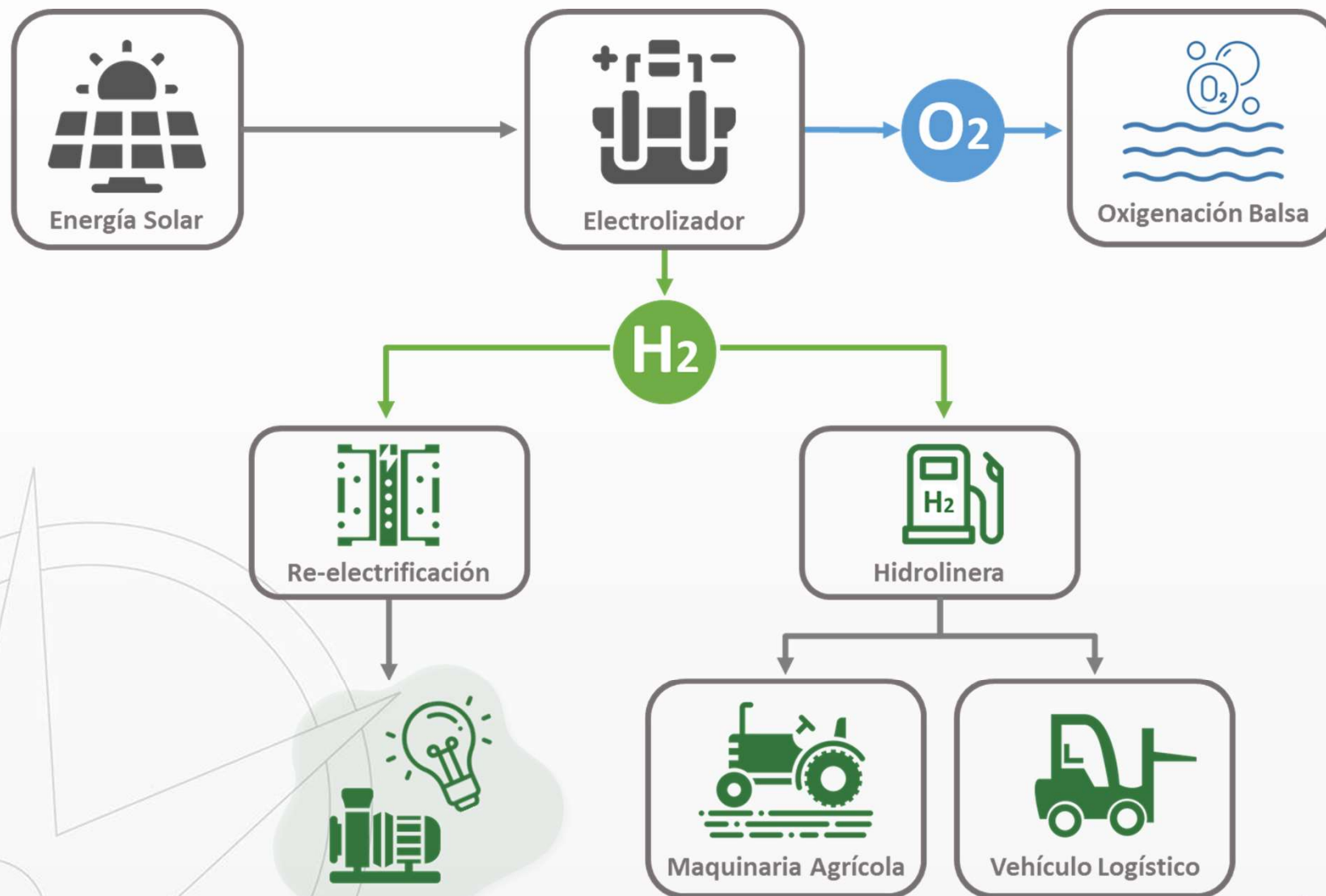
# 5. Caso de uso: sector agrícola

## Re-electrificación





## 5. Caso de uso: sector agrícola



## Diapositiva 58

---

**JPRO**

Pendiente aporte Samira

Juan Pérez Rico; 2023-09-19T14:23:29.479

## 6. Retos



### Tecnológicos

Infraestructura de suministro para aplicaciones móviles.  
Optimización de uso de renovables



### Seguridad

Gas inflamable



### Económicos

Coste de EERR, coste de FC y electrolizadores



### Legales

Distinguir la producción de H2 y proyectos a pequeña escala.  
Promover medidas regulatorias.  
Garantías de origen. Fiscalidad. Financiación



Gracias por su atención  
Instituto Tecnológico de la Energía

[www.ite.es](http://www.ite.es)  
[ite@ite.es](mailto:ite@ite.es)



ITE.energia



@itenergia



Instituto Tecnológico de la Energía