



Universidad
de Huelva



Conferencia sectorial: Jornada del Transporte

La Tecnología de Hidrógeno al servicio del sector transporte.
Propuesta de soluciones.

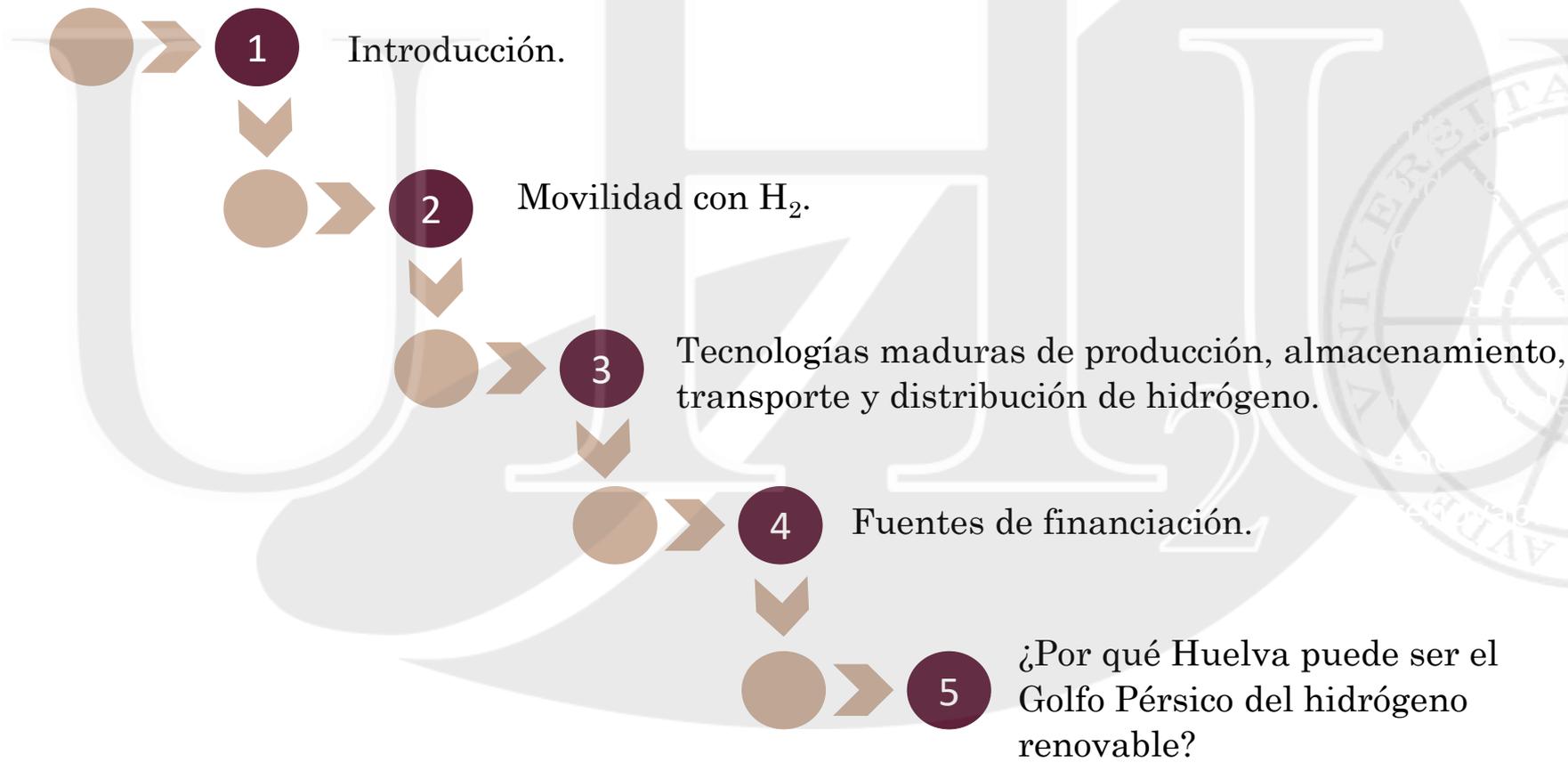
Prof. Dr. José Manuel Andújar Márquez
Director del Centro de Investigación en Tecnología, Energía y Sostenibilidad



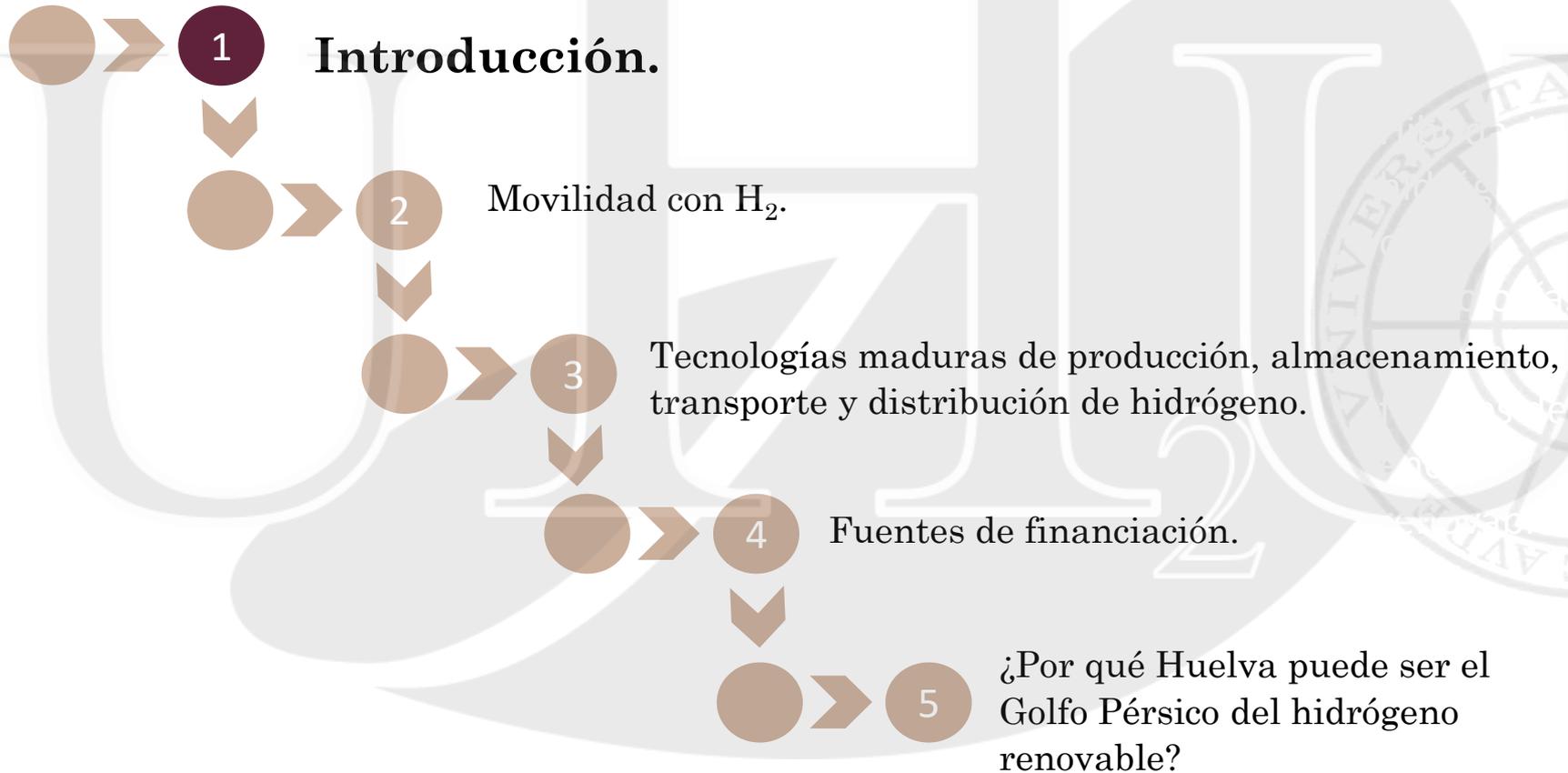
Universidad de Huelva

30 Noviembre 2021

Contenido



1. Introducción



Perspectivas ambientales: las consecuencias de la **inacción**: hechos y cifras

- ❑ Se espera que la población mundial aumente de 7 mil millones en la actualidad a más de 9 mil millones en 2050. Para 2050, casi el 70% de la población mundial vivirá en áreas urbanas. El **crecimiento urbano** implica una mayor **demand**a del **transporte**.
- ❑ Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, el sector transporte representa el **25%** de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) en España. Por modos de transporte, la carretera representa casi el 95% de las emisiones.
- ❑ En un vehículo, 1 litro de gasoil produce **2,6 kg** of CO₂; 1 litro of gasolina produce **2,3 kg** of CO₂.
- ❑ El objetivo de no sobrepasar un aumento de la temperatura global de **1,5 °C**, el fijado en el histórico Acuerdo de París (2015), está **fuera de alcance** a no ser que se lleve a cabo una **reducción inmediata y a gran escala de las emisiones**. El mundo se encamina a un aumento **catastrófico** de **2,4 a 2,7** grados a final de siglo. Esto inundará una buena parte del planeta, multiplicará los fenómenos extremos y hará irreversibles muchos efectos del calentamiento global.
- ❑ la Unión Europea tiene el plan más ambicioso del mundo para reducir las emisiones de GEI.

¡¡En la cumbre del clima (Glasgow 2021), 31 países se han comprometido a eliminar la fabricación de coches de combustión en 2035 y a que haya emisión cero de vehículos en sus territorios!!

1. Introducción

H₂ en cifras



- ❑ El **Hidrógeno** es 14 veces más ligero que el aire y en estado gaseoso se esparce por él, sin contaminar el suelo o las aguas subterráneas. Además, es incoloro, inodoro e inodoro, ya que no reduce el ozono y no produce emisiones nocivas.
- ❑ **Valor energético basado en el poder calorífico inferior:** 1 kg de H₂ ↔ 2,78 kg de gasolina ↔ 2,80 kg de gasóleo ↔ 2,40 kg de metano ↔ entre 2,54 y 3,14 kg de gas natural (dependiendo de la composición del GN) ↔ 2,59 kg de propano ↔ 2,62 kg de butano ↔ 6,09 kg de metanol
- ❑ **Colores del hidrógeno:** Como el H₂ no existe aislado de forma natural, es una clasificación que indica la cantidad de CO₂ que se libera en su producción:
 - ❑ Negro o marrón: Es un producto de la gasificación del carbón y durante su producción se libera CO₂.
 - ❑ Gris: Se obtiene del reformado con vapor de hidrocarburos, en particular gas natural. También genera CO₂.
 - ❑ Azul: Cualquiera de los anteriores si las emisiones de CO₂ se capturan con un sistema de captura y almacenamiento de carbono.
 - ❑ Verde: Producido directamente de la electrólisis del agua usando electricidad procedente de fuentes renovables como la fotovoltaica, la eólica o la hidroeléctrica.

1. Introducción

Contexto Español

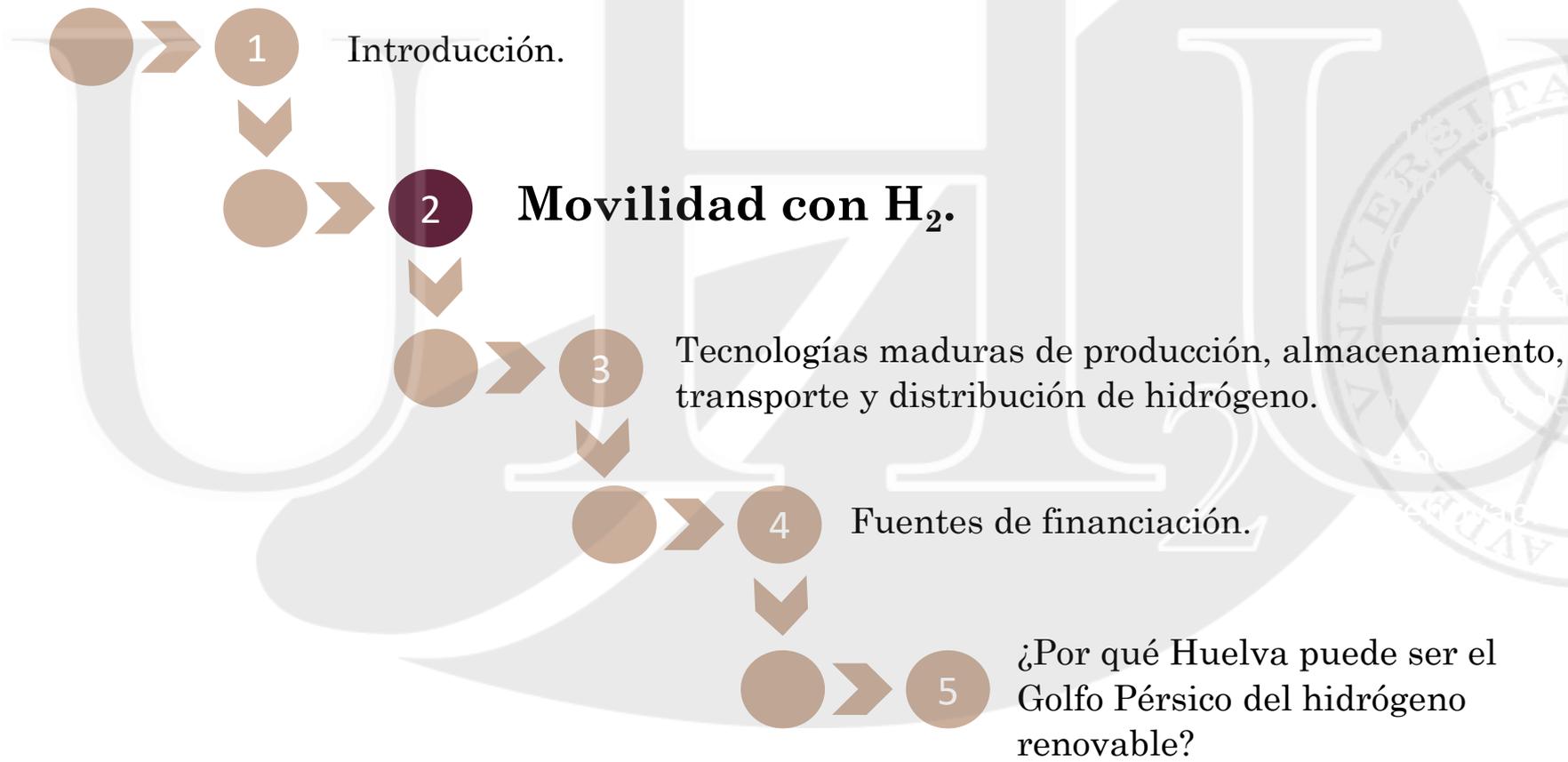


Objetivos para 2030



Inversión de 8.900 millones de euros

2. Movilidad con H₂



2. Movilidad con H₂

¿ES VIABLE LA MIGRACIÓN TOTAL AL VEHÍCULO ELÉCTRICO?

Potencia eléctrica contratada vivienda media: 4,6 kW¹

Capacidad batería vehículo eléctrico: 40 kWh²

Mínimo tiempo de recarga: 8,7 horas
a 4,6 kWh

∴ equivalente a la potencia media
contratada de una vivienda!!

∴ Si en Huelva hubiera 20.000 vehículos recargándose a la vez, necesitaríamos 92 MWh en la red de baja tensión sólo para este uso, y muy probablemente de noche, cuando no hay fotovoltaica!!

En modo carga semirápida (2-3 h): requerirá 15-20 kW

∴ 3,3 - 4,3 veces superior a la potencia media contratada !!

¿Y el estrés del usuario?

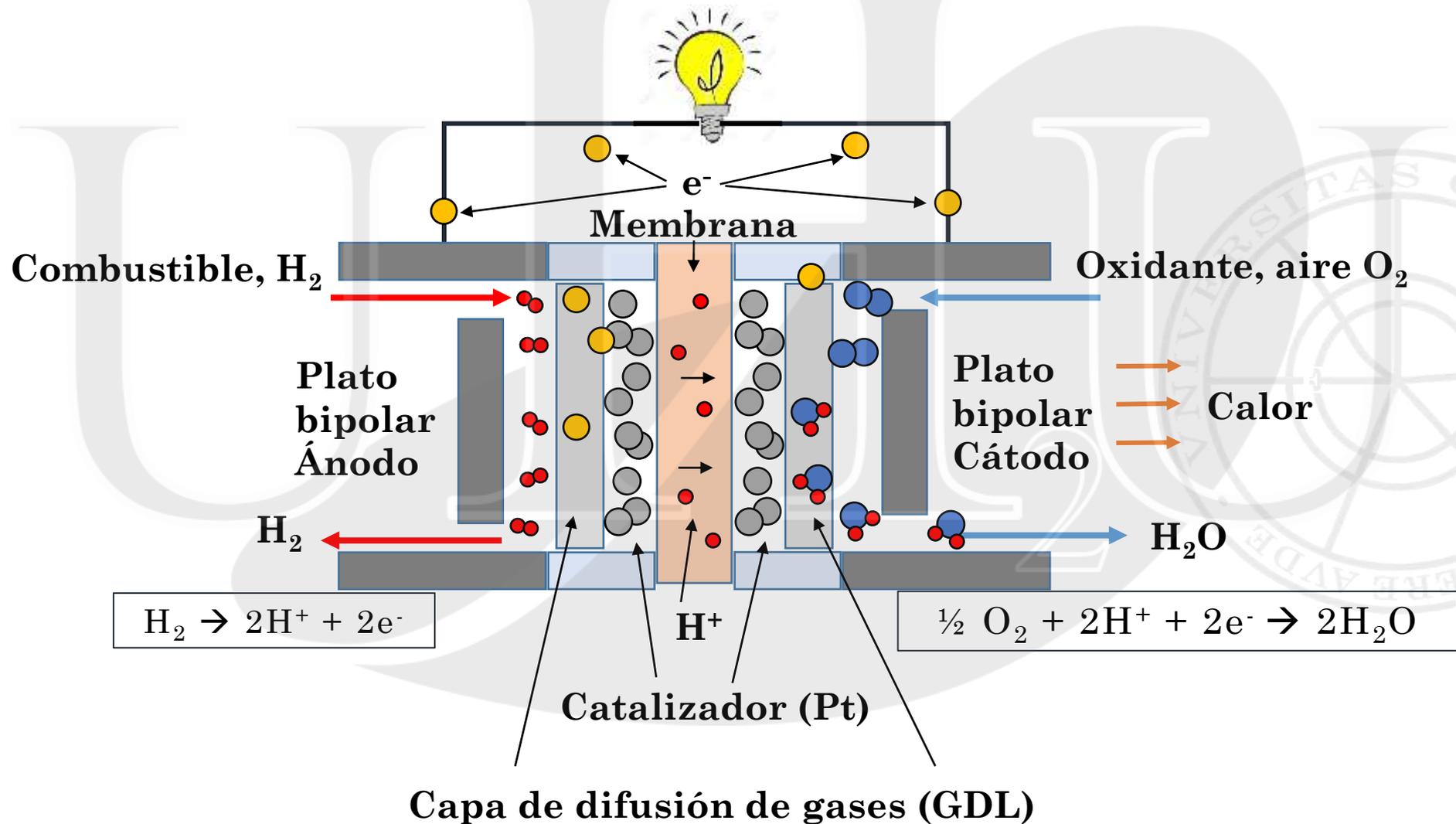
¿Y los vehículos pesados o refrigerados?



1. Endesa
2. Nissan Leaf 2019

2. Movilidad con H₂

Funcionamiento pila de combustible tipo PEM

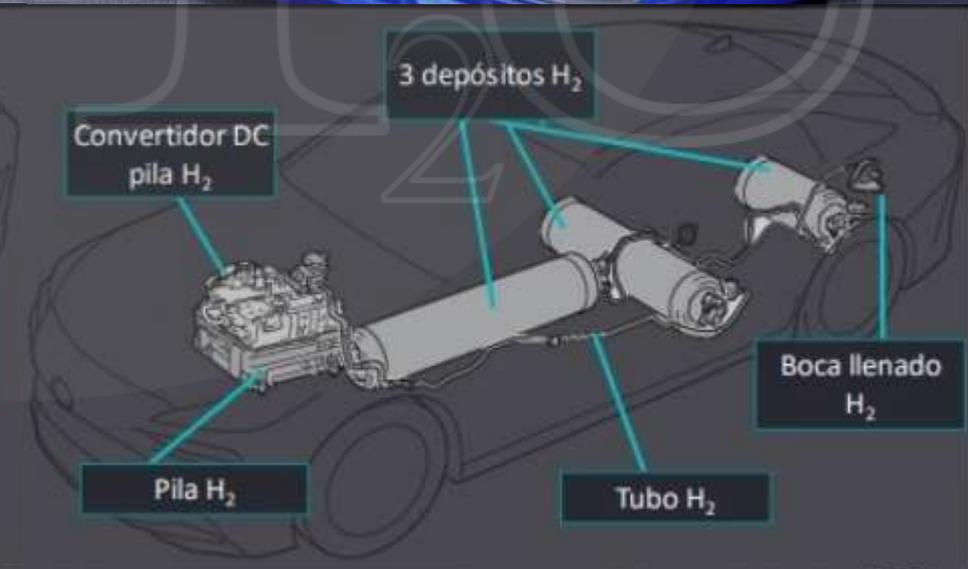
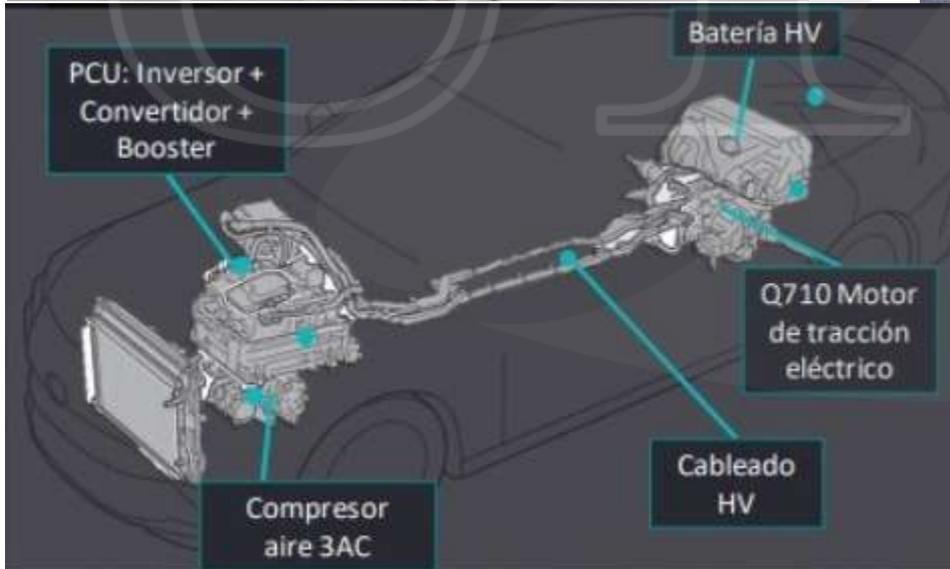


2. Movilidad con H₂

Coche eléctrico de pila de combustible



T
o
y
o
t
a
M
i
r
a
i



2. Movilidad con H₂

¿POR QUÉ ES TAN EFICIENTE UN VEHÍCULO DE HIDRÓGENO?

Desde 2008, se ha conseguido reducir el volumen y peso de las pilas de combustible casi un 50%. Al mismo tiempo, la potencia se ha aumentado más de un 25%.



Las pilas de combustible de automóviles tiene un rendimiento superior al 50%.

Un motor eléctrico trifásico de inducción tiene un rendimiento de 94% - 96%.

El 26 de mayo de 2021 el Toyota Mirai II batió el record mundial de autonomía de coches de H₂ recorriendo 1.003 km, con un consumo medio de H₂ de 0,55 kg/km. Su depósito almacena 5,6 kg de H₂.

2. Movilidad con H₂

 Vehículo H₂ (FCV) vs. vehículo eléctrico (EV)


Toyota Mirai II			Tesla 3 RWD	
	650 km	Autonomía test EPA*		415 km
	1.850 kg	Peso en vacío		1.726 kg
	134 kW/180 CV	Potencia		228 kW/306 CV
	5,6 Kg H ₂ en tanque 700 bar + batería Li-ion 1,24 kWh/31,5 kW	Energía a bordo		75 kWh en batería Li-NCA
	30,8 € a 5,5 €/kg H ₂ **	Coste repostaje		22,5 € a 0,3 €/kWh***
	178 km/h (limitados)	Velocidad máx.		207 km/h
	3-5 min	Tiempo recarga		16,3 h***
	7 litros de agua bebible/100 km	Residuo		
	63.900 €	Precio		48.200 €

*EPA: 50% ciudad + 50% autovía

**EU Hydrogen strategy (5,5 €/Kg)

*** OCU: Pot. Contratada 4,6 KW, consumo mensual 292 KWh (~ 4 cargas/mes), factura 100,7 €

2. Movilidad con H₂

Flotas de vehículos con pilas de H₂

En Suiza ya hay flotas de taxis y vehículos compartidos de Toyota Mirai



2. Movilidad con H₂

Camiones con pilas de H₂



Mercedes-Benz GenH2 Truck junto a su propulsor con doble pila de combustible (2x150 kW) y batería de 70 kWh. Autonomía de más de 1.000 km. En ruta, el apoyo de la batería le proporciona 400 kW (544 CV) puntuales. Pruebas reales con clientes: 2023.

Camión de competición **Gaussin H2 Racing Truck**. Propulsado con pila de combustible de 380 kW (517 CV) y una batería de 82 kWh. Correrá el Dakar en 2022. El modelo de carretera tendrá 800 km de autonomía.

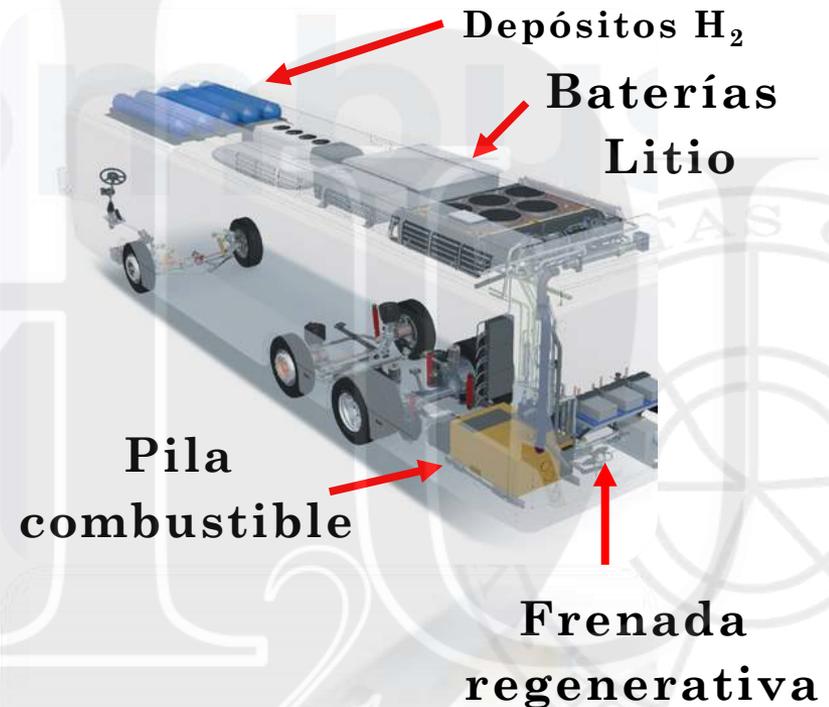
2. Movilidad con H₂

Autobuses con pilas de H₂



Autobús modelo Van Hool A330

Capacidad	78 pasajeros
Capacidad Baterías	21 kWh / 29 Ah
Potencia Pila combustible	120 kW
Autonomía	380 km
Depósito H ₂	40 kg @350 bar



Barcelona tendrá 8 autobuses con pila de combustible en 2022. Iberdrola suministrará el H₂ renovable necesario mediante la construcción de un hidrogenera.

2. Movilidad con H₂

Barcos con pilas de H₂

Hynova 40



Eslora 12 m;
desplazamiento 9 T. Primer
barco de pila de combustible
de producción en serie.
Utiliza la pila de
combustible del Mirai II de
Toyota. Velocidad máx. 22
nudos. Autonomía 69 millas
a 6 nudos.

Viking Energy levará anclas
en 2023 con una pila de
combustible de amoniaco
verde de 2 MW. Dispone de
un convertidor catalítico que
evita la producción de CO₂ y
óxidos de N₂. Los “residuos”
son pues H₂O y N₂.



2. Movilidad con H₂

Aviones con pilas de H₂

¡¡Francia ya ha prohibido los vuelos que puedan hacerse en 2,5 horas de tren!!



Airbus **ZEROe**. Capacidad para hasta 200 pasajeros, las alas se fusionan con el cuerpo principal de la aeronave. Su fuselaje permite múltiples opciones de almacenamiento y distribución de hidrógeno. Autonomía: 3.700 km mediante hidrógeno líquido. Vuelos comerciales previstos para 2035.

IE Soar 2.4 kW	
90 min	Autonomía
25 kg	MTOW
7 kg	Cargas pago
33.000 €	Precio



2. Movilidad con H₂

Trenes con pilas de H₂



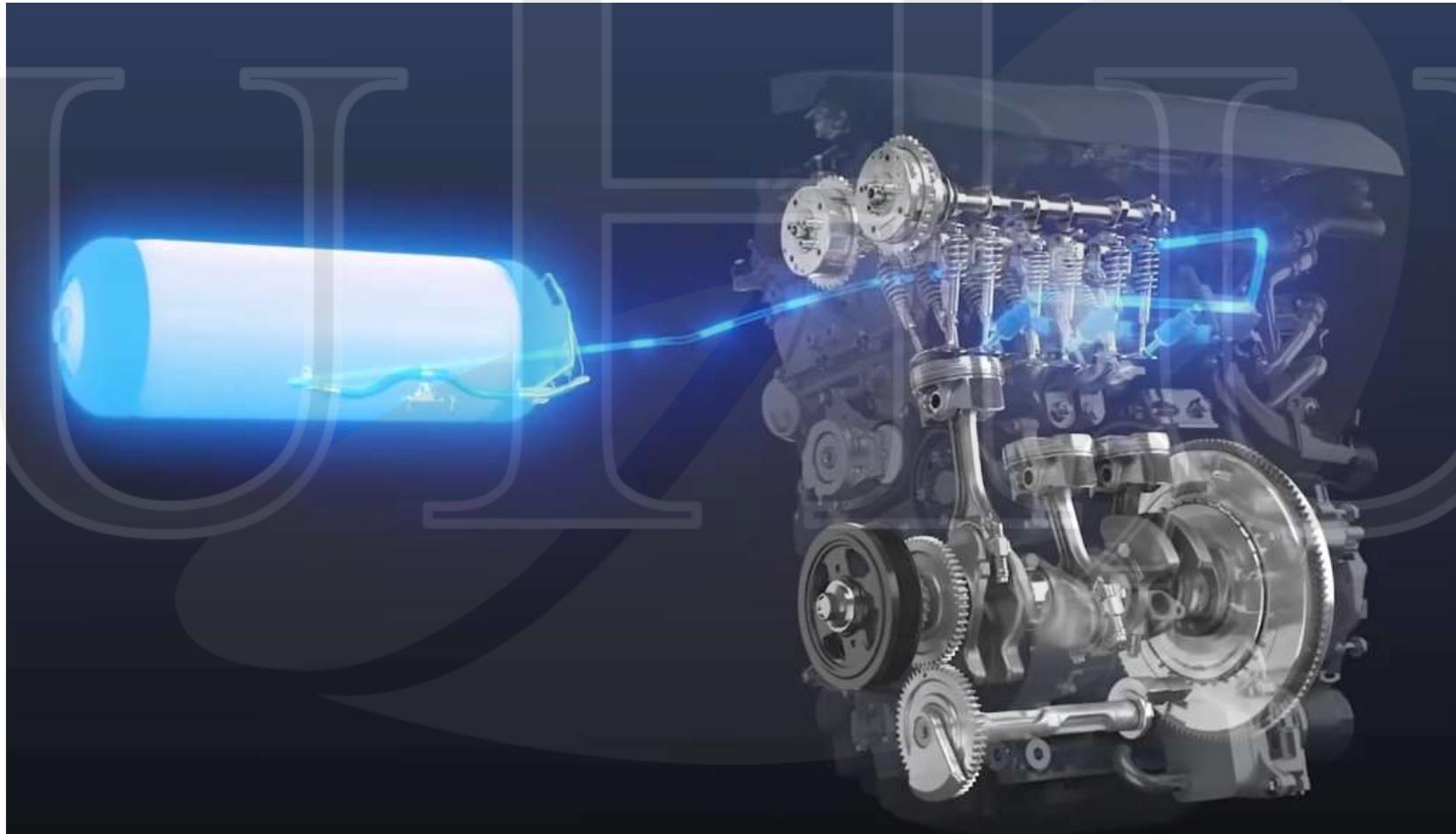
Talgo desarrolla su propio tren de hidrógeno, el **Vittal-One**, para sustituir las máquinas diésel. Monta 8 pilas de combustible de 70 kW (560 kW = 761 CV). La primera demostración se hará a principios de 2022 en España y el comienzo de su comercialización en 2023. Repsol aportará el hidrógeno renovable y la infraestructura de repostaje.

El **Coradia iLint**, the **Alstom**, es considerado el primer tren de hidrógeno del mundo. Desde septiembre de 2018 hasta finales de febrero de 2020, dos trenes Coradia iLint de Alstom cubrieron con éxito más de 180.000 kilómetros en servicios regulares de pasajeros. Los 14 primeros trenes producidos en serie entrarán en servicio en Alemania en 2022.



2. Movilidad con H₂

Motor de combustión de H₂



HYDROGEN TECHNOLOGIES – POWERED BY MAN

H₂



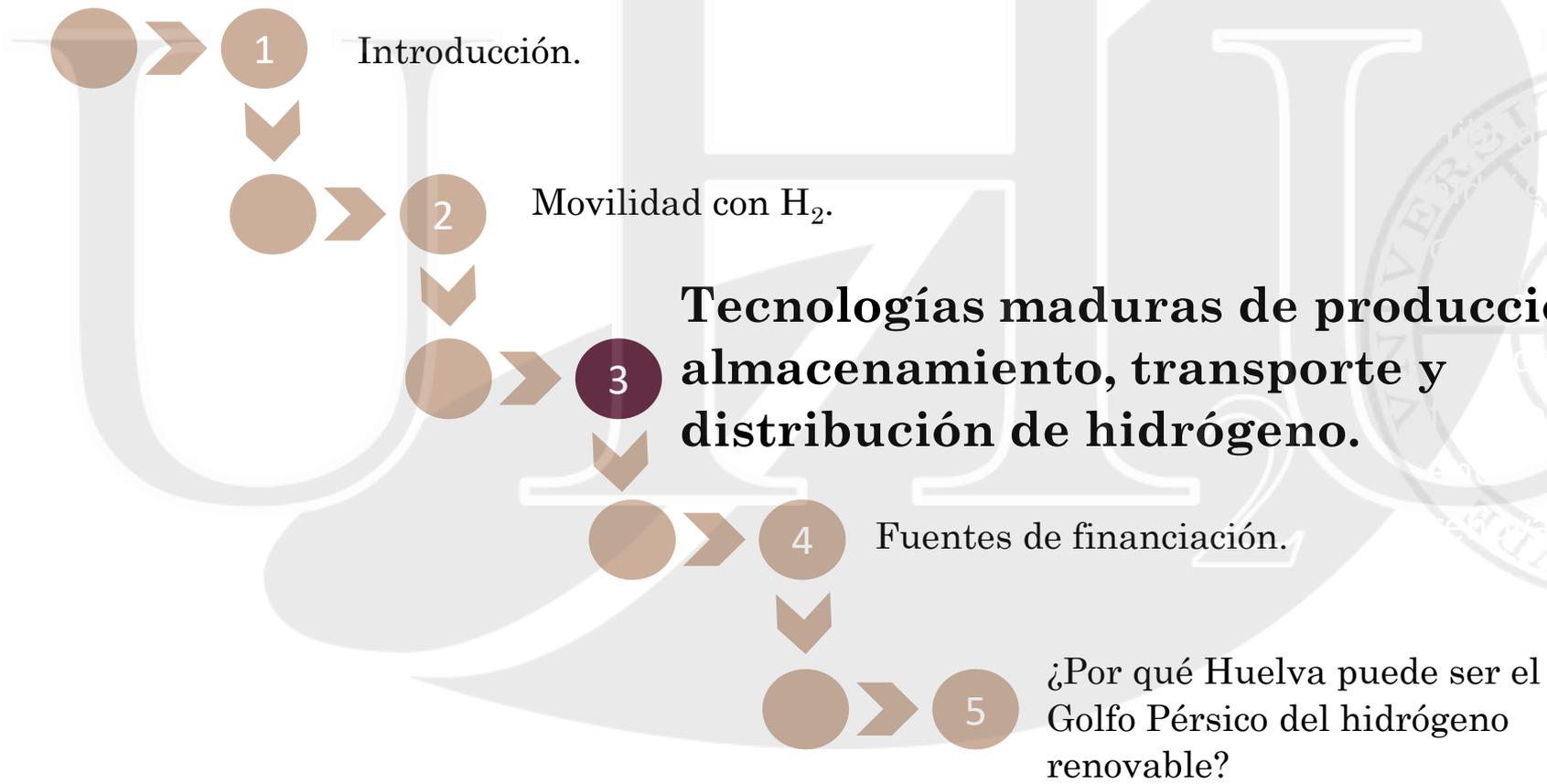
2. Movilidad con H₂

¡¡Necesitamos producir y almacenar H₂ verde!!

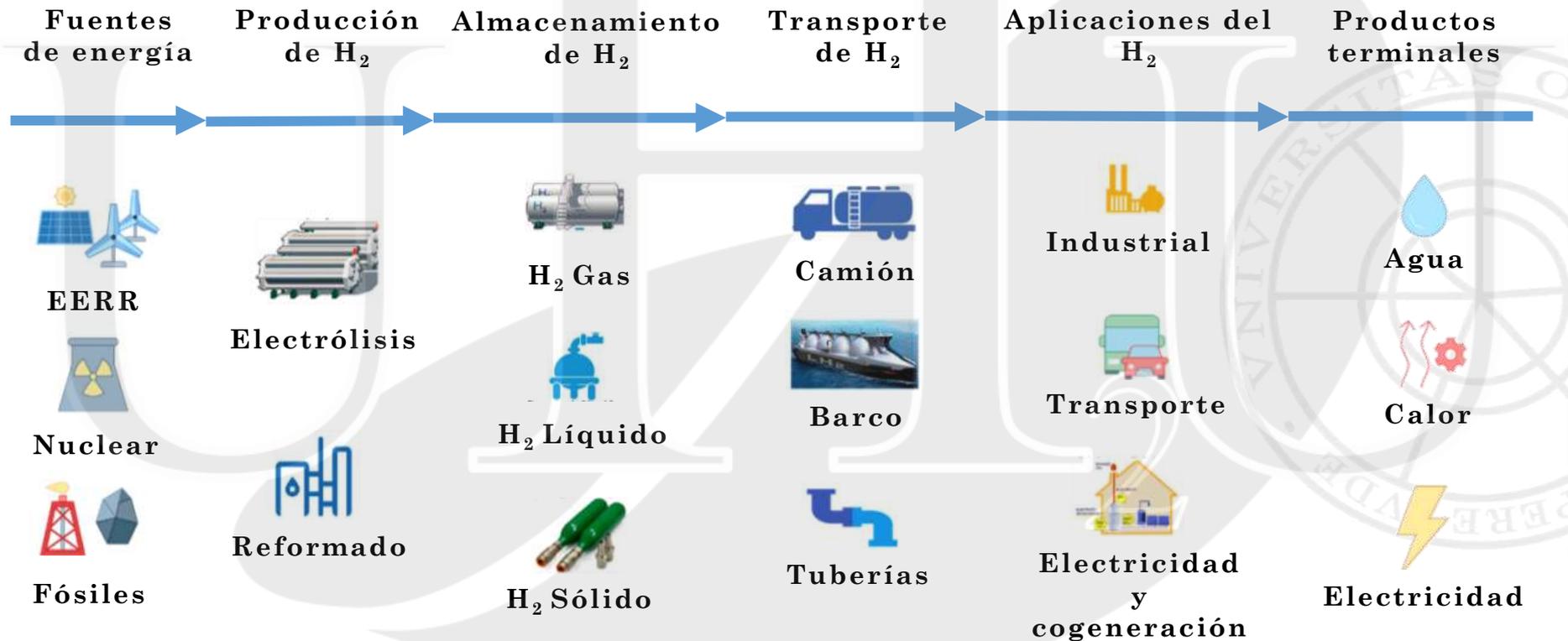
¡¡Necesitamos transportar y distribuir H₂ verde!!

¡¡Ya!!

3. Tecnologías maduras de producción, almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno

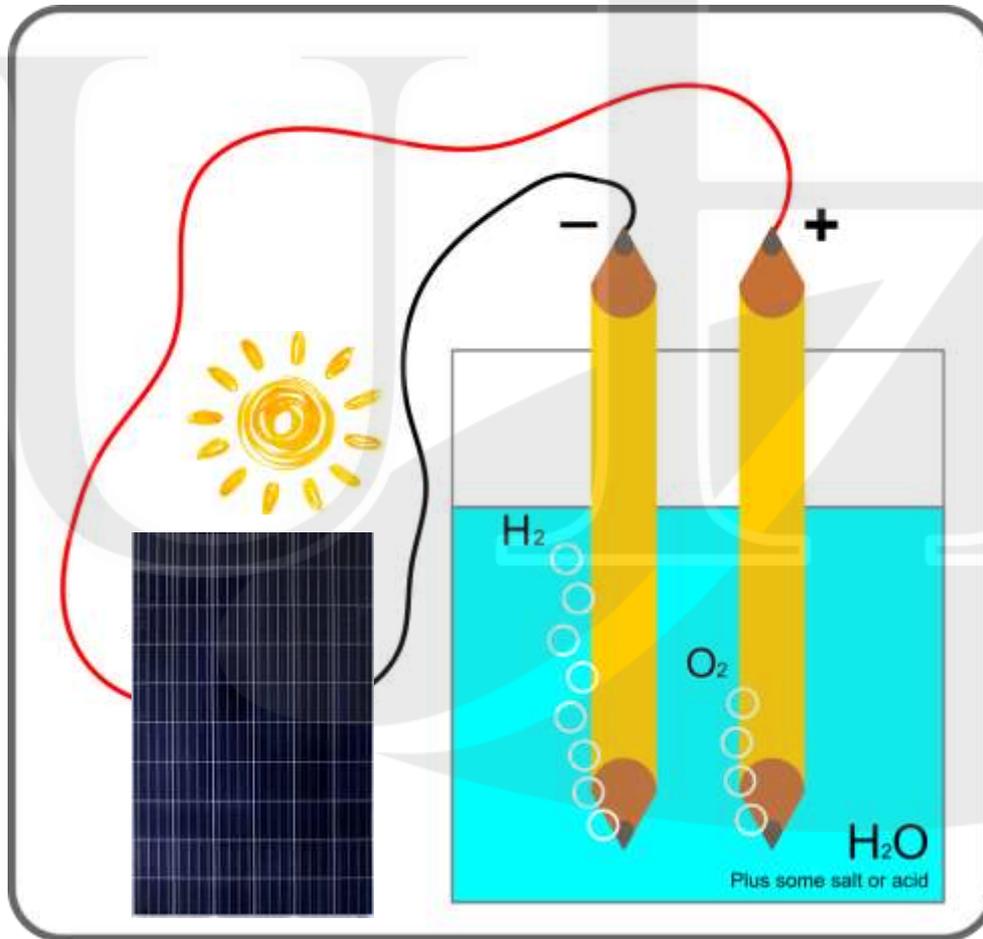


3. Tecnologías maduras de producción, almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno



3. Tecnologías maduras de producción, almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno

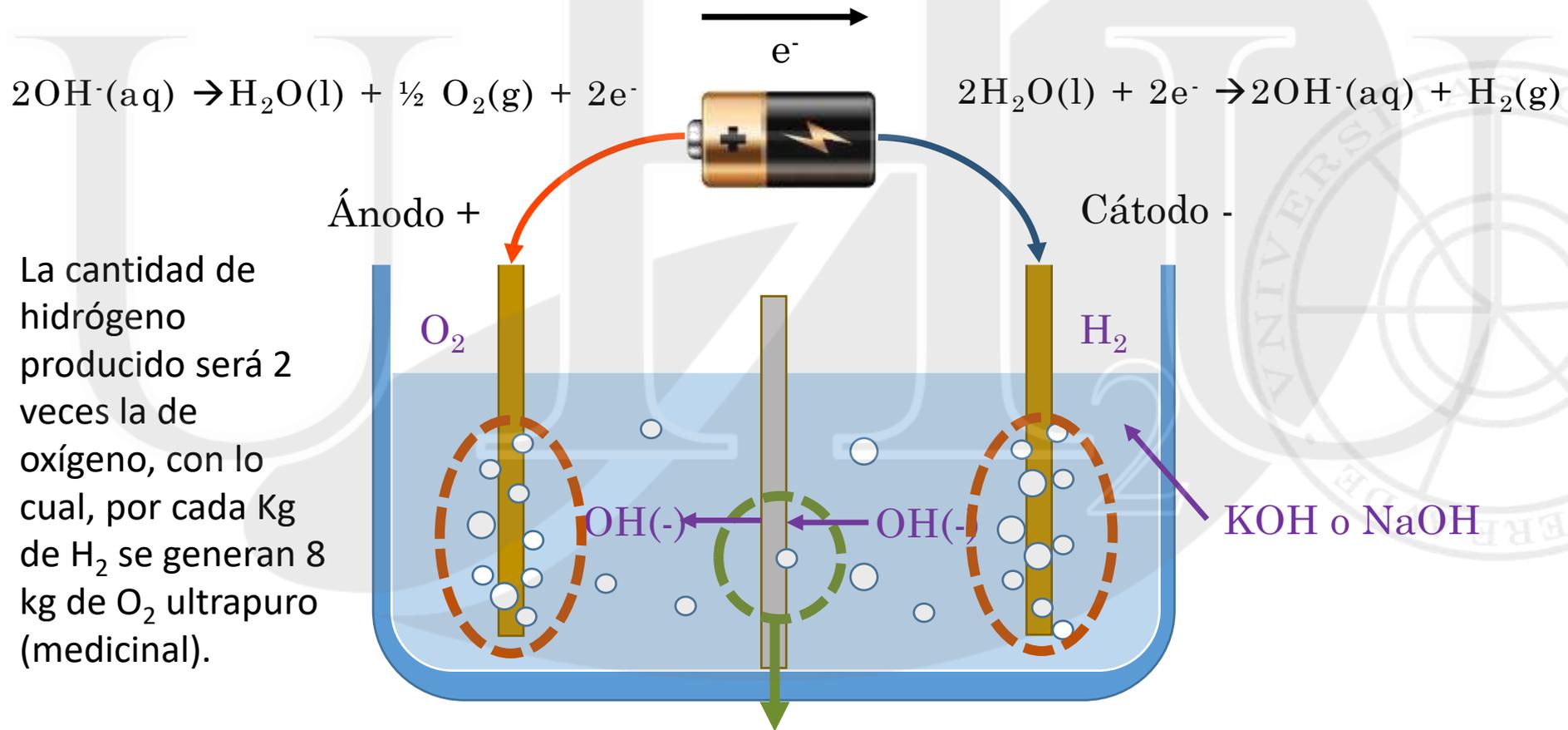
El hidrógeno verde puede ser producido mediante electrólisis



Electrolizador casero. Al conectar el circuito, se forman, de forma inmediata, burbujas en las puntas de los lápices que actúan como electrodos. Se formarán burbujas de gas oxígeno (O_2) en el electrodo +, o ánodo; y burbujas de gas hidrógeno (H_2) en el electrodo -, o cátodo. Si la energía eléctrica utilizada es renovable, el H_2 producido también lo será.

3. Tecnologías maduras de producción, almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno

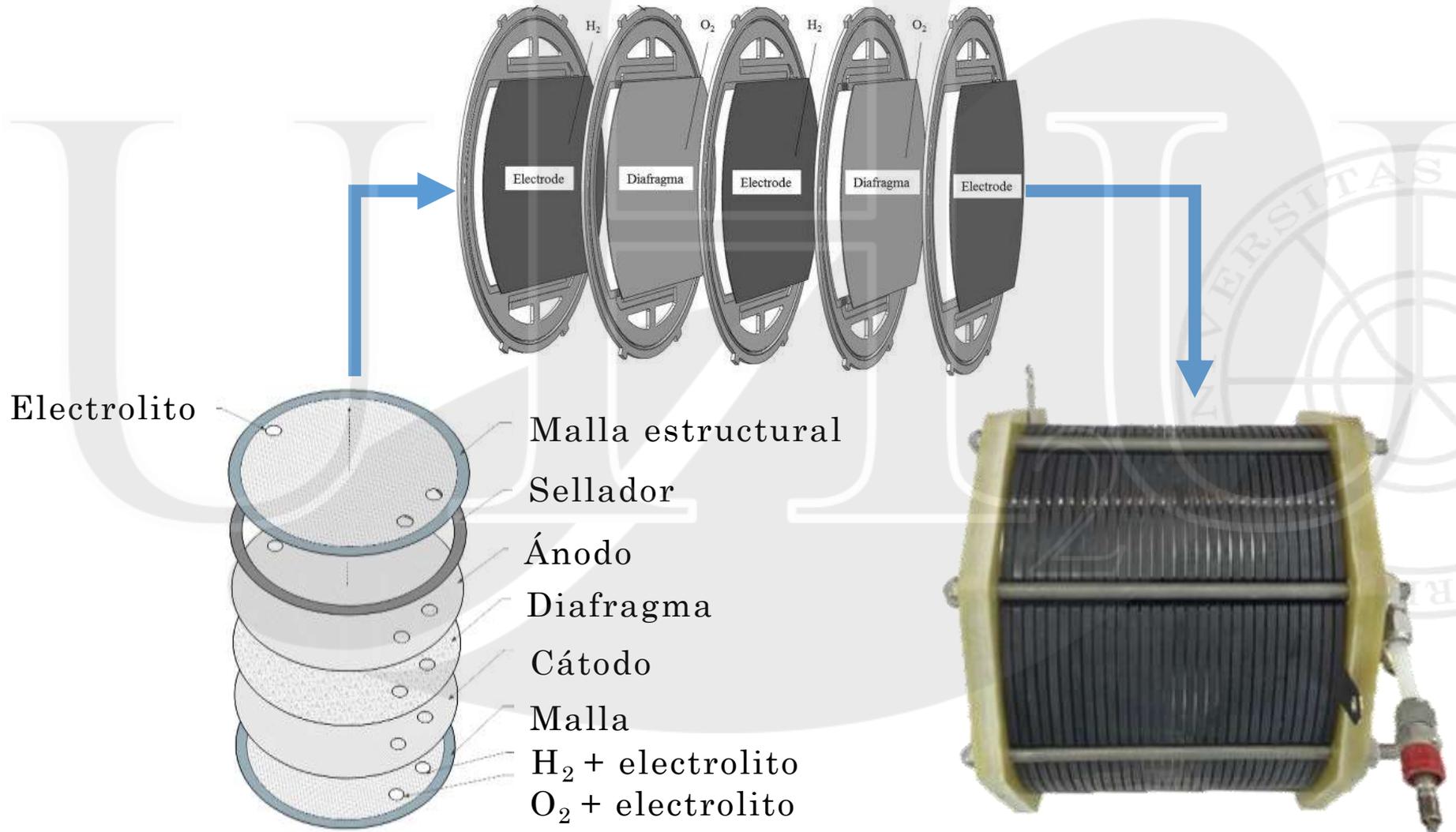
Tecnología Alcalina



La cantidad de hidrógeno producido será 2 veces la de oxígeno, con lo cual, por cada Kg de H_2 se generan 8 kg de O_2 ultrapuro (medicinal).

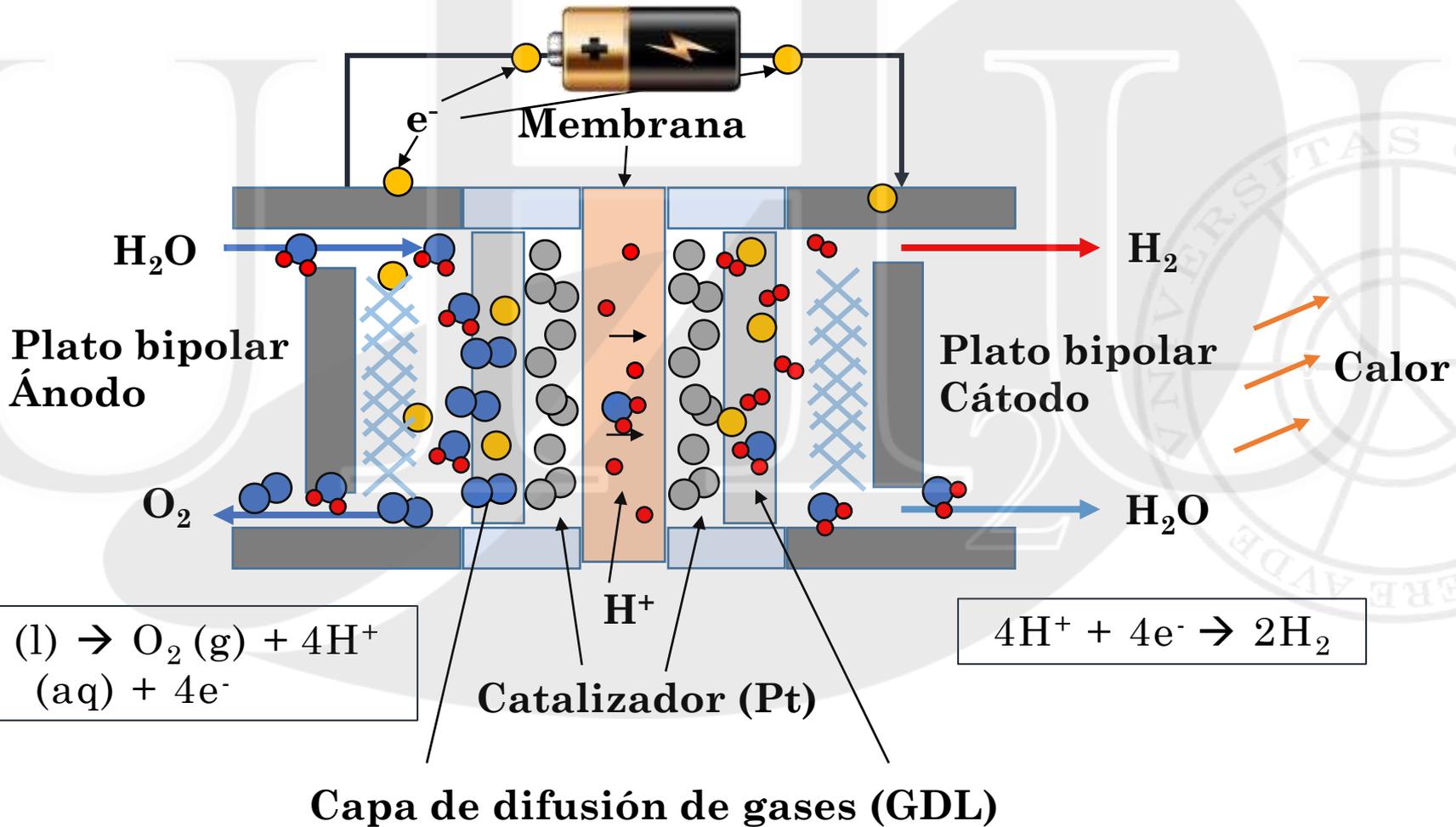
Diafragma (impermeable a los gases)

3. Tecnologías maduras de producción, almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno

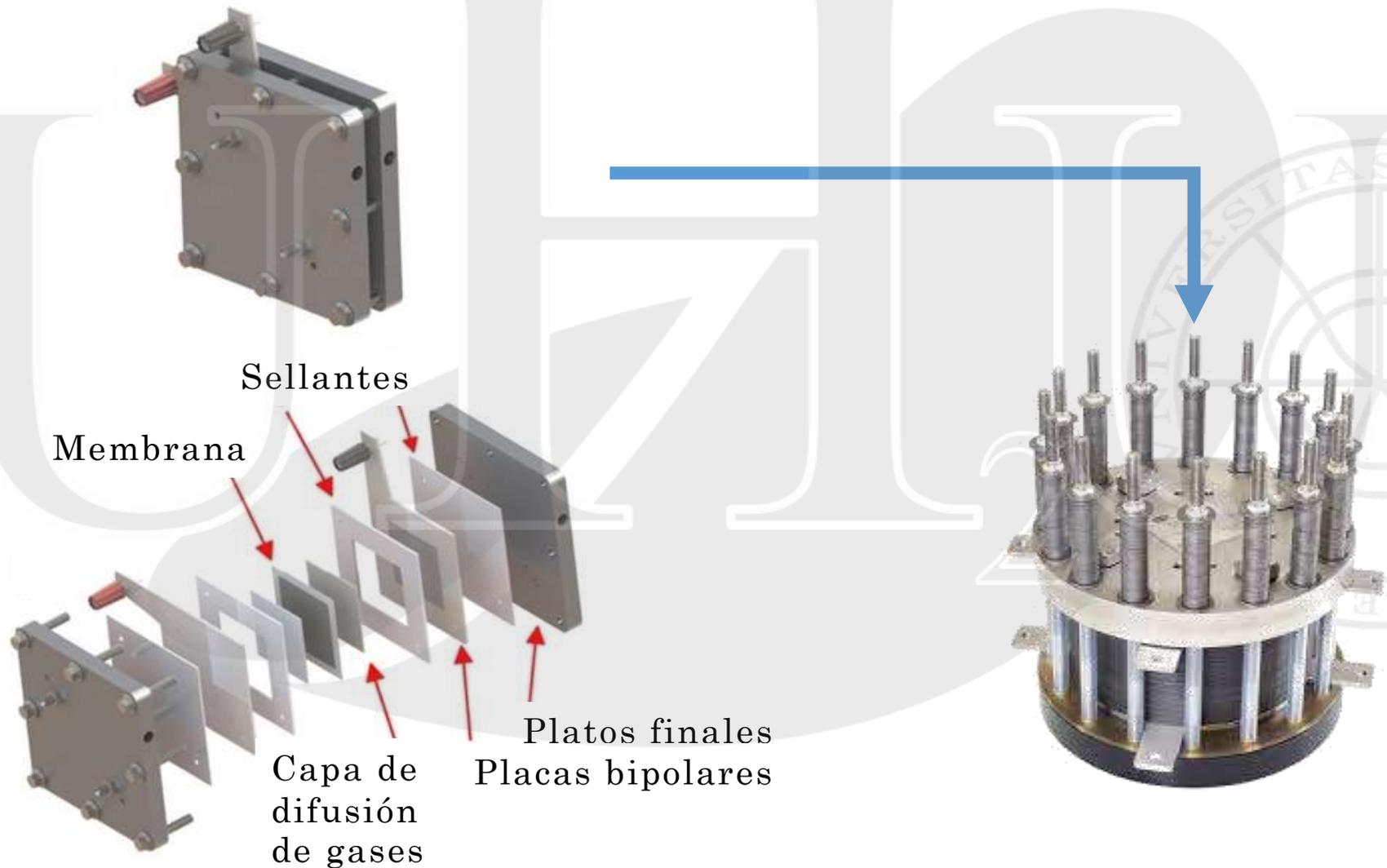


3. Tecnologías maduras de producción, almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno

Tecnología PEM

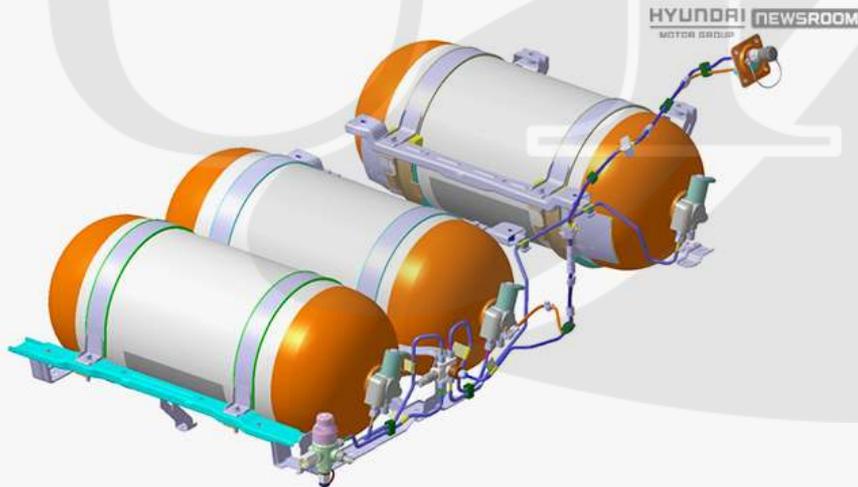


3. Tecnologías maduras de producción, almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno



3. Tecnologías maduras de producción, almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno

Almacenamiento de Hidrógeno comprimido



Depósito alta presión Lapesa 1000

Capacidad	1000 litros
Volumen máx. H ₂	29 m ³
Presión	30 bar
Material	Tipo I*

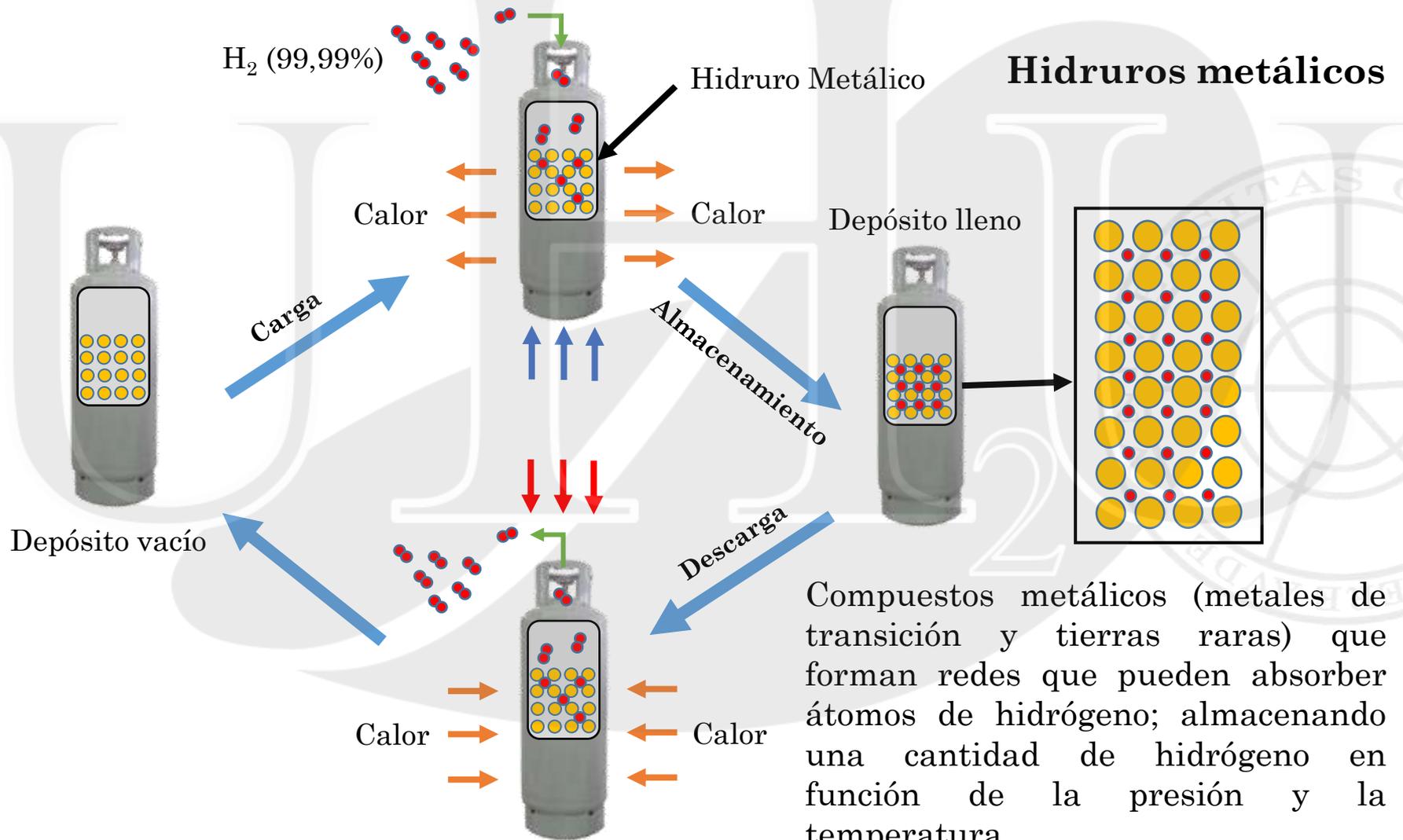
Hyundai Nexo 3 equal-size

Capacidad	52 litros
Cantidad H ₂	6,33 kg
Presión	700 bar
Material	Tipo IV**

* Depósito cilíndrico de acero o aluminio (1,0 – 1,5 kg/l, hasta 200 bar).

** Depósito de polímero (p. ej. HDPE) totalmente embobinado con fibra de carbono, más de 700 bar).

3. Tecnologías maduras de producción, almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno



3. Tecnologías maduras de producción, almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno

Almacenamiento de Hidrógeno en forma de hidruros metálicos

Hbond – 7000L	
Dimensiones	Ø 16,9 mm y H 1.460 mm
Volumen máx. H ₂	7.000 litros
Peso total	90 kg* (46 kg de hidruros)
Presión de carga	15 bar
Temperatura de carga	20 – 25 °C
Tiempo de carga	1 hora
Presión de descarga	10 a 2 bar
Temperatura de descarga	10 – 30 °C

* 1 Nm³ de H₂ ~ 0,09 kg ⇒ 7 Nm³ ~ 0,63 kg de H₂ ⇒ Capacidad gravimétrica ~ 0.7%. En depósitos de última generación se está en torno al 2 %.



3. Tecnologías maduras de producción, almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno

**Producción y
compresión de gas**



Camión de gases comprimidos



Gaseoducto/tubería de gas



Camión de hidrógeno líquido



Barco de hidrógeno líquido



**Producción y
licuefacción**



3. Tecnologías maduras de producción, almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno

Hidrogenal/hidrolineras

Hidrogenera. Se denomina así a aquella estación que genera el hidrógeno que dispensa.

Hidrolinera. Estación de servicio de repostaje de hidrógeno.



La primera y única hidrolinera de España a 700 bares (no es pública) se inauguró en enero de 2021. Está dentro de la EESS San Antonio, en la Avenida Manoteras 34 Madrid. Es fruto de un acuerdo entre Toyota España, Enagás, Urbaser, Carburos Metálicos y la Confederación Española de Empresarios de Estaciones de Servicio. Las de Ciudad Real (Puertollano), Zaragoza, Albacete y Huesca funcionan a 350 bar y tampoco son públicas.

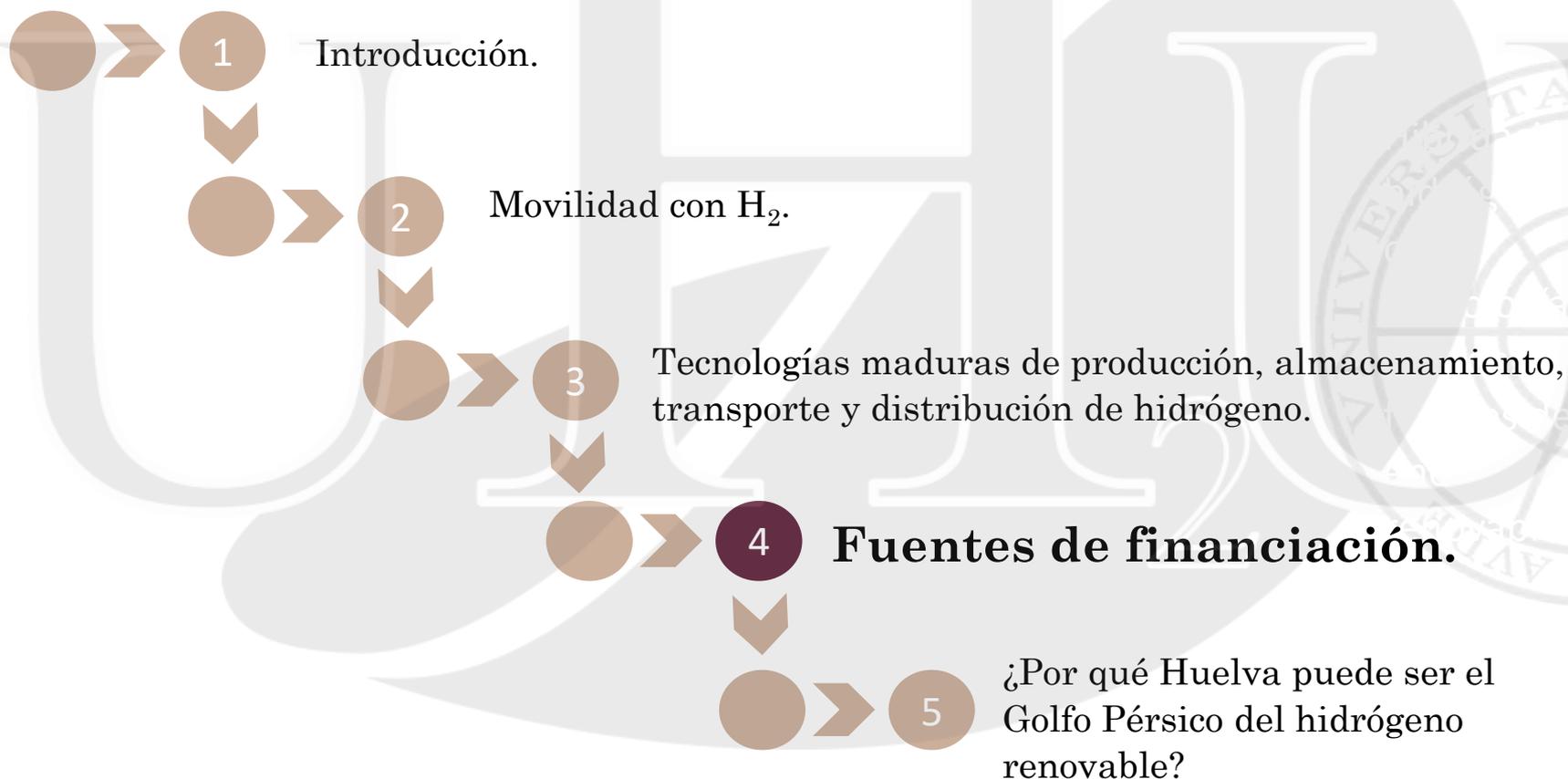
3. Tecnologías maduras de producción, almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno

Estaciones públicas de recarga de hidrógeno en Europa



¡¡Europa exige que en España hayan entre 100 – 150 en 8 años!!

4. Fuentes de financiación



4. Fuentes de financiación.

Programas nacionales



Proyectos estratégicos CIEN



- ✓ Agrupaciones empresariales
- ✓ Convocatoria abierta todo el año
- ✓ Tipo de ayuda: parcialmente reembolsable



- ✓ Agrupaciones empresariales + OPI
- ✓ Convocatoria con plazo presentación
- ✓ Tipo de ayuda: Subvención

Programa Tecnológico de Automoción Sostenible

- ✓ agrupaciones empresariales + OPI
- ✓ Convocatoria con plazo de presentación
- ✓ Tipo de ayuda: Subvención



Planes MOVES

- ✓ Actuación 2. Implantación de infraestructura de recarga de vehículos eléctricos.
- ✓ Actuación 4. Implantación de medidas de movilidad sostenible al trabajo
- ✓ Personas jurídicas, entidades locales y sector público institucional
- ✓ Tipo de ayuda: Subvención hasta el 40 - 50% presupuesto concedido.

4. Fuentes de financiación

Programas europeos



INNOVATION FUND programme

Spain



Mr Ignacio Ángel Sánchez García
Ministero para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

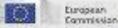
Plaza de San Juan de la Cruz, 15N
28071 Madrid

Tel. + 34 91 887 8736
Email: ignacio.sanchez@mtes.es
Website: www.mtes.es



RESEARCH & INNOVATION
TO DRIVE THE
GREEN DEAL

#EUGreenDeal
#ResearchImpactEU




Horizon Europe

THE NEXT EU RESEARCH & INNOVATION PROGRAMME (2021 - 2027)



European Clean Hydrogen Alliance



Hydrogen Europe



InnovFin
Energy Demo Projects



European Investment Bank
The EIB bank




Connecting Europe Facility

Investing in Europe's growth



INVEST EU

EUROPEAN UNION



The Just Transition Mechanism:
Making Sure No One
Is Left Behind

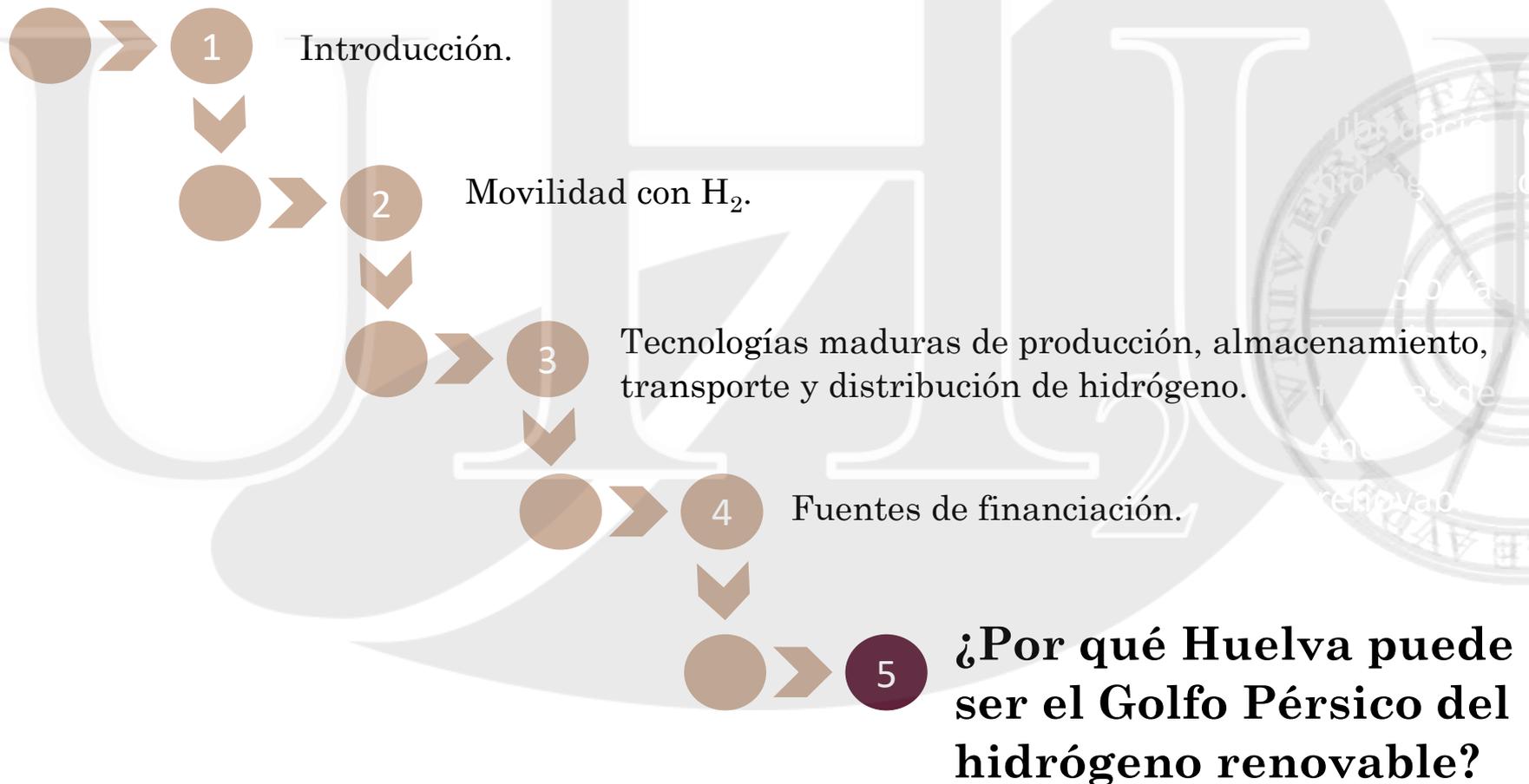
The European Green Deal



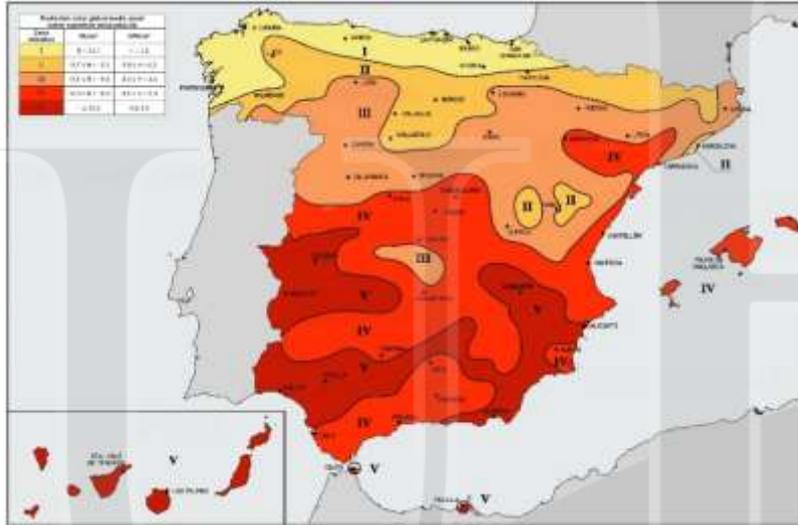
NEXT GENERATION EU

the coronavirus recovery

5. ¿Por qué Huelva puede ser el Golfo Pérsico del hidrógeno renovable?



5. ¿Por qué Huelva puede ser el Golfo Pérsico del hidrógeno renovable?



- ❑ Más de 5 kWh/m² de radiación solar media anual en tierra muy llana.
- ❑ Huelva encabeza el crecimiento de la energía eólica en Andalucía. El parque eólico del Andévalo es uno de los más grandes de Europa.
- ❑ Huelva posee uno de los puertos más grandes y con mayor crecimiento de España.
- ❑ El complejo petroquímico de Huelva es, junto al de Tarragona, el mayor de España.
- ❑ España es líder en infraestructuras de GNL en Europa, y ahí destaca Huelva con su planta de regasificación que conecta, a través de gaseoductos, con toda España y Europa.
- ❑ Europa será muy deficitaria en Hidrógeno verde, y el sur de España productor neto. Las oportunidades de negocio a solo 10 años son extraordinarias.
- ❑ Una de las dos Pymes españolas capaces de diseñar y fabricar electrolizadores tiene su sede de fabricación en Huelva.
- ❑ Según la Universidad de Stanford (nº 1 del mundo), la investigación en la Universidad de Huelva está en el percentil 98 en el ámbito de la Energía. Además, tiene todos los desarrollos necesarios (I+D+i) en el ámbito de las tecnologías del hidrógeno para ser transferidos al sector productivo.



Conferencia sectorial: Jornada del Transporte

La Tecnología de Hidrógeno al servicio del sector transporte.
Propuesta de soluciones.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Prof. Dr. José Manuel Andújar Márquez
Director del Centro de Investigación en Tecnología, energía y Sostenibilidad



Universidad de Huelva

30 Noviembre 2021