

A close-up, low-angle shot of a blue hydrogen train. The train is positioned on tracks, and the word "HYDRO" is prominently displayed in large, white, sans-serif capital letters on its side. The train's body is a vibrant blue, and the background shows a clear sky and some distant structures. The lighting is bright, suggesting a sunny day.

Hidrógeno y ferrocarril en el contexto actual

José Conrado Martínez Acevedo
25-05-2023

Introducción

Aunque el transporte representa alrededor del **25%** de las emisiones de gases de efecto invernadero en la UE, **el ferrocarril sólo es responsable del 0,4% de dichas emisiones**. Se trata del único medio de transporte que ha reducido considerablemente sus emisiones desde 1990, lo que justifica su papel fundamental en la movilidad sostenible.

Lo anterior es debido, principalmente, a que **el ferrocarril está fuertemente electrificado**. Y es que cuando actualmente otros modos de transporte están intentando migrar hacia esa electrificación, el ferrocarril ya lo hizo a finales del siglo XIX en el marco de lo que se consideró la primera revolución tecnológica de este modo de transporte.

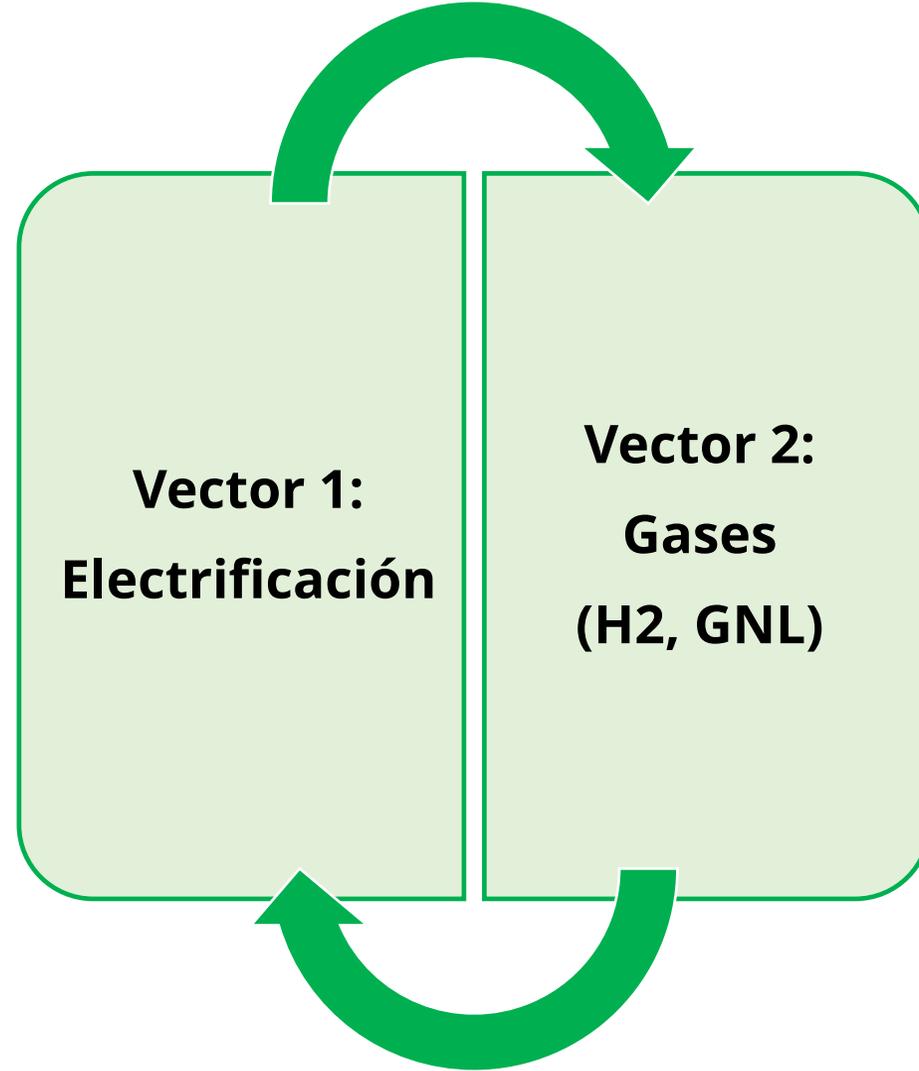
Sin duda puede afirmarse que la **electrificación** ha sido y es el camino correcto para continuar **reduciendo** sus **emisiones**.

Necesidad de nuevos vectores energéticos

La **descarbonización** de la red **NO** es hablar **de “electrificación total”**, debiendo evolucionar a otras soluciones complementarias. En España, aproximadamente un 20% del tráfico ferroviario actual, continúa siendo diésel por lo que hay que buscar otras alternativas para aquellas líneas en las que la electrificación no resulta rentable.

Con estos antecedentes y en un entorno de transición energética, se evidencia que el futuro energético del ferrocarril va a ser híbrido, esto es, combinará soluciones de **electricidad y gases**, potenciando el desarrollo de nuevas tecnologías asociadas. Es aquí donde el **hidrógeno** ha comenzado a tener un papel estratégico en el sector ferroviario (directamente promovido por la UE) ya que es el único sustituto al diésel capaz de generarse con energías renovables, capaz de almacenarse y conseguir cero emisiones.

Planteamiento

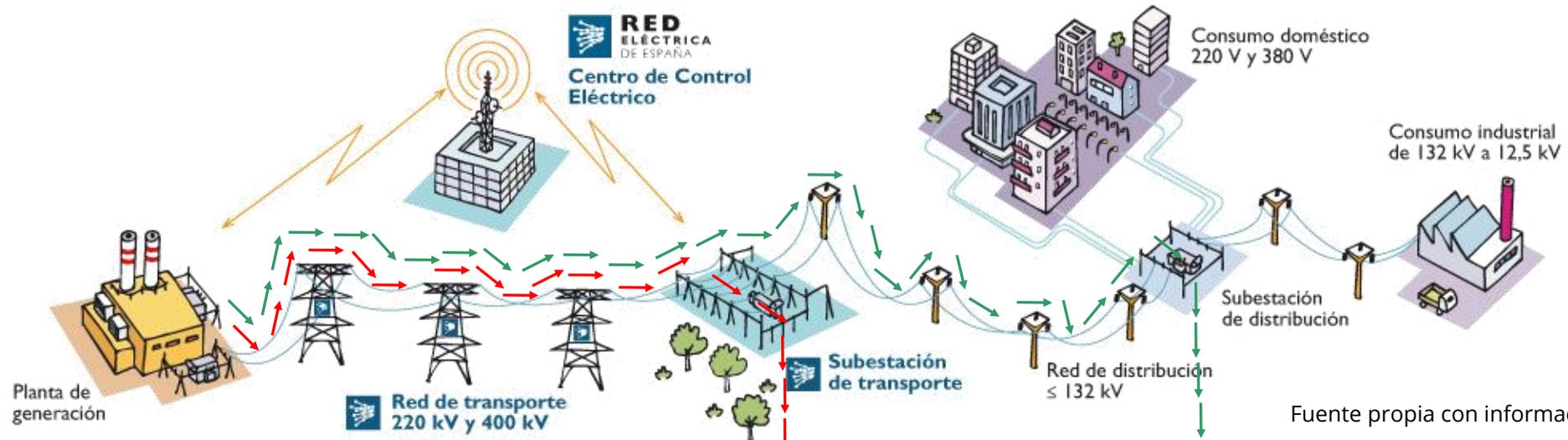


Documento PTFE



<https://www.ptferroviaria.es/docs/Documentos/GestionEnergetica2021/index.html>

Vector 1: Electrificación (caso español)



Fuente propia con información de REE.



FFCC Alta Velocidad
25000 V CA (50 Hz)



FFCC convencional
3000 V CC
1500 V CC

Vector 1: Electrificación

Líneas de I+D+i en infraestructura

- **R.1.** Diseño eficiente de la red eléctrica ferroviaria
- **R.2.** Diseño eficiente del trazado
- **R.3.** Aprovechamiento activo de la energía eléctrica generada en el frenado de los trenes en sistemas de Corriente Continua
- **R.4.** Almacenamiento de energía eléctrica externa en tierra
- **R.5.** Integración del sistema eléctrico ferroviario de Corriente Alterna con la red externa
- **R.6.** Red Eléctrica Ferroviaria inteligente
- **R.7.** Mantenimiento predictivo de los activos de la red eléctrica ferroviaria
- **R.8.** Superconductividad
- **R.9.** Alimentación eléctrica de instalaciones auxiliares con nuevas tecnologías
- **R.10.** Electrónica de Potencia en tierra
- **R.11.** Alimentación eléctrica de instalaciones con nuevas tecnologías

Vector 2: Gases (y otros combustibles alternativos)



	GLP	GN	BIO	H ₂
Seg. Suministro	■	■	■	■
Precio	■	■	■	■
Capex	■	■	■	■
Eficiencia Uso	■	■	■	■
Emisiones	■	■	■	■
Madurez Tec.	■	■	■	■
Seguridad Uso	■	■	■	■
Hibridabilidad	■	■	■	■

- entre 0 y 2
- entre 3 y 4
- entre 5 y 6
- entre 7 y 8
- entre 9 y 10

Fuente: Claudio Rodríguez (ENAGAS). Cuadernos de Energía. *El GNL, un combustible alternativo para un ferrocarril más sostenible.*

Marco legislativo (*importante empuje al hidrógeno*)



Diciembre de 2019: Se aprueba el **Pacto Verde Europeo** (fija objetivos ambiciosos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, de mejora de la eficiencia energética y de penetración de las energías renovables en 2030).

Julio de 2020: Se publica la **Estrategia Europea del Hidrógeno** con el objetivo de dibujar una hoja de ruta para el despliegue del Hidrógeno a nivel de la UE. En **octubre de 2020**, el *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico* lanza la **Hoja de Ruta del Hidrógeno**, situando al Hidrógeno renovable como parte de la solución para lograr la neutralidad climática en 2050 y desarrollar cadenas de valor industriales innovadoras en España. **Esta Hoja prevé que en 2030 existan trenes traccionados con Hidrógeno en al menos dos líneas comerciales no electrificadas.**



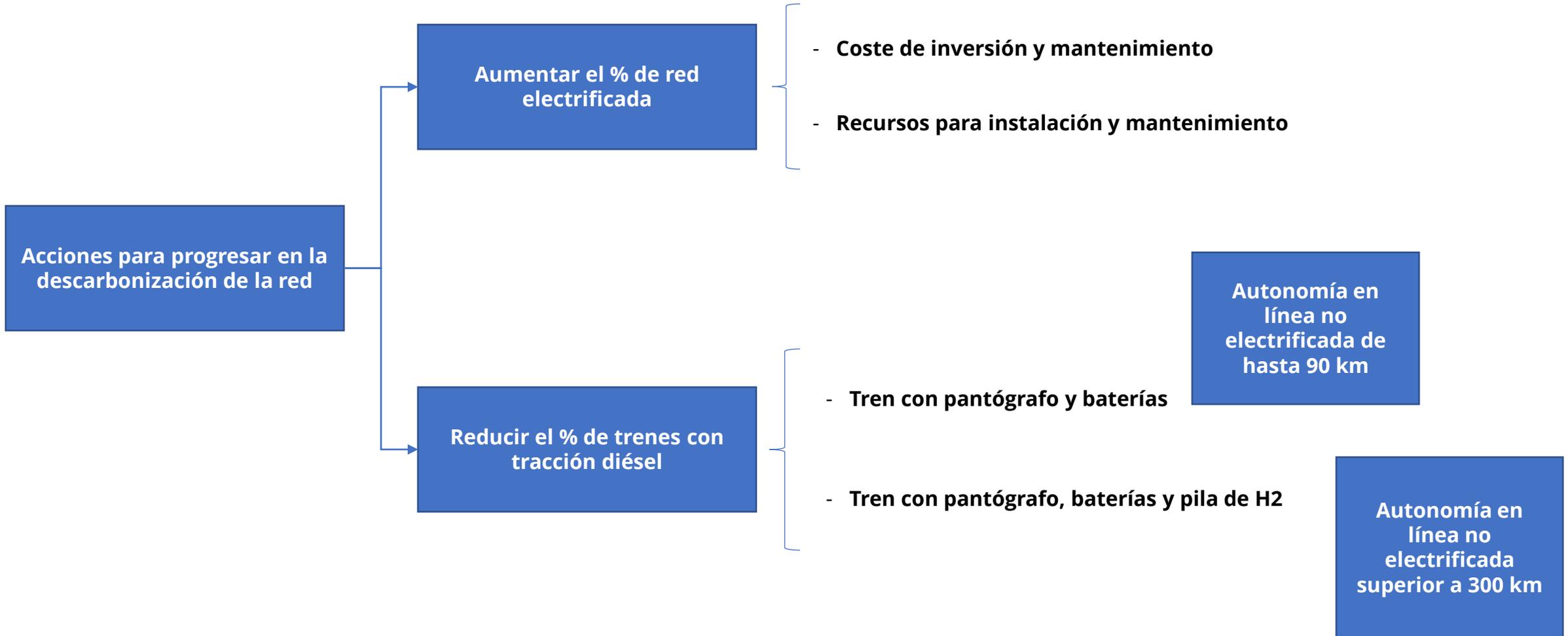
Septiembre de 2020: Se aprueba la **Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030** por parte del *Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana*. Esta estrategia da respuesta a los nuevos retos que se dan en la movilidad y el transporte para poder contribuir a alcanzar la descarbonización de la economía. En dicha estrategia ya se indica expresamente la necesidad de emplear Hidrógeno y GNL en el ferrocarril.

Marco legislativo (*importante empuje al hidrógeno*)

Noviembre de 2020: Se aprueba la ***Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050 (ELP 2050)*** por parte del *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. Esta estrategia marca la senda para alcanzar la neutralidad climática en 2050 (establece que la descarbonización del sector transporte vendrá de la mano de la intensificación de las medidas de eficiencia energética, junto con la sustitución de los combustibles fósiles por otros productos de bajas o nulas emisiones netas de carbono).

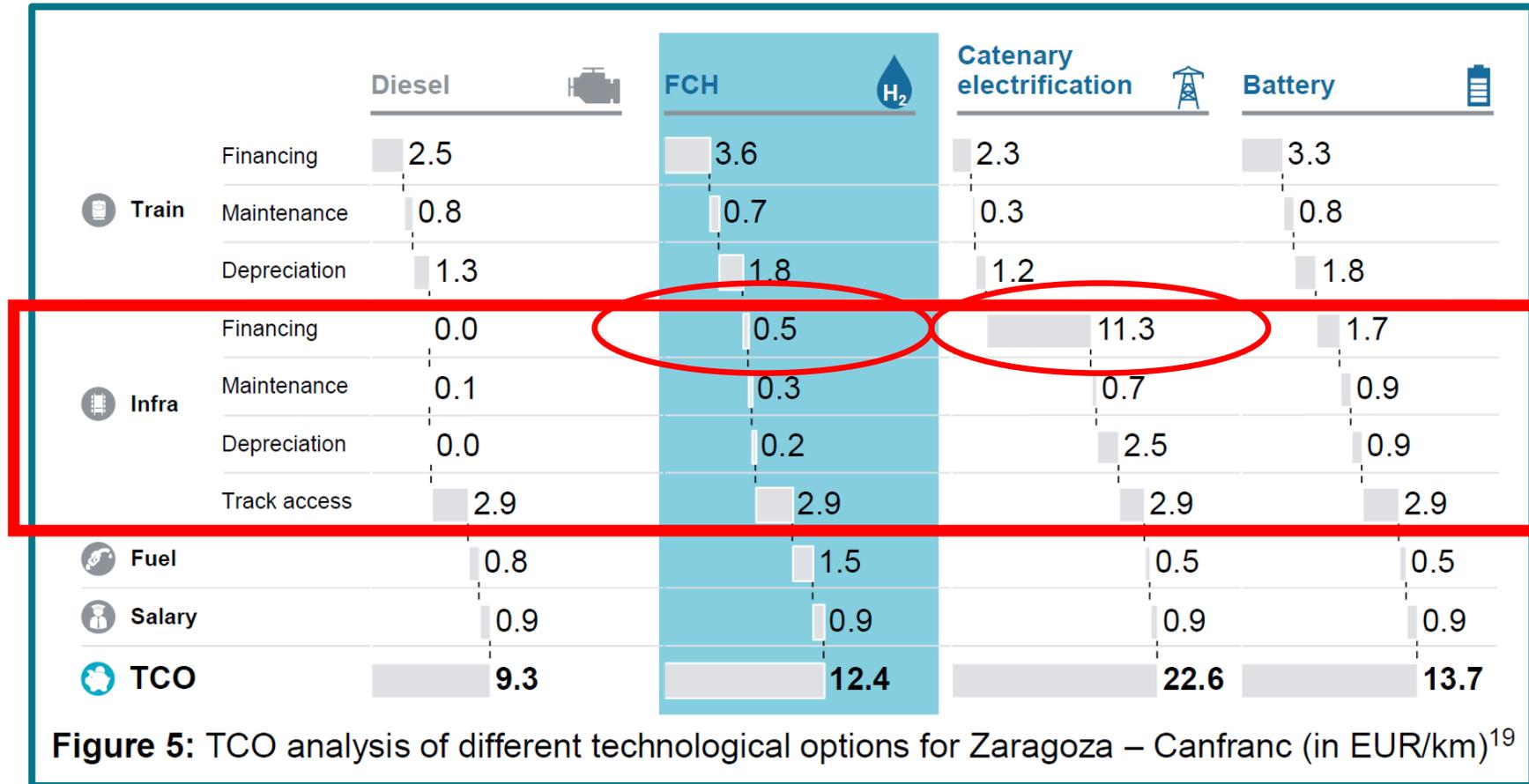
En desarrollo se está debatiendo el nuevo Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a la ***implantación de infraestructuras para los combustibles alternativos*** donde se plantea un importante despliegue de puntos de repostaje de Hidrógeno en nodos de transporte.

¿Cuál es la estrategia básica de un FFCC?



¿Cuál es la estrategia?

Ej.: Zaragoza - Canfranc



Comparación de los distintos tipos de tracción a nivel de la infraestructura

TCO: Total Cost of Ownership (Coste Total de la Propiedad)

Figure 5: TCO analysis of different technological options for Zaragoza – Canfranc (in EUR/km)¹⁹

Resultados obtenidos en el estudio desarrollado por FCH y Shift2Rail en el caso del trayecto Zaragoza-Canfranc con un vehículo ferroviario tipo “Unidad Múltiple” (Automotor). Fuente: “Study on use of fuel cells & hydrogen in railway environment. Report 2 Analysis of boundary conditions for potential hydrogen rail applications of selected case studies in Europe”. Página 37.

Conclusiones de FCH y Shitf2Rail (1)...

- ❑ Los trenes de hidrógeno son competitivos cuando se diseñan para **líneas no electrificadas de más de 100 km de longitud**.
- ❑ Son especialmente viables para **líneas con muy baja utilización (hasta 10 trenes por día)** pero también para el transporte de la última milla.
- ❑ Estos trenes se caracterizarán por un **reabastecimiento de combustible relativamente rápido** pudiendo funcionar durante **más de 18 horas sin reabastecimiento**.
- ❑ Los niveles de hibridación (relación entre la pila de combustible y la energía de una batería que se cargaría cuando el tren circula bajo catenaria) son muy flexibles y hacen que los trenes de hidrógeno sean aplicables para una **amplia gama de casos de uso**: Masa de hasta 5.000 t, velocidades de hasta 180 km/h y recorridos de hasta 700 km.

(1) Fuente: "Study on use of fuel cells & hydrogen in railway environment. Report 2 Analysis of boundary conditions for potential hydrogen rail applications of selected case studies in Europe".

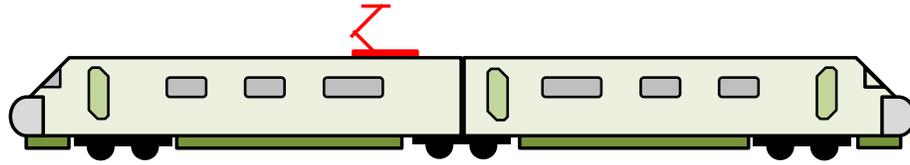
Escenarios de aplicación



Escenarios de aplicación

Tipo o servicio ferroviario	Velocidad máxima de circulación (km/h)
Urbano	≤ 100 km/h
Media distancia (convencional)	≤ 160 km/h
Media distancia (alta velocidad)	≤ 250 km/h
Larga distancia (convencional)	≤ 200 km/h
Larga distancia (alta velocidad)	≥ 250 km/h
Mercancías	≤ 120 km/h

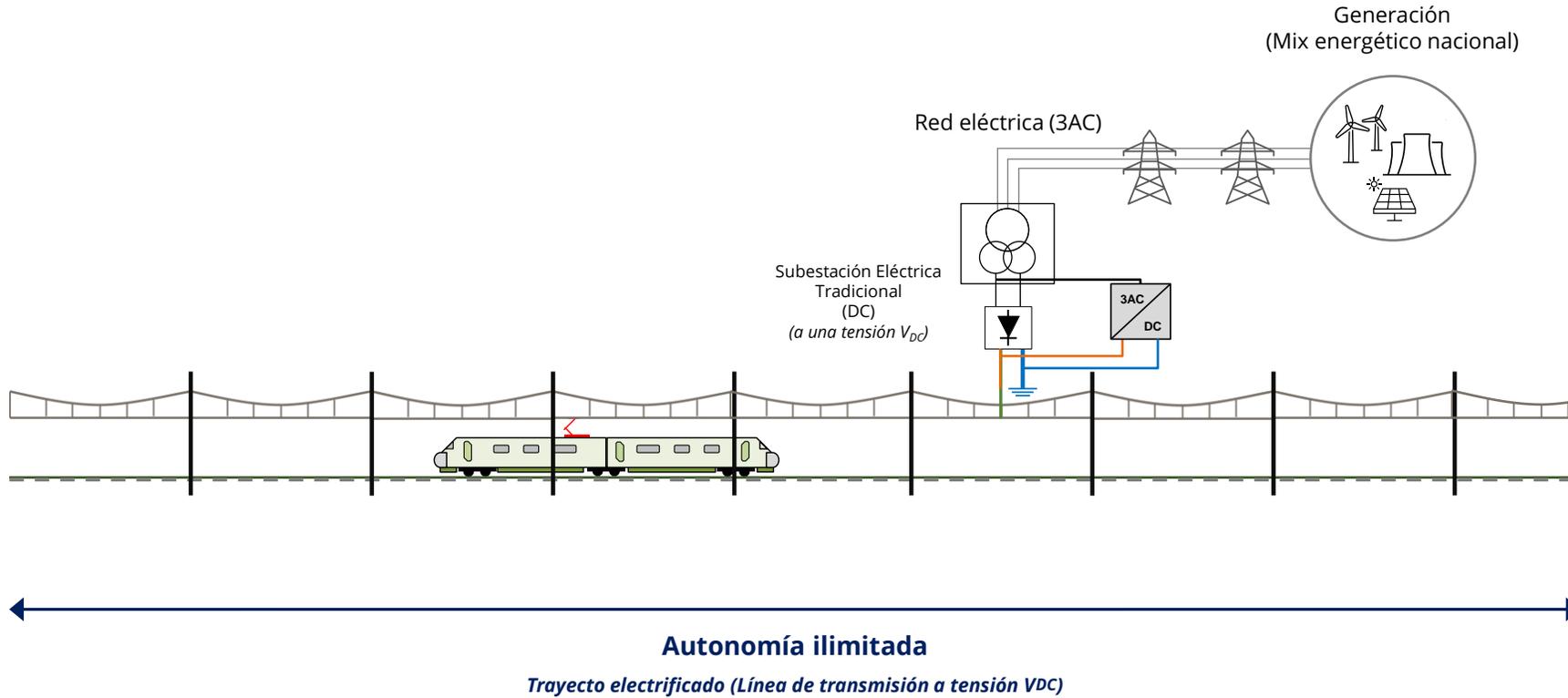
Escenarios de aplicación



(A) VEHÍCULO ELÉCTRICO CONVENCIONAL (EMU)

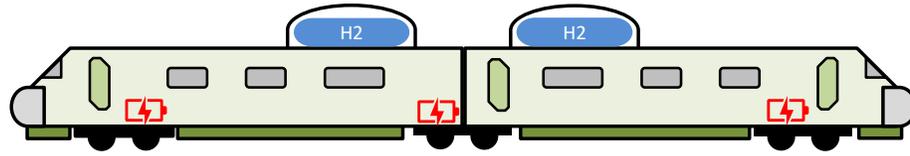
PANTÓGRAFO

1



Fuente propia.

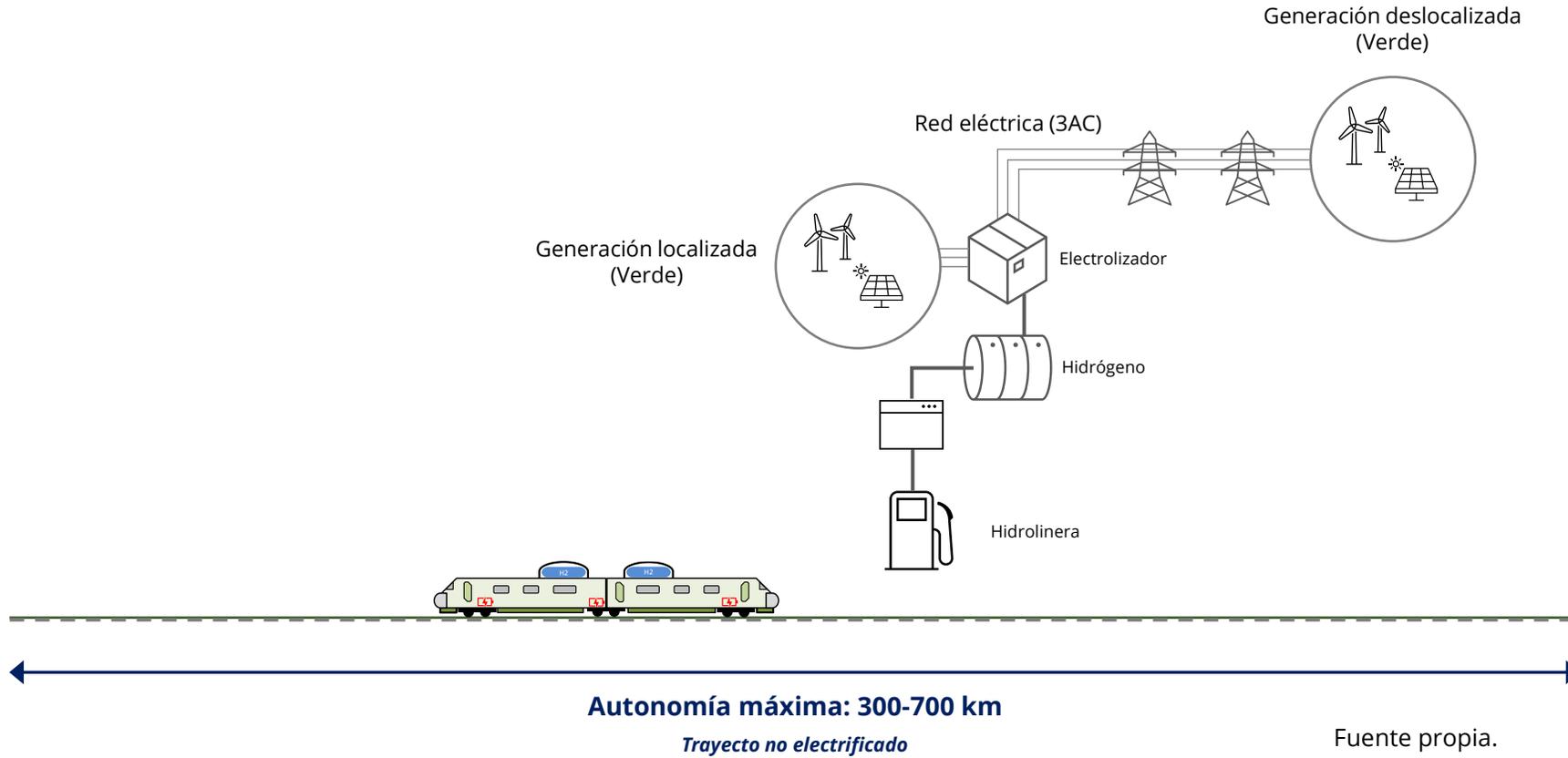
Escenarios de aplicación



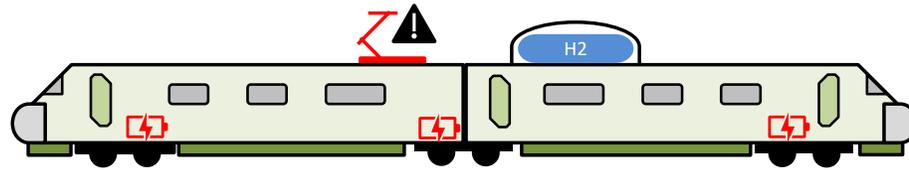
(B) VEHÍCULO ELÉCTRICO CON PILA DE HIDRÓGENO

PILA DE HIDRÓGENO Y BATERÍAS

2



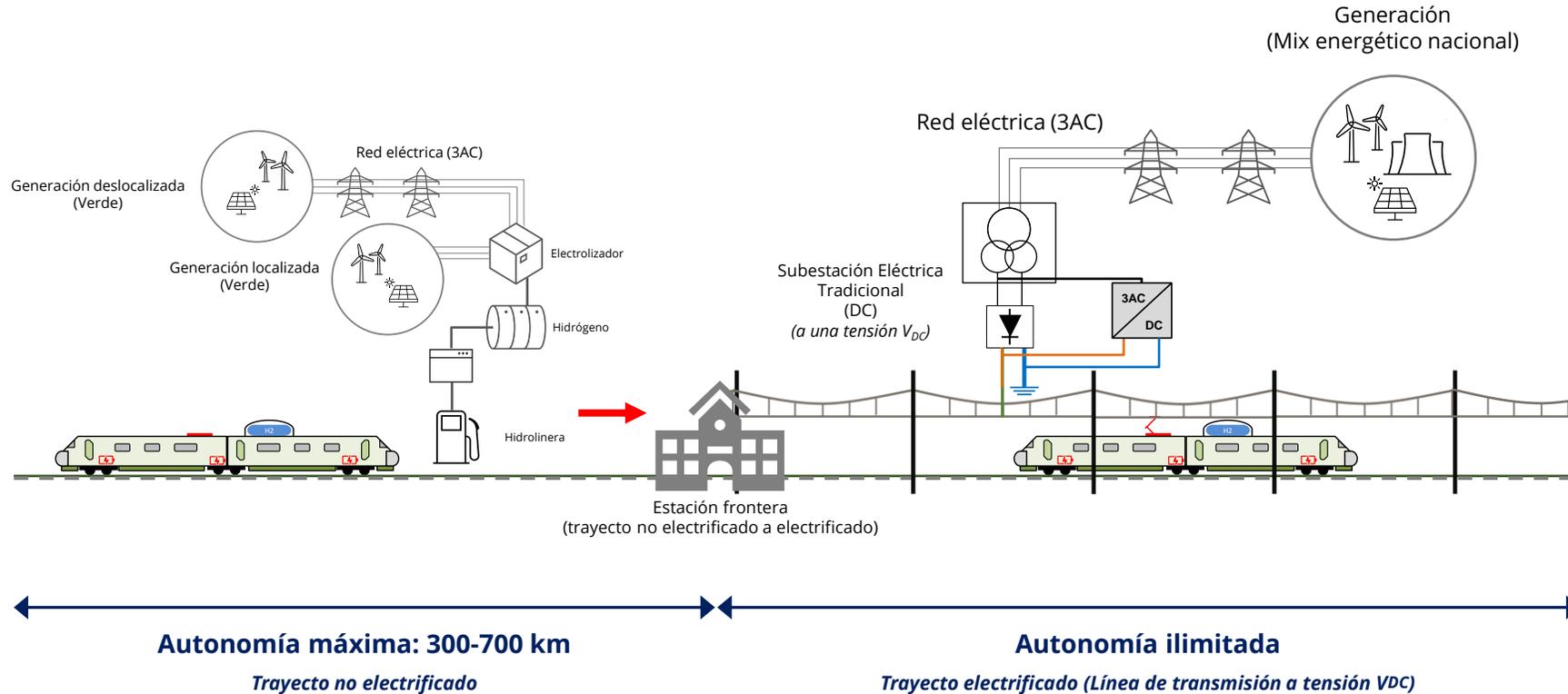
Escenarios de aplicación



(C) VEHÍCULO ELÉCTRICO HÍBRIDO (CONVENCIONAL+PILA)

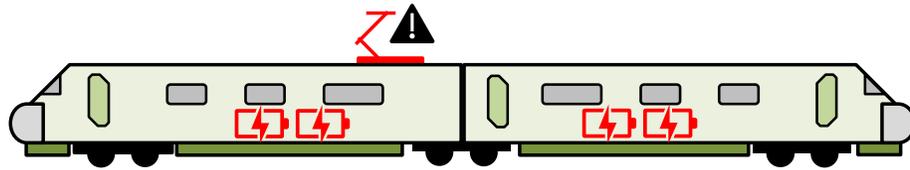
PANTÓGRAFO, PILA DE HIDRÓGENO Y BATERÍAS

3



Fuente propia.

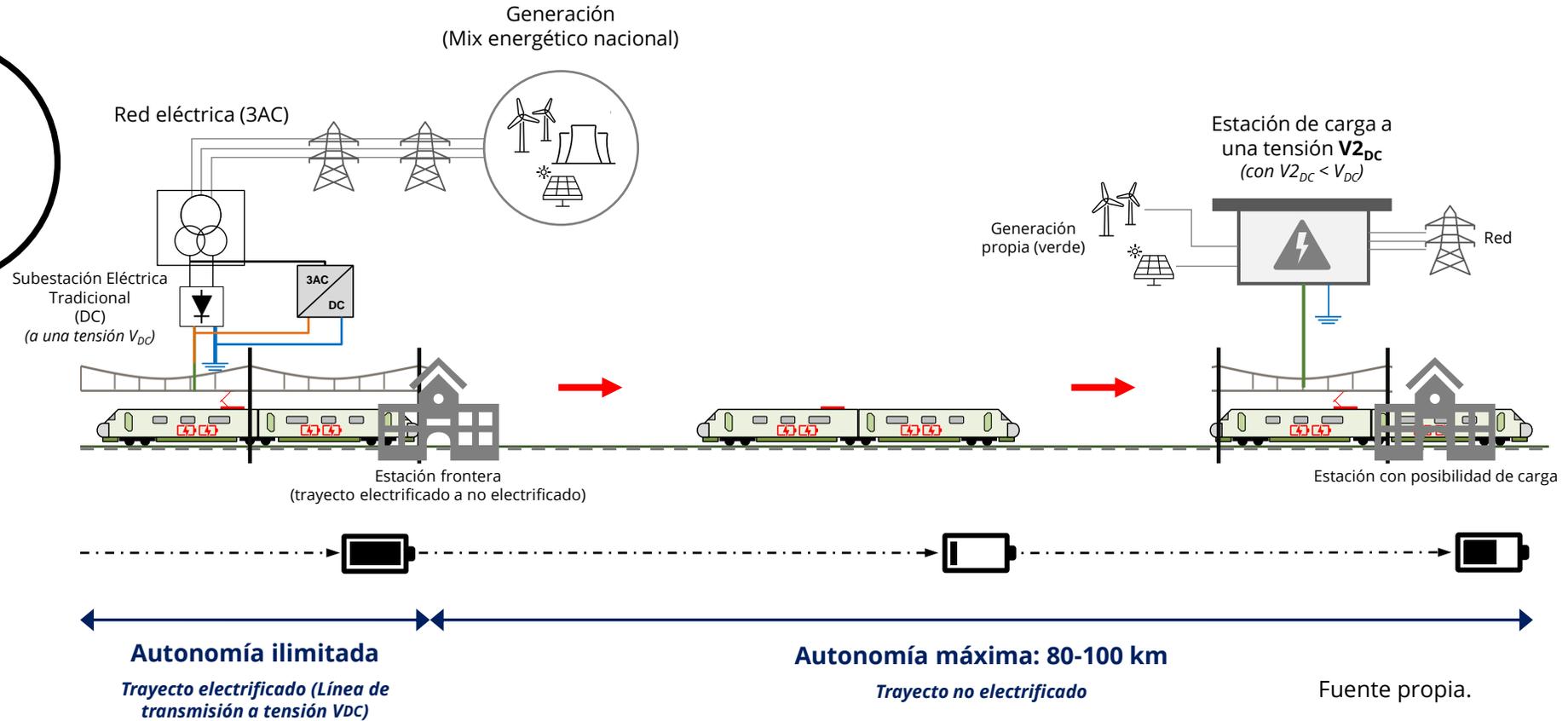
Escenarios de aplicación



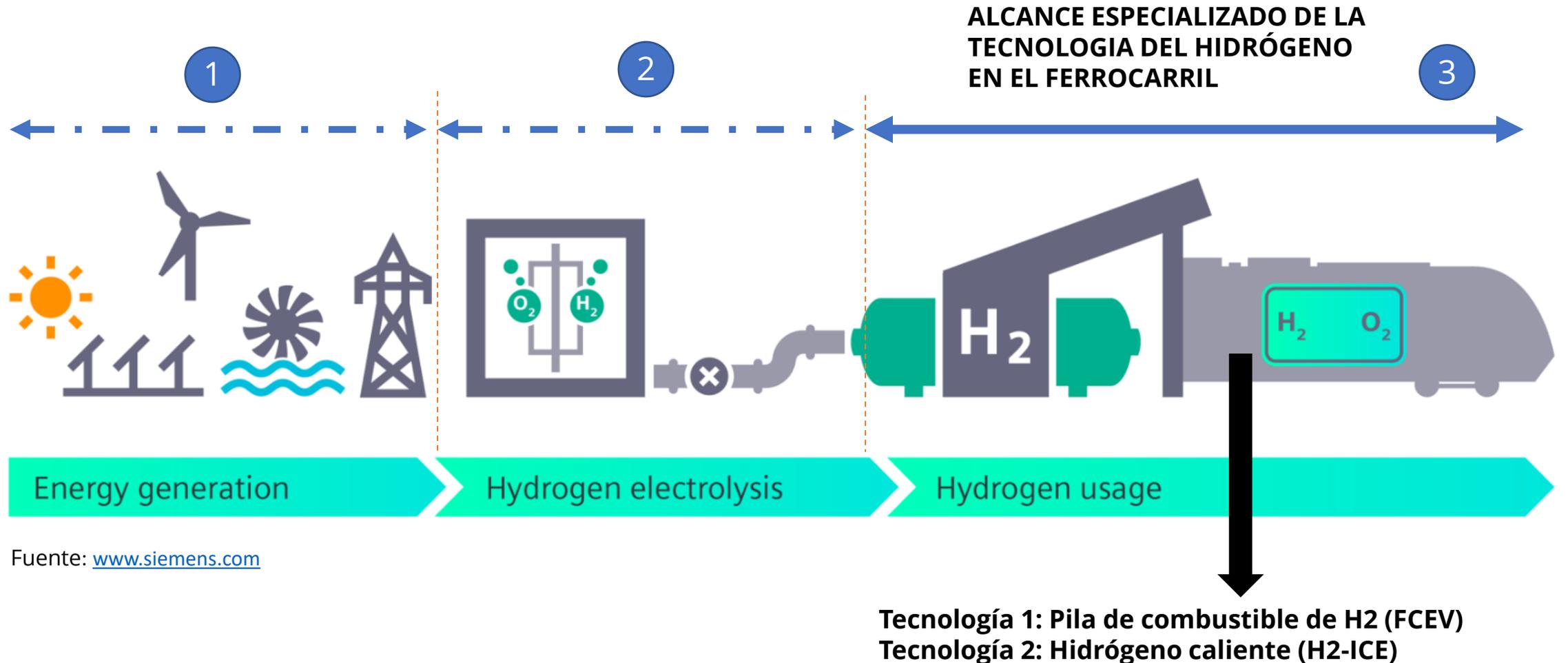
(D) VEHÍCULO ELÉCTRICO DE BATERÍAS (BEMU)

PANTÓGRAFO Y BATERÍAS

4



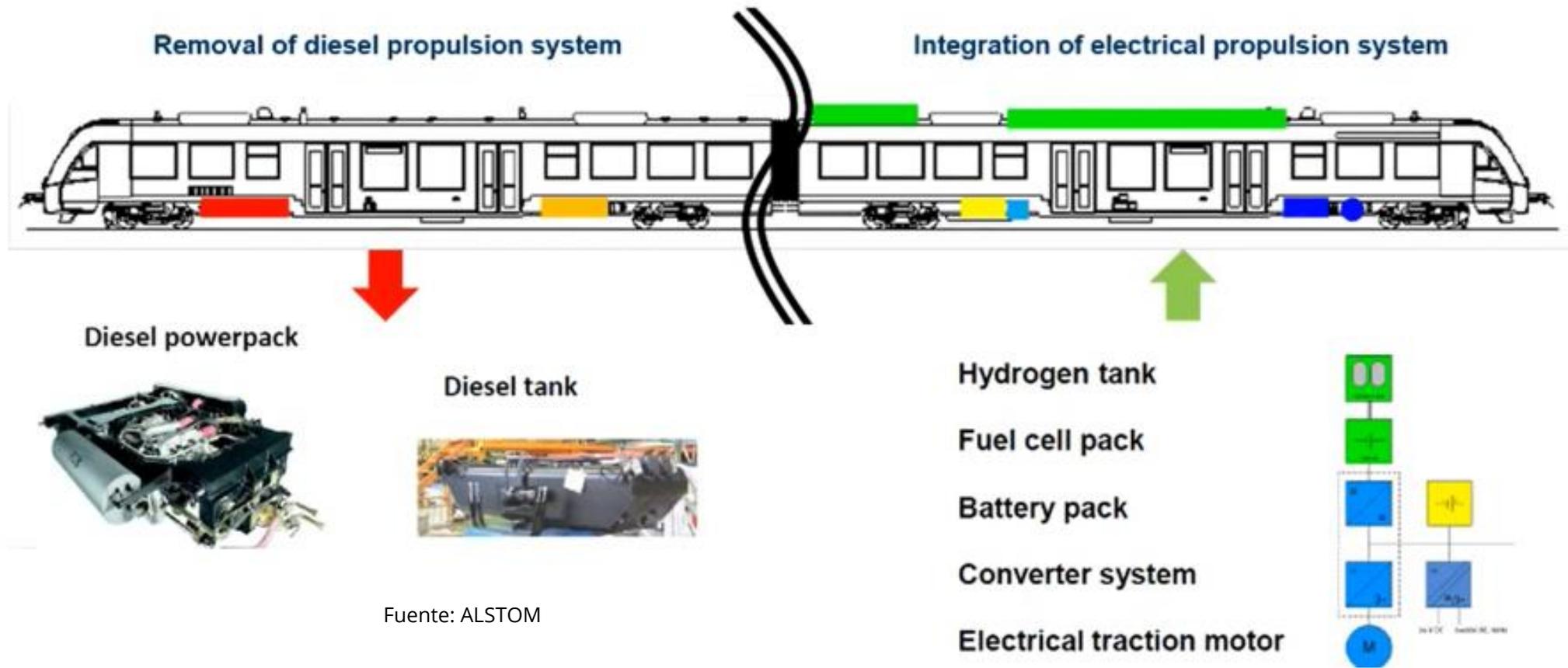
La cadena de valor del hidrógeno en el FFCC



Fuente: www.siemens.com

2 tecnologías principales

Quemar H2 en motores térmicos es mucho menos eficiente que generar electricidad en una pila de combustible



Tecnología de pila de combustible

EL TREN VERDE DEL FUTURO

CORADIA iLINT

Nacido a raíz de una preocupación global que persigue reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, combinado con el deseo de ofrecer alternativas silenciosas y ecológicas al diésel en líneas no electrificadas, iLint es el primer tren con célula de combustible de piso bajo.

EL PRINCIPIO

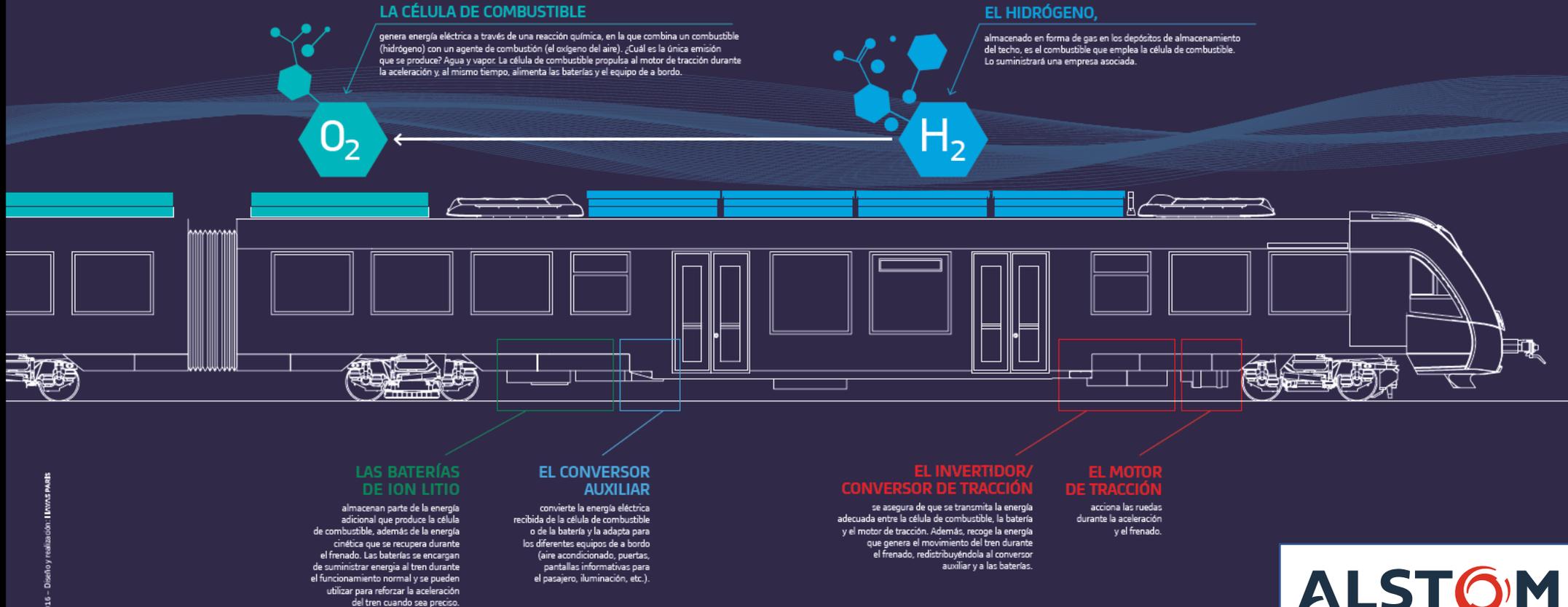
La electricidad para la tracción y los equipos embarcados se genera a través de una célula de combustible, se almacena en una batería y se recupera durante el frenado. Todo esto está supervisado por algoritmos de gestión de la energía, que optimizan el sistema. El círculo virtuoso hace que Coradia iLint sea una innovación nunca antes vista. Libre de emisiones, es el producto ecológico definitivo.

LA CÉLULA DE COMBUSTIBLE

genera energía eléctrica a través de una reacción química, en la que combina un combustible (hidrógeno) con un agente de combustión (el oxígeno del aire). ¿Cuál es la única emisión que se produce? Agua y vapor. La célula de combustible propulsa al motor de tracción durante la aceleración y, al mismo tiempo, alimenta las baterías y el equipo de a bordo.

EL HIDRÓGENO,

almacenado en forma de gas en los depósitos de almacenamiento del techo, es el combustible que emplea la célula de combustible. Lo suministrará una empresa asociada.



LAS BATERÍAS DE ION LITIO

almacenan parte de la energía adicional que produce la célula de combustible, además de la energía cinética que se recupera durante el frenado. Las baterías se encargan de suministrar energía al tren durante el funcionamiento normal y se pueden utilizar para reforzar la aceleración del tren cuando sea preciso.

EL CONVERTOR AUXILIAR

convierte la energía eléctrica recibida de la célula de combustible o de la batería y la adapta para los diferentes equipos de a bordo (aire acondicionado, puertas, pantallas informativas para el pasajero, iluminación, etc.).

EL INVERTIDOR/CONVERTOR DE TRACCIÓN

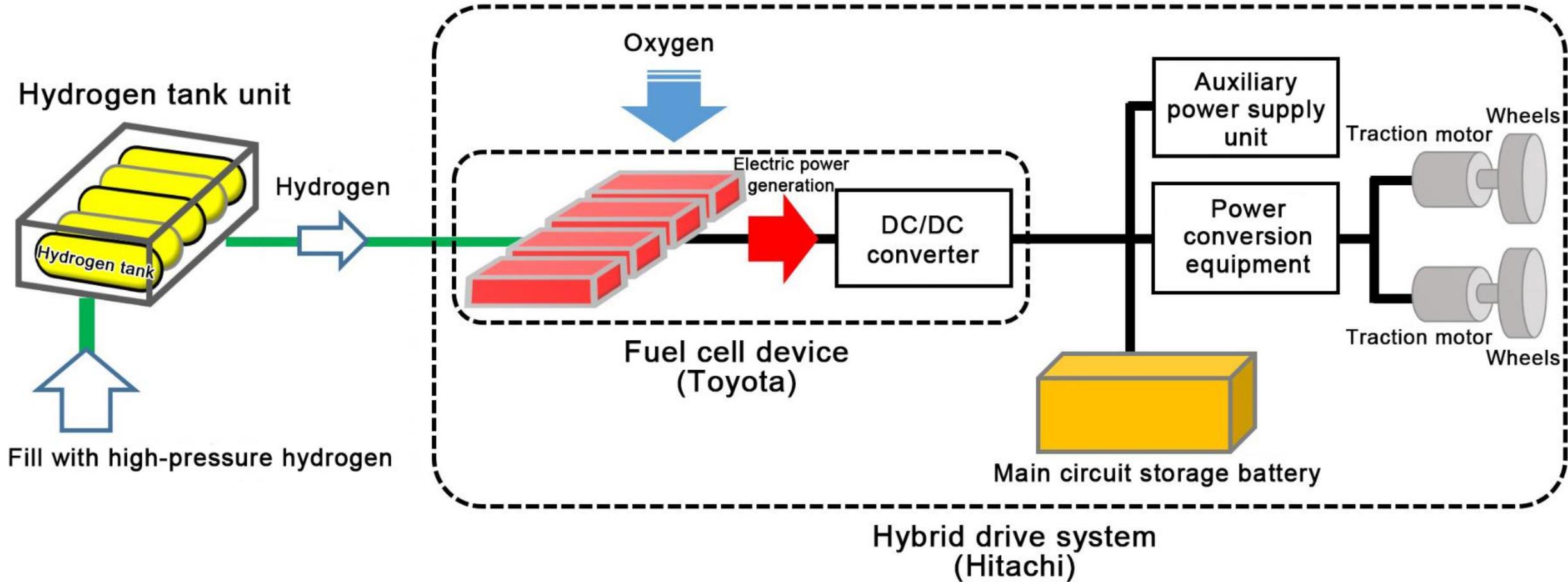
se asegura de que se transmita la energía adecuada entre la célula de combustible, la batería y el motor de tracción. Además, recoge la energía que genera el movimiento del tren durante el frenado, redistribuyéndola al convertidor auxiliar y a las baterías.

EL MOTOR DE TRACCIÓN

acciona las ruedas durante la aceleración y el frenado.



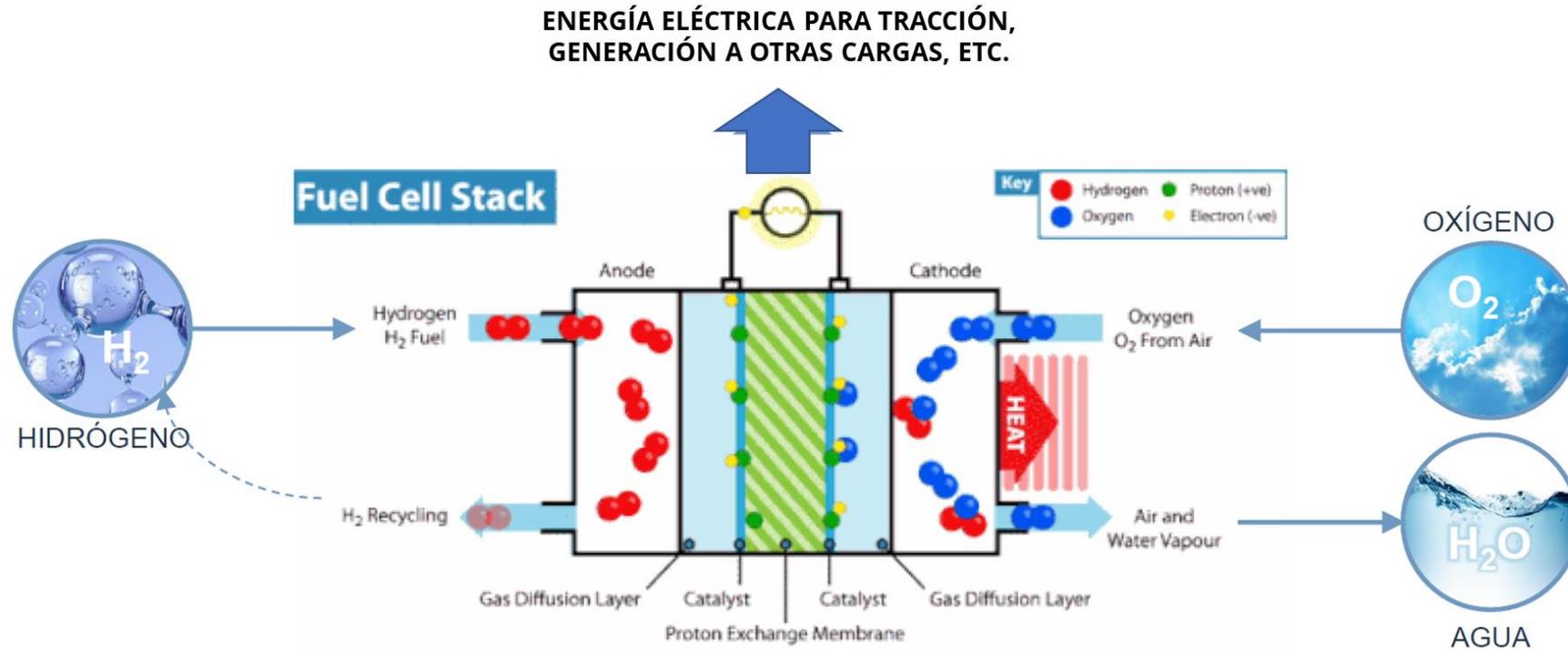
Tecnología de pila de combustible



Fuente: Hitachi

Tecnología de pila de combustible

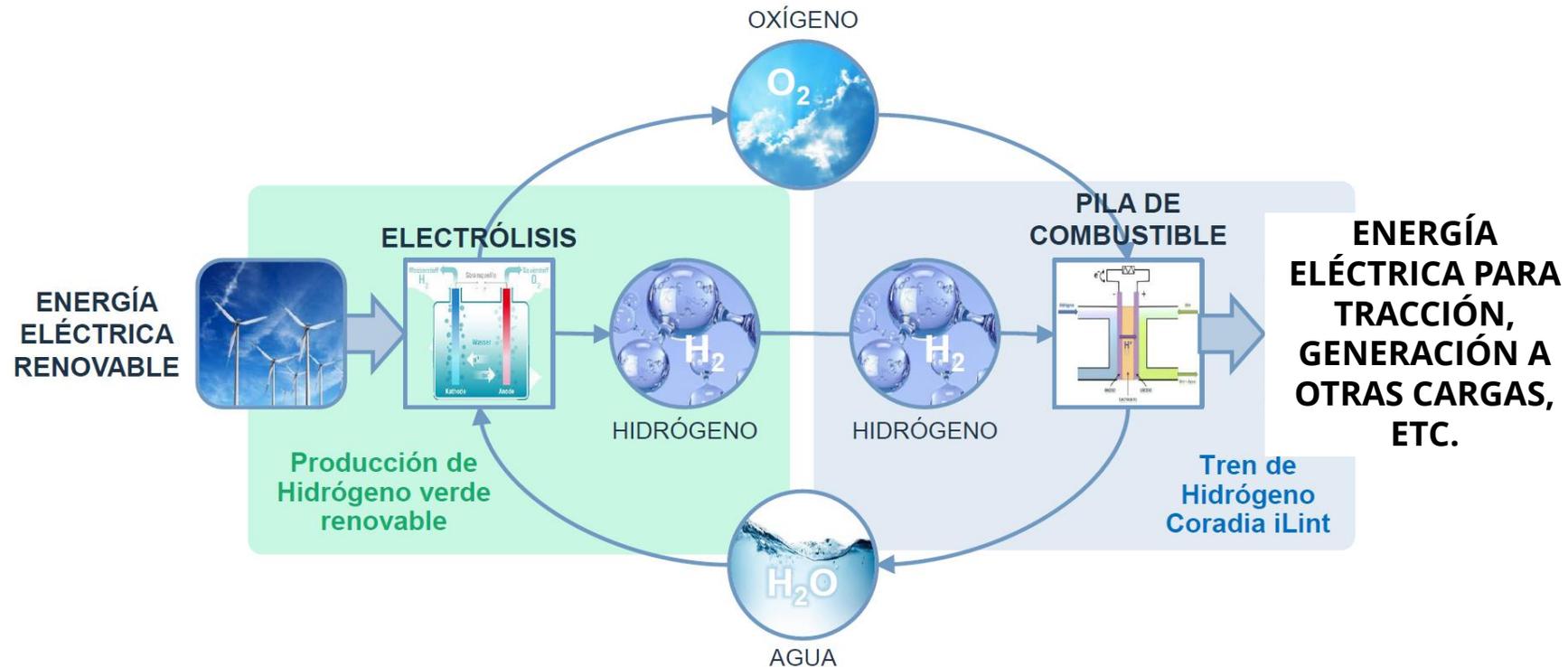
Una pila de combustible es un dispositivo electroquímico que transforma de forma directa la energía química en eléctrica. Parte de un combustible (hidrógeno, H₂) y de un comburente (oxígeno, O₂) se combinan para producir agua, electricidad –en corriente continua– y calor.



Fuente: Alstom

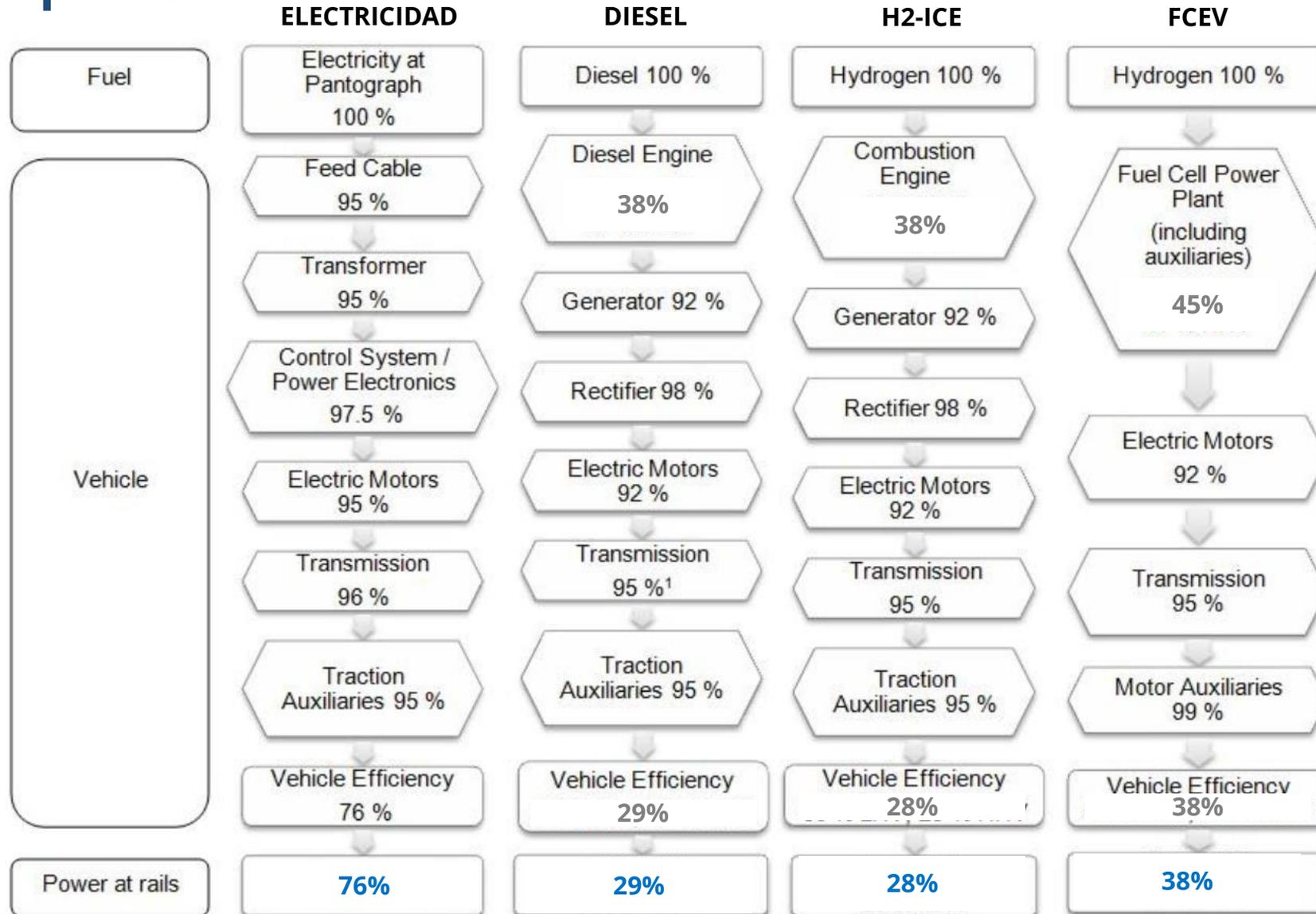
Tecnología de pila de combustible

Si el hidrógeno es **verde** (proviene de fuentes renovables) debe considerarse como la alternativa tecnológica más limpia a emplear, ya que está libre de emisiones de carbono tanto en el proceso de generación como en consumo (cuando genera únicamente vapor de agua), lo que le posiciona como principal nuevo vector energético en el ámbito nacional y europeo.



Fuente: Alstom

Breve comparativa



Fuente: Andreas Hoffrichter. The Birmingham Centre for Railway Research and Education Electronic, Electrical and Computer Engineering College of Engineering and Physical Sciences. The University of Birmingham

Una instalación de repostaje de hidrógeno está formada siempre por los siguientes elementos:

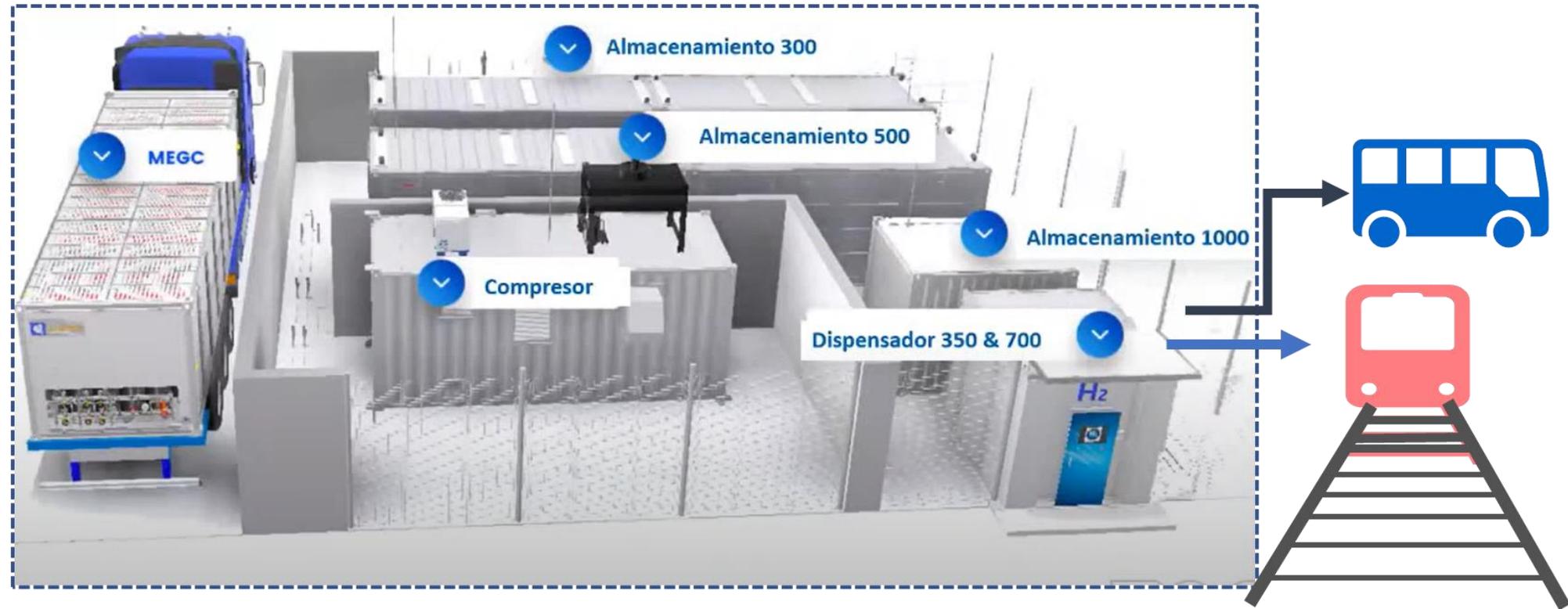
Compresor. Ya que el hidrógeno debe comprimirse a presiones elevada, esta función es realizada por este componente (el más importante de la instalación en tierra, por su precio y complejidad técnica).

Almacenamiento a baja presión. El hidrógeno ya comprimido es posteriormente almacenado en un sistema de cascada que permita regular el proceso de carga posterior.

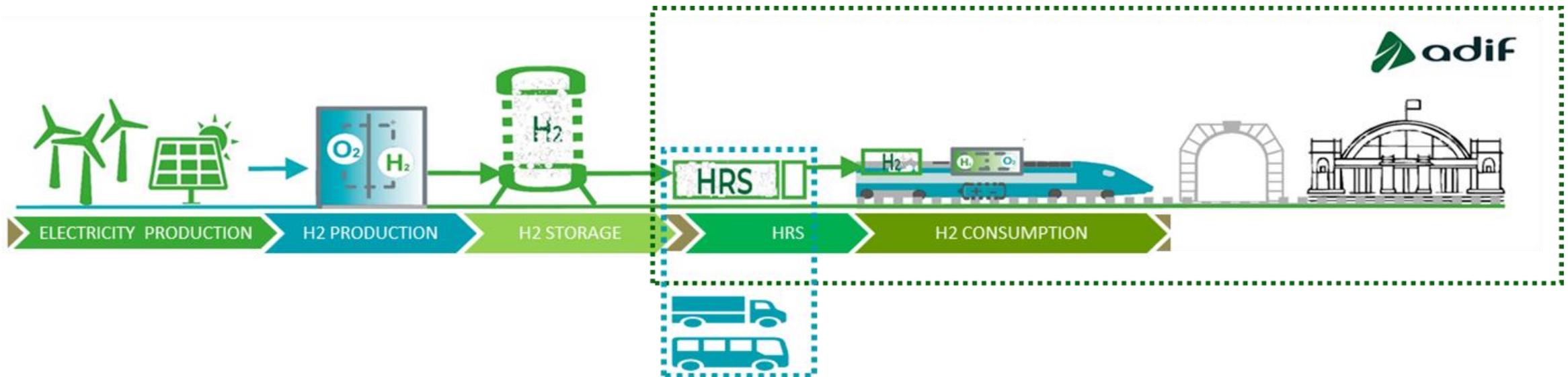
Dispensador. Es el componente que inyecta directamente el hidrógeno al vehículo, controlando y gestionando el proceso de carga.



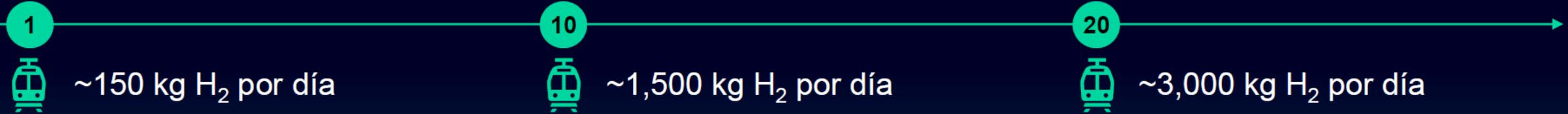
Hidrolinera



La generación específica de hidrógeno en el mismo emplazamiento, es una cuestión técnica que debe plantearse en base a importantes estudios técnicos, económicos y logísticos. En este caso se precisarían nuevos componentes como el **electrolizador** y la propia **planta de generación de energía eléctrica** (que en la modalidad de hidrógeno verde, debería estar formada por fuentes de origen renovable), además de un nuevo elemento de **almacenamiento**.



Tamaño de la flota



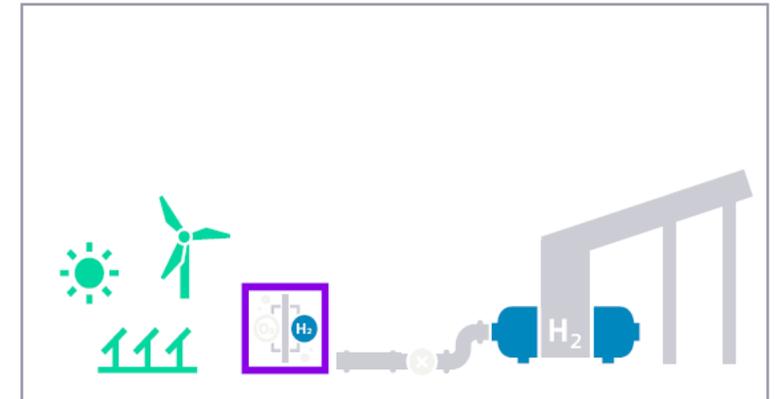
Estación móvil de hidrógeno

Source: Wystrach



Estación de servicio con entrega

Source: FCHJU: New Bus Fuel Study (2017)



Planta de electrólisis integrada

Fuente: Siemens

Experiencias en curso



Coralia iLind



HydroFLEX



Mireo Plus H



FCH2rail



OLE+H2 Fuel Cell



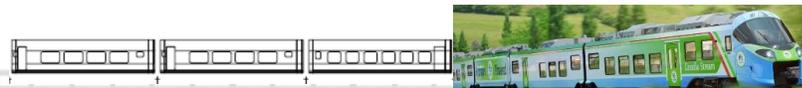
Coralia Polivalent H2



Breeze



Coradia Stream H2



Experiencias en curso



Coralia iLind			
Company	Alstom		
Client	EBA/		
Country	Germany		
Started	07/18		
Ended	02/20		
State	Operation		
Energy source	H2 only		
Pressure(bar)	350 bar		
Speed (km/h)	140km/h		
Autonomy (Km)	1000		

Experiencias en curso



Coralia iLind					
Company	Alstom	Alstom	        		
Client	OBB	Arriva_ProRail			
Country	Austria	Netherland			
Started	ago-20	may-20			
Ended	nov-20	may-20			
State	Homlg Test	Homlg Test			
Energy source	H2 only	H2 only			
Pressure(bar)	350 bar	350 bar			
Speed (km/h)	140km/h	140km/h			
Autonomy (Km)	1000	1000			

Experiencias en curso



HydroFLEX			
Company	University of Birmingham		
Client	Porterbrook		
Country	UK		
Started	2019		
Ended	2019		
State	Prototype		
Energy source	H2 only		
Pressure(bar)	350 bar		
Speed (km/h)	100 km/k		
Autonomy (Km)	482,7		

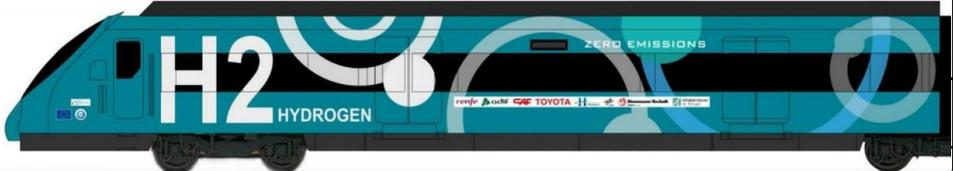
Experiencias en curso



Mireo Plus H			
Company	SIEMENS	   	
Client	DB		
Country	Germany		
Started	abr-22		
Ended	dic-23		
State	Prototype		
Energy source	H2 only		
Pressure(bar)	350 bar		
Speed (km/h)	160km/h		
Autonomy (Km)	600- 1000		

Experiencias en curso



FCH2rail			
Company	CAF		
Client	ADIF-renfe		
Country	Spain		
Started	ene-21		
Ended	dic-24		
State	Prototype		
Energy source	H2+ Catenary		
Pressure(bar)	350 bar		
Speed (km/h)	120		
Autonomy (Km)			

Experiencias en curso

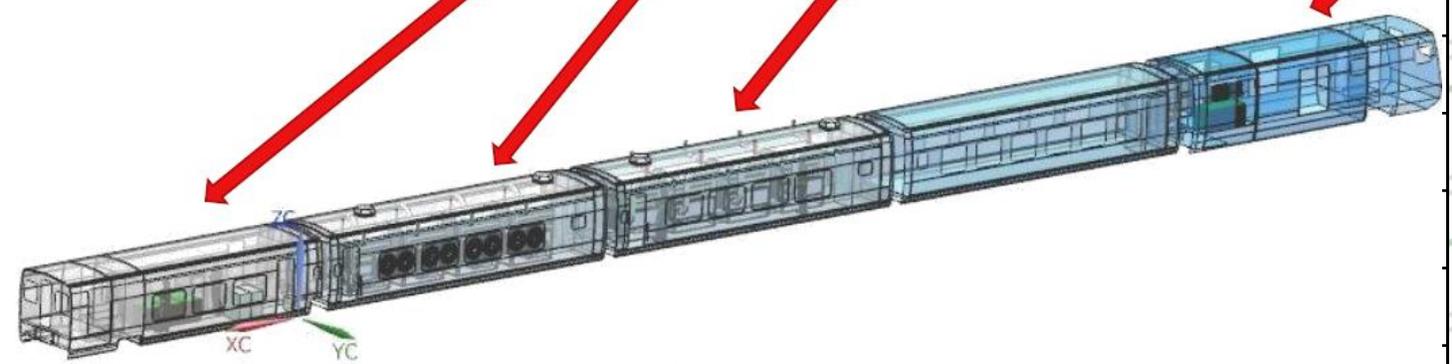


OLE+H2 Fuel Cell



Company	talgo
Client	0
Country	Spain
Started	jun-20
Ended	dic-23
State	Prototype
Energy source	H2+ Catenary
Pressure(bar)	350 bar
Speed (km/h)	140km/h
Autonomy (Km)	

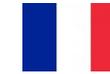
Talgo



Experiencias en curso



Coralia Polivalent H2



Company	Alstom
Client	SNCF
Country	France
Started	01/21
Ended	01/25
State	Hired TRL9
Energy source	H2+ Catenary
Pressure(bar)	350 bar
Speed (km/h)	
Autonomy (Km)	600



Experiencias en curso



Breeze 	
Company	Alstom
Client	Eversholt Rail
Country	UK
Started	jul-20
Ended	ene-24
State	Hired TRL9
Energy source	H2+ Catenary
Pressure(bar)	350 bar
Speed (km/h)	
Autonomy (Km)	



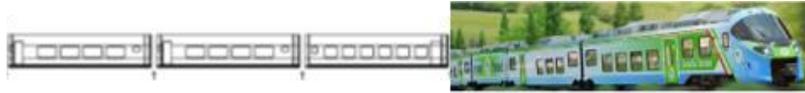





Experiencias en curso



Coradia Stream H2



Company	Alstom
Client	FERROVIENOR D
Country	Italia
Started	11/20
Ended	11/24
State	Hired TRL9
Energy source	H2
Pressure(bar)	350 bar
Speed (km/h)	140km/h
Autonomy (Km)	600

