EL TREN PROPULSADO POR ESTA ENERGÍA RENOVABLE SE ABRE PASO PARA SUSTITUIR AL MATERIAL DIÉSEL EN LÍNEAS NO ELECTRIFICADAS

El hidrógeno como alternativa

La sustitución de combustibles fósiles por energías renovables para la tracción ferroviaria es una medida prometedora que contribuirá a la descarbonización del sector. En esa transición energética despunta la tecnología de pila de combustible de hidrógeno, fundamento del tren de cero emisiones que circulará por vías no electrificadas como alternativa al material diésel. El Mitma, a través de Adif y Renfe, promueve la implantación de esta tecnología en España y participa activamente en el esfuerzo europeo para desarrollar un prototipo híbrido con tracción eléctrica y de hidrógeno adaptable a la red convencional española.

Texto: Javier R. Ventosa

El Coradia iLint es el primer tren de pasajeros del mundo con tracción a hidrógeno. ALSTOM

El 46% de las líneas de ferrocarril de la UE están sin electrificar y son recorridas a diario por cientos de trenes que suponen el 20% de la tracción diésel, responsable de emisiones contaminantes que contribuyen al cambio climático (sobre todo CO_2). Para mitigar este impacto ambiental negativo y contribuir a los objetivos de la Agenda 2030 de la ONU y del Acuerdo de París, la Comisión Europea, en su Estrategia de Movilidad Sostenible e Inteligente, de diciembre de 2020, propone como soluciones principales la electrificación de líneas y la introducción de trenes con tracción "limpia" basada en hidrógeno allí donde esa electrificación –costosa y a largo plazo– no sea viable.

Esta nueva tecnología de tracción, denominada de pila de combustible, genera la electricidad que alimenta los motores del tren a partir de un proceso químico consistente en la separación del hidrógeno y el oxígeno mezclados en esa pila, liberando al primer componente para su empleo en los motores de tracción y generando vapor de agua como única emisión; al no producir gases de efecto invernadero, se convierte en un vehículo de cero emisiones. Para ser una tecnología verde al cien por cien, el hidrógeno debe proceder de fuentes de energía renovable (eólica, fotovoltaica…).

En la última década, la I+D+i europea ha ido madurando la tecnología de pila de combustible, ya presente de forma incipiente en la automoción. Su viabilidad en el sector ferroviario la ha demostrado con hechos el Coradia iLint de Alstom, primer y único tren de hidrógeno del mundo. Dos unidades pre-serie de este tren regional culminaron en septiembre de 2020 dos años de servicio comercial de viajeros –y 180.000 kilómetros

▸ El Coradia iLint ha realizado tres meses de pruebas en Austria, entre septiembre y diciembre de 2020. ALSTOM

▸ Austria ha sido el segundo país europeo en dar su aprobación a la circulación de los trenes Coradia iLint. ALSTOM

El objetivo del Mitma es eliminar los trenes diésel de las vías españolas y sustituirlos por trenes basados en energías limpias.

▸ Render de la plataforma Talgo Vittal-One, que incorporará la tecnología de pila de combustible. TALGO

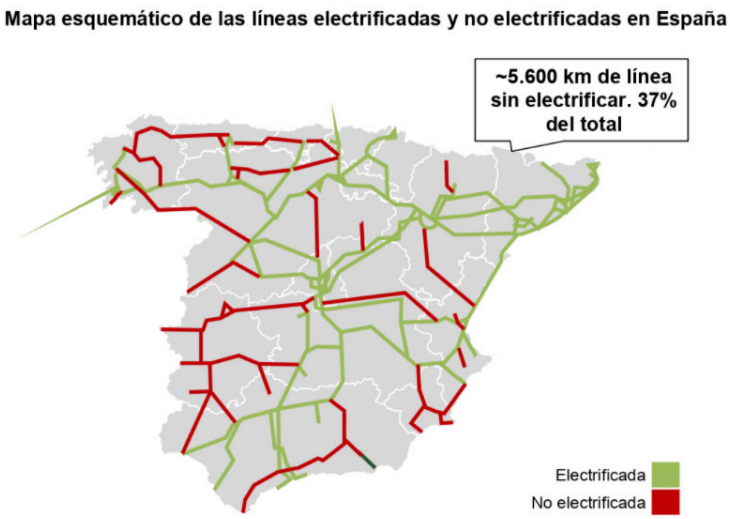
> **El tren de hidrógeno híbrido, que podrá circular por vías parcialmente electrificadas, tiene buen encaje en la red convencional española.**

recorridos– en una línea no electrificada de 123 kilómetros de Baja Sajonia (Alemania), seguidos de meses de pruebas de diversa índole en Holanda y Austria. La exitosa fase de ensayos ha dado paso a la producción en serie de este tren y a la multiplicación de pedidos desde Alemania, Italia y Francia, que empezarán a entrar en servicio en 2022; también al desarrollo de un modelo evolucionado, el Coradia Polivalent, tren bi-modo que se abastece de hidrógeno y electricidad de catenaria. En mayo pasado, el fabricante se ha ofrecido a poner estos trenes circulando en España en un plazo de 30 meses.

Este caso de éxito reafirma la apuesta de la Comisión Europea por la tracción de hidrógeno como solución complementaria a la electrificación de líneas y como principal alternativa al tren diésel, que Bruselas quiere retirar de las vías europeas. También ha empujado a los demás fabricantes a acelerar el desarrollo de sus propios modelos en vista de los estudios de demanda, que pronostican que uno de cada cinco trenes vendidos en 2030 tendrá tracción de hidrógeno. En este esfuerzo industrial, que incluye esquemas de colaboración público-privada, destaca el caso de España, único país europeo con dos compañías desarrollando su propio prototipo, con el que esperan superar las prestaciones del caso de éxito: Talgo, que lo prevé probar en vía en noviembre próximo como base de su plataforma Vittal One, y CAF, que lo quiere testar en julio de 2022 dentro del proyecto europeo FCH2RAIL. Ambos fabricantes confían en tener sus trenes listos para la comercialización entre 2023 y 2024.

Desarrollo en España

La red ferroviaria española y la europea comparten el mismo problema, aunque la situación de la primera sea algo mejor. El 36% de la red titularidad de Adif y Adif Alta Velocidad (5.536 kilómetros) no está electrificada y la flota diésel de Cercanías y Media Distancia de Renfe (211 trenes, el 13% del parque de pasajeros) supone el 11% de la tracción y el 30% de las emisiones de CO_2. Para mitigar las emisiones en las vías no electrificadas y contribuir a la reducción de la huella de carbono del sistema ferroviario, el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma) desarrolla varias líneas de actuación, previstas en la Estrategia de Movilidad Sostenible, Segura y Conectada 2030 y, más específicamente, en el Plan de Lucha Contra el Cambio Climático 2018-2030 (PLCCC) de



Fuente: CAF, con información de Mitma y Renfe.

EL ANTECEDENTE DEL 'FABIOLO'

La investigación sobre la viabilidad del hidrógeno como energía para la tracción ferroviaria se desarrolla desde principios de siglo en varios países, generalmente mediante proyectos de colaboración público-privados. Una pequeña locomotora minera, testada en Quebec (Canadá) en 2002, es el primer prototipo conocido de vehículo ferroviario propulsado por hidrógeno. Sucesivos proyectos para investigar esta innovadora tecnología produjeron nuevos prototipos en Japón (2006), Taiwán (2007) y Estados Unidos (2010), aunque todos ellos se quedaron en la fase de estudio de viabilidad.

España fue pionera en el empleo del hidrógeno en el ferrocarril en Europa. En 2011, Feve (ahora Renfe Ancho Métrico) presentó un prototipo movido por hidrógeno como resultado de un proyecto de I+D iniciado en 2008 con financiación del Principado de Asturias y la UE. El vehículo, un tranvía de la serie 3400 (comprado a Bélgica, de ahí su nombre de 'Fabiolo', en alusión a la esposa española del entonces rey de los belgas), se modificó incorporándole un sistema de tracción basado en pila de combustible, supercondensadores y baterías, cuya acción generaba la electricidad para mover el motor. El vehículo se testó en Pravia (Asturias), circulando a 20 km/h, y debía operar en una línea de la red de ancho métrica asturiana. Pero como otros proyectos de la época, no pasó de la fase de prototipo.

El salto de la fase de proyecto a la de explotación comercial se ha producido hace apenas un lustro. Primero en Asia, con el estreno en 2016 de siete tranvías impulsados por pila de hidrógeno en Qingdao (China). Y luego en Europa con el tren Coradia iLint, presentado en 2016 y en servicio comercial en Alemania entre 2018 y 2020. Una vez demostrada la viabilidad comercial de esta tecnología *verde*, los principales fabricantes de trenes (Alemania, España, Japón, Suiza, Corea del Sur) han iniciado una carrera para desarrollar sus propios proyectos, que estarán disponibles a partir de 2023-2024.

Revista *Vía Libre*-Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

Revista *Vía Libre*-Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

▸ La flota diésel de pasajeros de Renfe tiene más de 200 unidades. En la imagen, automotor de la serie 599. RENFE

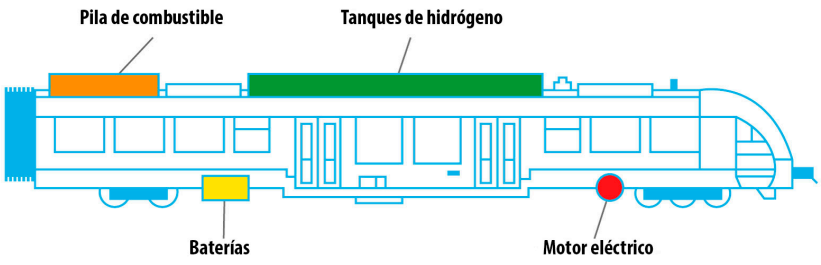
En sus compras futuras de material para los servicios determinados por las OSP, Renfe ha renunciado a los trenes basados en combustibles fósiles.

Adif y Renfe. Con estas líneas de actuación se promueve la eliminación de los trenes de tracción diésel de las vías españolas.

En el capítulo de descarbonización y energías renovables, el PLCCC apuesta por dos actuaciones principales, sintonizadas con la estrategia europea. Por un lado, la electrificación de líneas, en fase de ejecución a través de un programa que prevé electrificar 1.100 kilómetros de nueve líneas de Adif, mayoritariamente de las Redes Transeuropeas de Transporte, entre 2020 y 2025, y que ha sido incluida por el Gobierno en los fondos Next Generation UE. Y por otro, la sustitución de la tracción basada en combustibles fósiles por tecnologías basadas en fuentes de energía renovable como el gas natural licuado y el hidrógeno, esta última considerada hoy por hoy como la más viable a medio plazo al haber sido ya testada comercialmente. La tracción de hidrógeno se perfila como una alternativa idónea para aquellas líneas de escaso tráfico donde el coste de electrificación no sea asumible.

En el mismo capítulo del PLCCC se inscribe el Plan de Compra de Material de Renfe, lanzado en 2019. Según este plan, las licitaciones de material rodante destinado a Obligaciones de Servicio Público (OSP) deben incorporar en sus pliegos una solución híbrida para que los futuros trenes que circulen por líneas total/parcialmente electrificadas complementen la tracción principal en modo eléctrico con la tracción mediante energías sostenibles como el hidrógeno, opción de óptimo encaje en la heterogénea red española. El primer fruto del plan ha sido el concurso, adjudicado en marzo, para la compra de 211 trenes eléctricos que renovarán la flota de Cercanías y Media Distancia. Estas composiciones incorporarán un coche intermedio "polihíbrido" eléctrico-hidrógeno/gas natural licuado/baterías, capaz de producir y almacenar la energía eléctrica para la tracción. El diseño de este vehículo técnico, de 7-10 metros y con pasillo para la intercomunicación a lo largo del tren, ha sido desarrollado por

▸ La electrificación favorece la descarbonización del sistema ferroviario. En la imagen, tendido de catenaria en el tramo Plasencia-Cáceres. ADIF



ABC DEL TREN DE HIDRÓGENO

Concepto. Un tren de hidrógeno es un vehículo movido por un motor eléctrico que, en lugar de recibir la energía desde la catenaria, la genera a bordo (y la almacena) a partir de un proceso químico que separa el hidrógeno y el oxígeno mezclados en la pila de combustible y libera al primero para su empleo en el motor de tracción. Esta tecnología lo faculta para circular por vías no electrificadas en lugar de los trenes diésel.

Funcionamiento. El tren incorpora en el techo unas bombonas de hidrógeno, almacenado en estado gaseoso (en alta presión a 350 bares). La reacción química provocada al mezclar hidrógeno y oxígeno, además de generar electricidad, produce vapor de agua como única emisión. El sistema requiere también unas baterías de ion litio para complementar la potencia de arranque que necesita el tren y que, además, almacenan la energía de frenado y la corriente excedente de la pila de combustible.

Energía renovable. El hidrógeno (H2) es el elemento químico más abundante en la naturaleza y sus reservas son inagotables. Su impacto ambiental depende de la energía usada para su producción (renovable o no). Habitualmente se obtiene a partir del gas natural (un combustible fósil), pero también puede producirse por electrólisis, proceso que separa el hidrógeno presente en el agua mediante energía eléctrica. Si esta energía proviene de fuentes renovables (eólica, solar...), el hidrógeno estará exento de emisiones. Idealmente, este hidrógeno verde es el que alimentará a los trenes.

Prestaciones. El único modelo testado alcanza una velocidad máxima similar a un tren diésel (140 km/h), pero lo supera en aceleración y acústica (es silencioso), funciona durante 18 horas, se recarga en 15-20 minutos y, sobre todo, no contamina. Su autonomía teórica es de 800-1.000 kilómetros (similar al diésel y muy superior al tren de baterías), pero variará en función del número y volumen de tanques instalados y de la forma de almacenar el hidrógeno (gaseoso o líquido). En los modelos en desarrollo, la potencia de propulsión será configurable según las necesidades del tren incorporando más pilas y baterías. El modelo híbrido que se está diseñando permitirá formar un tren con doble sistema de tracción (eléctrica e hidrógeno), apto para vías electrificadas y sin electrificar, lo que aportará una enorme flexibilidad a la operación ferroviaria.

Competitividad. Un estudio conjunto de las iniciativas Shift2Rail y FCH JU sobre el potencial del tren de hidrógeno concluyó en 2019 que esta tecnología es económica y ambientalmente competitiva frente a otros modos de tracción. El gasoil que alimenta los motores diésel e incluso el hidrógeno obtenido del gas natural son hoy más económicos, pero se estima que con la producción generalizada de hidrógeno verde su precio será más barato hacia 2030.

Utilización. El tren de hidrógeno se perfila como solución viable para líneas no electrificadas de más de 100 kilómetros y de baja utilización (servicios regionales), así como para el transporte de última milla. Por ahora solo existe la versión de pasajeros, aunque Renfe iniciará próximamente un estudio teórico sobre la viabilidad técnica y operacional del uso del hidrógeno aplicado a trenes de mercancías.

Renfe y el Centro Nacional de Hidrógeno.

Un mes después, Renfe anuló dos licitaciones de 72 trenes de Cercanías y Media Distancia pendientes para completar el Plan de Compra de Material (el 22% del total, por valor de 1.300 M€), cuyas bases no excluían al material propulsado por combustibles fósiles (trenes duales). En su lugar, lanzará dos licitaciones con nuevas bases que prevén exclusivamente la adquisición de trenes basados en sistemas de tracción no contaminantes, como el hidrógeno, para circular por vías no electrificadas. Esta relicitación supone, de hecho, la renuncia de la operadora a adquirir más trenes diésel de pasajeros.

La estrategia que favorece el desarrollo del tren de hidrógeno en España se completa con la Hoja de Ruta del Hidrógeno, iniciativa del Ministerio de Transición Ecológica y Desafío Demográfico, alineada con la estrategia europea y aprobada por el Gobierno en octubre de 2020, que promueve la implantación de esta energía *verde* para avanzar hacia la neutralidad de emisiones en 2050. Esta hoja de ruta, convertida en el marco para el desarrollo de la tecnología de hidrógeno renovable en España, establece dos líneas de actuación para el ferrocarril: por un lado, la promoción de estudios y ensayos de viabilidad para sustituir los trenes diésel por trenes de hidrógeno (mediante la adquisición de nuevo material o la transformación del material existente); y por otro, la definición de actuaciones para crear una infraestructura nacional ferroviaria de repostaje de hidrógeno. La estrategia, que incluye mecanismos de financiación nacionales y europeos para el desarrollo de proyectos, se ha marcado como objetivo para 2030 la utilización continua de trenes propulsados por hidrógeno en al menos dos líneas comerciales de Media y Larga Distancia en vías actualmente no electrificadas.

España lidera el consorcio europeo encargado del desarrollo y validación de un prototipo de tren con tracción eléctrica y de hidrógeno.

Proyectos de investigación

En el marco de esta hoja de ruta y del PLCCC, Renfe y Adif han iniciado este año su participación en dos proyectos de I+D+i (FCH2RAIL y H2TR) cuyo objetivo es impulsar el desarrollo y perfeccionar la tecnología del hidrógeno aplicada a la tracción ferroviaria. Se trata de proyectos de dimensión europea que están siendo desarrollados por consorcios formados por varios socios comunitarios. Estos dos proyectos, con cierto grado de complementariedad entre sí, se detallan a continuación.

- **Proyecto FCH2RAIL**

Por importe económico y objetivos, es uno de los proyectos más relevantes en Europa, ya que plantea el diseño y fabricación de un prototipo de tren propulsado por una fuente de alimentación híbrida (electricidad e hidrógeno) y las pruebas para su validación y homologación. El objetivo es lograr un producto evolucionado de cero emisiones con un rendimiento operativo que sea competitivo con los trenes propulsados por motores diésel, tanto en vehículos de nuevo diseño como en rehabilitaciones. Los resultados generarán nuevos conocimientos sobre la

▸ El proyecto europeo FCH2RAIL se desarrollará sobre la base de un tren Civia 463 de Renfe. RENFE

HIDROGENERAS, LA INFRAESTRUCTURA DE REPOSTAJE

Pioneras. Como ocurrió con el automóvil propulsado por hidrógeno, la aparición del tren de hidrógeno requerirá crear una infraestructura de recarga que hoy es inexistente en el sector ferroviario. Durante sus ensayos en Alemania, los Coradia iLint se recargaron con hidrógeno transportado en camiones, pero era una solución provisional. Ante la entrada en servicio de nuevas unidades en 2022, los dos operadores alemanes que las han contratado ultiman en Bremervörde (Baja Sajonia) y Frankfurt (Hessen) la construcción de las dos primeras hidrogeneras ferroviarias del mundo, infraestructura fija que inyectará a presión el hidrógeno en estado gaseoso en los tanques del tren.

Infraestructura nacional. La Hoja de Ruta del Hidrógeno establece la creación de una infraestructura nacional ferroviaria de repostaje de hidrógeno para dar servicio a los futuros trenes, a financiar mediante el mecanismo comunitario CEF y los futuros planes MOVES. Dentro de los proyectos de I+D+i sobre pila de combustible, Adif analiza la implantación de las hidrogeneras y sus implicaciones sobre la infraestructura ferroviaria, incluso la posibilidad de su uso también para vehículos ligeros y pesados. Las instalaciones de repostaje, de elevado coste, deben ser "fiables, asequibles y generalizadas".

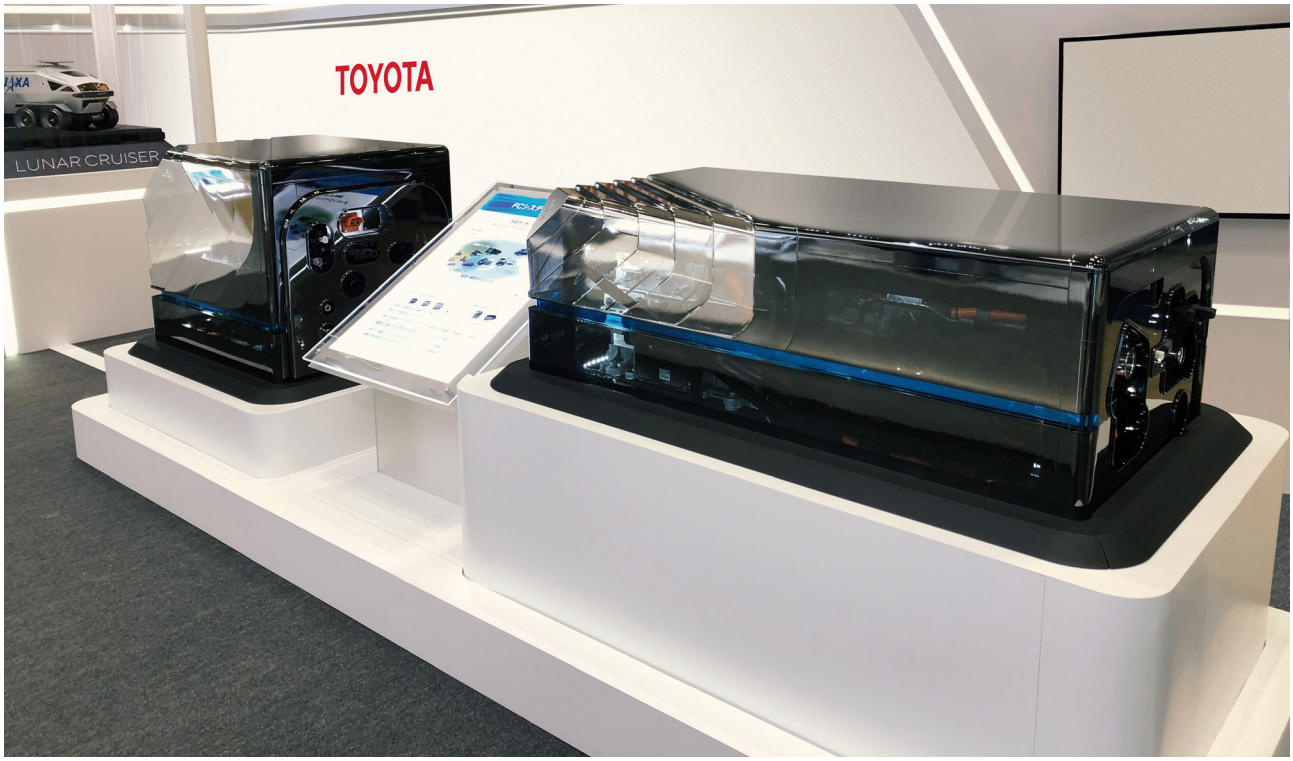
Componentes. La hidrogenera tiene tres elementos básicos: compresor/es (comprime el hidrógeno a presiones elevadas hasta la presión necesaria para realizar la operación de recarga), cascada de almacenamiento (sistema de tanque y bombonas que almacena el hidrógeno a distintas presiones) y dispensador (introduce el hidrógeno al tren). También puede necesitar un enfriador para recargar el gas a mayor velocidad y que es prácticamente imprescindible cuando la presión de los vehículos es superior a 350 bar.

Fabricación. La producción del hidrógeno puede realizarse en el ámbito de consumo (si existe una fuente de energía eléctrica cercana –preferiblemente renovable–, lo que requerirá de un sistema de electrólisis) o fuera del ámbito de consumo (necesitará ser transportado con camiones hasta la hidrogenera). Los costes de transporte del hidrógeno son muy importantes, por lo que la producción debería situarse en un entorno cercano al consumo.

tecnología del hidrógeno, aplicables a otras iniciativas en marcha y que servirán para el desarrollo del futuro tren europeo con tracción de hidrógeno.

Con una duración prevista de cuatro años (enero de 2021-diciembre de 2024), el proyecto se desarrolla en el marco de una convocatoria de FCH JU, agencia europea para el fomento del hidrógeno y la pila de combustible, y su presupuesto, que supera los 14 M€, tendrá una financiación del 70% del programa Horizon 2020. Los trabajos los desarrolla un consorcio de empresas y entidades públicas de cuatro países (Renfe, Adif, CAF y el Centro Nacional de Hidrógeno CNH2, de España; Toyota Motor Europe, de Bélgica; DLY y Faiveley Stemmann Technik, de Alemania; e IP, de Portugal). El consorcio está liderado por CAF, Renfe suministrará el material rodante y Adif prestará su infraestructura para las pruebas, mientras que la tecnología de pila de combustible la aportará Toyota.

Los trabajos tomarán como base un tren Civia 463 de Cercanías de Renfe, de tres coches, en el que se instalará un sistema de propulsión bi-modo híbrido (eléctrico-hidrógeno). Este sistema deberá ser capaz de alternar la alimentación eléctrica procedente de la catenaria con un nuevo sistema de generación eléctrica a bordo a partir de la energía generada por la pila de hidrógeno y las baterías, apoyado en un sistema de gestión de la energía que aprovechará el calor residual generado para su uso en la climatización, minimizando así el consumo de energía y de potencia. Este nuevo concepto de tren, que será uno de los primeros demostradores ferroviarios de vehículo bi-modo con pila de hidrógeno, podrá circular en modo eléctrico en tramos electrificados



▸ Pila de combustible modular para diferentes usos. Se testará para uso ferroviario en el proyecto FCH2RAIL. TOYOTA

y en modo híbrido en tramos sin catenaria. Es, por tanto, una evolución más avanzada del modelo probado en Alemania, diseñado exclusivamente para líneas sin electrificar.

El prototipo será sometido a pruebas de laboratorio y vía para validar los componentes implantados, su rendimiento y la funcionalidad de la solución, lo que arrojará conclusiones sobre el comportamiento del tren en condiciones reales de explotación, de cara a evaluar el potencial de esta tecnología híbrida para servicios comerciales. Las pruebas dinámicas de validación se realizarán en la línea Zaragoza-Canfranc (entre Zaragoza y Tardienta con alimentación de catenaria, entre Tardienta y Huesca con baterías y de Huesca a Canfranc con hidrógeno), en Portugal (entre Vigo y Valença do Minho) y en alguna otra línea por determinar. Adif y el CNH2 también ensayarán la viabilidad de una estación de repostaje de hidrógeno, infraestructura clave para la implantación de la nueva tecnología, así como el empleo de este combustible en la alimentación eléctrica de edificios técnicos.

El proyecto tiene carácter estratégico para Europa porque sentará las bases de un nuevo marco regulatorio, hoy inexistente, para el funcionamiento de la tracción de hidrógeno. El consorcio también hará propuestas a las autoridades competentes para la homologación y puesta en el mercado del vehículo en el territorio de la UE. Para España será importante, además, porque propone un estudio para identificar las líneas donde la implantación de esta tecnología sea más viable.

• Proyecto H2TR

El segundo proyecto, complementario del anterior, se desarrolla en el ámbito del grupo de expertos de energía de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC), la principal asociación mundial para la cooperación ferroviaria a nivel internacional, y reúne a algunos de los principales administradores ferroviarios europeos, como Adif, SNCF (Francia) y RFI (Italia). Este grupo será el encargado de llevar a cabo un análisis técnico para estandarizar el empleo del hidrógeno en el ferrocarril, hasta ahora carente de procedimientos y especificaciones técnicas para su uso, por lo que sus conclusiones serán básicas para el posterior despliegue de esta tecnología. La duración del proyecto será de dos años (enero de 2021-enero de 2023) y su financiación corre por cuenta de los participantes.

El objetivo final es la generación de un documento normativo de ámbito europeo auspiciado por la UIC que regularice el empleo del hidrógeno en todo el sistema ferroviario (material rodante e infraestructura). Durante el estudio está prevista la identificación de las posibles aplicaciones del hidrógeno en la infraestructura ferroviaria.