

Innovación en el ferrocarril: desde la locomotora de vapor hasta el hyperloop

El ferrocarril es uno de los inventos más revolucionarios de la historia, que ha transformado la forma de viajar, transportar mercancías y comunicarse entre distintas regiones y países.



Tren Maglev en la estación Longyang Road de Shanghái. Autor: Hermann Luyken, Wikimedia Commons.

Marita Morcillo

Desde que el ingeniero británico Richard Trevithick inventara la primera locomotora de vapor en 1801, el ferrocarril ha evolucionado de manera espectacular, pasando por diferentes etapas y adaptándose a los avances tecnológicos y a las necesidades sociales.

La tecnología de Trevithick marcó un hito importante en el camino hacia la creación de trenes impulsados por vapor. Años más tarde fue empleada por George Stephenson para construir una locomotora de vapor, bautizada como Rocket, capaz de arrastrar ocho vagones cargados con 30 toneladas de carbón a 7 km/h.

La locomotora de Stephenson fue la base para crear la primera línea ferroviaria interurbana de pasajeros, construida entre

las ciudades industrializadas de Manchester y Liverpool en 1830. La velocidad media de este tren era de entre 24 y 32 km/h y tardaba una hora y media en recorrer los 50 km que había entre ambas urbes. Aunque podía alcanzar una velocidad máxima de 48 km/h, algo nunca visto hasta el momento.

La idea del tren pronto se expandió por todo el mundo, convirtiéndose en símbolo de la era moderna. A medida que crecía la red ferroviaria, se desarrollaban nuevos avances tecnológicos y los trenes mejoraban sus prestaciones, por no hablar de los grandes proyectos de ingeniería de puentes, túneles y viaductos.

A lo largo del siglo XIX y XX, el ferrocarril experimentó numerosas mejoras, como el uso de hierro y acero para las vías y los vagones, la introducción de los

frenos neumáticos, la electrificación de las líneas, la creación de redes ferroviarias nacionales e internacionales y la aparición de nuevos tipos de trenes, como los de alta velocidad, los subterráneos o los maglev.

En la actualidad, el ferrocarril sigue siendo un medio de transporte esencial, que ofrece ventajas como la rapidez, la seguridad, la comodidad, la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental. El ferrocarril también es un elemento clave para el turismo, la cultura y la educación, ya que permite conocer lugares increíbles y aprender sobre la historia y la diversidad del mundo. El ferrocarril es, sin duda, un testimonio de la gran capacidad humana para innovar y superar los desafíos. Veamos algunos ejemplos de los trenes más innovadores.



Los Siemens Velaro son conocidos en España porque forman parte de la red de Alta Velocidad.

Los trenes más modernos

Siemens Velaro

El Siemens Velaro es una familia de trenes de alta velocidad que destaca por su diseño aerodinámico y su avanzado sistema de propulsión eléctrica. Ha sido desarrollado por Siemens Mobility, una división de Siemens AG, junto a otras empresas como ABB, Bombardier Transportation y Alstom.

Los trenes Velaro utilizan motores eléctricos de alta eficiencia que son alimentados por sistemas de catenaria o tercer riel electrificado. Incorporan innovaciones como el sistema de frenado regenerativo, el cual permite recuperar la energía cinética, convirtiéndola en energía eléctrica que puede ser reutilizada o disipada en resistencias. Esto aumenta la eficiencia global del sistema de propulsión eléctrica.

Estos trenes son conocidos por su elevada potencia. Por ejemplo, el Velaro E de Renfe que circula por España tiene una potencia de 8.800 kW, lo que le permite alcanzar altas velocidades y realizar recorridos de larga distancia en un tiempo relativamente corto. Es el modelo más veloz de la familia Velaro.

Una tecnología esencial en los Velaro es el Control Automático de Tren (CBTC). Se trata de un sistema avanzado de control y señalización ferroviaria, que utiliza comunicaciones inalámbricas y tecnología informática para supervisar y controlar la operación del tren de manera automática y segura.

La ingeniería ferroviaria en los trenes Siemens Velaro es un aspecto funda-

mental para garantizar su operación segura y eficiente a altas velocidades. Estos trenes disponen también de sensores y sistemas de diagnóstico que monitorean constantemente el estado de los componentes del tren, permitiendo un mantenimiento predictivo eficiente.

Maglev

Maglev, abreviatura de magnetic levitation, es conocido como el tren eléctrico comercial más rápido del mundo. Se trata de un sistema de transporte que utiliza levitación magnética para mover los trenes sin fricción. La tecnología consiste en utilizar imanes superconductores para

hacer levitar los vagones. Los imanes superconductores son electroimanes que se enfrían a temperaturas extremas durante su uso, generando campos magnéticos hasta 10 veces más fuertes que los electroimanes comunes, suficientes para suspender e impulsar un tren.

Al no haber fricción, estos trenes pueden alcanzar velocidades de vértigo. El récord está en 581 km/h en una prueba realizada en Japón en 2003. Actualmente circula una línea comercial en Shanghái que supera los 400 km/h. Y para 2027 está proyectada otra línea comercial que unirá las ciudades japonesas de Tokio y Nagoya, que se espera que circule a 500 kilómetros por hora.

El tren Maglev Shanghái, que hasta el momento es el tren de levitación magnética más rápido del mundo, conecta el aeropuerto de Pudong de Shanghái con la estación de Longyang Road y recorre 30 kilómetros en tan sólo siete minutos y medio. Esta línea es operada por el Shanghai Maglev Transportation Development Co., Ltd., una empresa conjunta entre el Gobierno de Shanghái y la empresa alemana Transrapid International. En su diseño y construcción ha intervenido la empresa estatal China Railway Rolling Stock Corporation (CRRC).

Fuxing Hao CR400 AF/BF

Y sin salir de China, llega el Fuxing Hao CR400 AF/BF, uno de los trenes comerciales más veloces, van-



TVG Duplex V150, del operador francés SNCF, tiene capacidad para acoger a más de 1.200 pasajeros.

guardistas y eficientes del mundo. Como el Maglev, también es fruto de combinar la ingeniería alemana con la china. Este tren incorpora tecnología punta en áreas como aerodinámica, sistemas de control, seguridad ferroviaria y eficiencia energética. Cuentan, además, con avanzados sistemas de frenado, control de velocidad y monitoreo de seguridad.

La familia de trenes Fuxing destaca por su suspensión neumática de alta velocidad, lo que le permite adaptarse a las distintas condiciones de la pista. Este sistema es fundamental para garantizar un viaje suave incluso cuando alcanza su velocidad máxima, 350 km/h.

Tren de alta velocidad TGV Duplex V 150

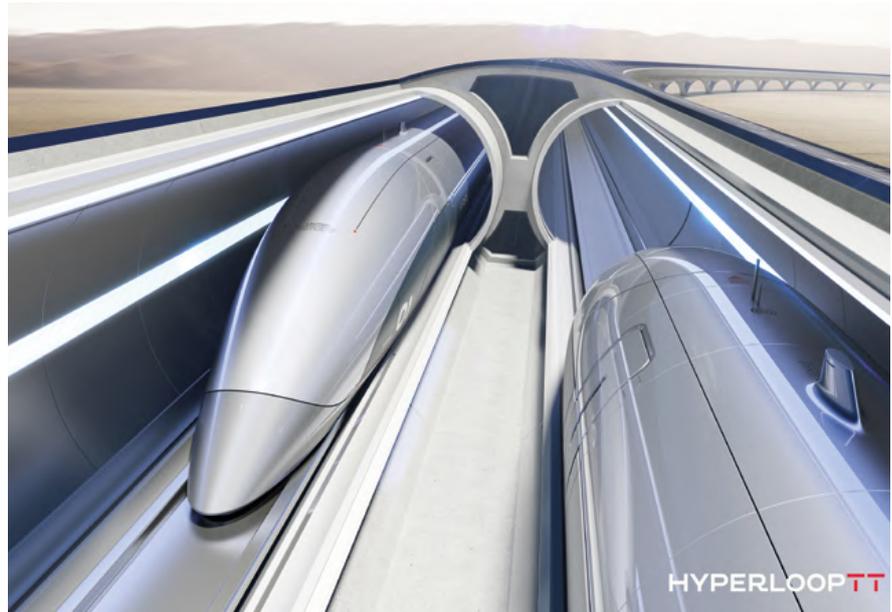
El TGV Duplex V150, del operador francés SNCF, es conocido por haber batido un record de velocidad en 2007, cuando alcanzó una velocidad de 574 km/h entre París y Estrasburgo. Su diseño de doble piso permite una mayor capacidad de pasajeros. Los trenes TGV, incluido el Duplex V150, incorporan tecnología avanzada para garantizar un rendimiento confiable y seguro a altas velocidades. Esto incluye sistemas de control y seguridad ferroviaria de última generación.

Talgo 350 SRO

El tren de alta velocidad Talgo 350 SRO es operado en España por la compañía Talgo y, con sus 330 km/h, es uno de los trenes más rápidos de España y de Europa. Utiliza tecnología de rodadura desplazable, es decir, sus ruedas pueden ajustarse para adaptarse a diferentes anchos de vía, permitiendo una mayor flexibilidad en las rutas ferroviarias. Incorpora sistemas de propulsión eléctrica, lo que le permite alcanzar altas velocidades de manera eficiente y sostenible.

HarmonyCRH380

Regresamos a China con el HarmonyCRH380, que puede alcanzar velocidades máximas de 380 km/h. Su avanzado diseño aerodinámico reduce la resistencia al aire y mejora su eficiencia energética. También utiliza tecnología de propulsión eléctrica, lo que le permite mantener veloci-



El sistema hyperloop consiste en una red de tubos, que conectan centros de movilidad en todo el mundo, con cápsulas que viajan a velocidades ultra altas en el vacío. Crédito: Hyperloop Transportation Technologies (HTT).

dades elevadas de manera eficiente. Utilizan energía eléctrica para operar, lo que contribuye a la reducción de emisiones y al uso de energía más limpia. Opera en varias líneas de alta velocidad, conectando ciudades como Pekín, Shanghái y Guangzhou.

EI N700S

Conocido como tren bala, el N700S es el modelo de la sexta generación de la serie N700 y el más avanzado. No en vano lleva en su nombre la 'S' de supremo. Este tren está operado por la empresa JR Central (Central Japan Railway Company) y cubre la línea Tokaido Shinkansen entre Tokio y Shin-Osaka. Además de por su forma aerodinámica y su alta tecnología, el N700S destaca por su longitud y su alta capacidad. En sus 16 coches pueden viajar 1.323 pasajeros que disfrutan de una placentera experiencia de viaje, gracias a los asientos ergonómicos y una mayor amplitud en la distribución de los asientos.

Los N700 tienen una potencia total de 17.080 kW y está diseñado para alcanzar una velocidad máxima de 360 kmh, aunque su velocidad operativa está en 300 kmh.

En su diseño y construcción, además de JR Central, participaron otras empresas como Kawasaki Heavy Industries, Hitachi y Nippon Sharyo, entre otras. Fruto de esta colaboración surgieron las innovaciones que

incorpora el N700S, como el sistema de frenado regenerativo o una avanzada tecnología de seguridad y control que garantiza un viaje seguro y eficiente.

Eurostar

Los trenes Eurostar conectan la ciudad de Londres con París, Bruselas y Ámsterdam, haciendo parte de su recorrido por el canal de La Mancha. El operador ferroviario es Eurostar International Limited, que en 2022 se fusionó con la compañía Thalys, unión que ha fortalecido la red europea de líneas de alta velocidad y ha mejorado la conectividad entre ciudades importantes. Eurostar circula a 300 km/h salvo en el Canal, donde su velocidad se reduce a 140 km/h. Para una mayor seguridad, estos trenes utilizan un avanzado sistema de diagnóstico.

InterCityExpress

Sin salir de Europa nos encontramos con el InterCityExpress (ICE), una serie de trenes eléctricos de alta velocidad que circulan por Alemania, Austria, Suiza, Francia, Bélgica, Países Bajos y Dinamarca. Los modelos más avanzados como el ICE3 y el ICE4 pueden alcanzar una velocidad de 330 km/h. Para el desarrollo de los ICE, el operador ferroviario Deutsche Bahn AG ha colaborado con los fabricantes Siemens y Bombardier.

Los trenes del futuro

Alfa-X

El Alfa-X es un prototipo de tren de alta velocidad desarrollado por la empresa japonesa Japan Railway Group, que podría superar los 400 km/h. Su diseño aerodinámico reduce la resistencia al viento y aumenta la eficiencia energética. Incorpora tecnologías avanzadas en términos de sistemas de control, seguridad y eficiencia energética.

Hyperloop

Hyperloop es un transporte terrestre de alta velocidad que utiliza cápsulas que viajan a través de tubos de vacío. El entorno de baja presión de los tubos de vacío reduce notablemente la resistencia aerodinámica de las cápsulas, lo que garantiza un funcionamiento energéticamente eficiente. Los pasajeros pueden disfrutar de un viaje cómodo y silencioso gracias a los sistemas de levitación y propulsión magnética. Con todos estos avances, el Hyperloop podría alcanzar la vertiginosa velocidad de 1.200 km/h, lo que supondría viajar de Madrid a Barcelona en tan solo 35 minutos.

Este sistema ha sido ideado por Elon Musk, CEO de Tesla y Space X, bajo el concepto de hardware libre, lo que ha abierto la puerta para que numerosas empresas en todo el mundo hayan podido aportar sus ideas y tecnologías a través de proyectos interdisciplinarios. Entre las empresas participantes figuran las españolas Zeleros y Artificial, antigua Carbures.

Zeleros, compañía tecnológica fundada en 2016 por un equipo de ingenieros de la Universidad Politécnica de Valencia, lidera el desarrollo del Hyperloop en Europa y cuenta con el apoyo de socios como Altran, Red Eléctrica, Angels Capital o Adif. Su propuesta se basa en integrar la propulsión y la levitación en el propio vehículo, reduciendo los costes y el consumo energético de la infraestructura.

Española es también Carbures, empresa especializada en la fabricación de estructuras de fibra de carbono para los sectores aeroespacial, automotriz e industrial. Carbures, ahora Airtificial, se encarga de construir las cápsulas del Hyperloop en sus instalaciones de El Puerto de

Santa María (Cádiz), utilizando materiales compuestos ligeros y resistentes. En 2018, Airtificial alcanzó un nuevo contrato con la estadounidense Hyperloop TT, para construir cinco kilómetros de tubo dotado con sensores capaces de detectar cualquier anomalía en el conducto.

Trenes autónomos

Los trenes autónomos son ya una realidad. Se trata de vehículos que pueden operar sin intervención humana gracias a tecnologías como la inteligencia artificial, el CBTC (control de trenes basado en comunicaciones), el 5G, sensores o sistemas de posicionamiento global (GPS). La combinación de estos avances permite que los trenes puedan tomar decisiones de forma autónoma como frenar ante una situación de emergencia o mantener distancias de seguridad respecto a otros vehículos que circulan por la misma vía. Pueden también detectar obstáculos o bien adaptar la velocidad al entorno.

Los trenes autónomos se comunican entre sí y con los centros de control a través de la comunicación inalámbrica. Esta tecnología permite que el tren genere e intercambie datos sobre su funcionamiento, el consumo de energía, su ubicación o el estado técnico. De esta manera se mejora la eficiencia del vehículo y se obtiene una mayor fluidez en la operación de la red ferroviaria.

Los beneficios de los trenes autónomos son múltiples. Por un lado, consumen menos energía y son más sostenibles, por otro, aumentan la capacidad y la frecuencia de los convoyes, lo que mejora el servicio prestado a los pasajeros y el transporte de mercancías. Además, incrementan la seguridad y la fiabilidad del tránsito ferroviario.

Ya hay algunos trenes autónomos que circulan en el mundo, aunque la mayoría son de prueba o de uso limitado. El primero de ellos comenzó a funcionar en Australia en 2017 y se dedica al transporte de mineral de hierro desde las minas hasta los puertos. Y en enero de 2020, China puso en marcha el primer tren bala autónomo, capaz de alcanzar una velocidad máxima de 350 km/h.

En Europa, el primer tren autónomo se estrenó en 2021. Se trata del

S-Bahn, que circula automáticamente a lo largo de 23 kilómetros entre las estaciones Berliner Tor y Bergedorf/Aumühle.

Trenes de hidrógeno

Los trenes propulsados por hidrógeno prometen revolucionar el transporte ferroviario y contribuir a la transición ecológica, ya que permitirán descarbonizar aquellas líneas ferroviarias que aún no están electrificadas. De hecho, la Unión Europea quiere que el 20% de los trenes que hoy circulan con diésel lo hagan con hidrógeno en 2030.

El hidrógeno es un vector energético que se puede obtener a partir de fuentes renovables mediante un proceso llamado electrólisis. Al almacenarse en depósitos y pasar por una pila de combustible, el hidrógeno se combina con el oxígeno del aire y genera electricidad y agua, sin emitir ningún otro residuo. De esta forma, se puede alimentar un motor eléctrico que mueve el tren, sin necesidad de catenarias ni cables.

Uno de los países que más está apostando por el hidrógeno es España. Uno de los proyectos más avanzados es el Vittal One, fruto de la colaboración entre Renfe y Repsol. Se trata de un tren híbrido que utiliza electricidad e hidrógeno renovable. Este tren, diseñado para las líneas de Cercanías y Media Distancia, podrá circular a una velocidad máxima de 220 km/h en modo eléctrico y de 160 km/h en modo hidrógeno. La pila de hidrógeno consumirá tan solo 0,25 kg/km y dará al tren una autonomía de 800 km sin electrificación. Está previsto que su puesta en marcha comience a finales de este mismo año 2023.

Desafíos del ferrocarril

Como hemos visto, desde sus orígenes hasta nuestros días, el ferrocarril ha demostrado su capacidad para adaptarse a los cambios y a los retos del progreso y la ingeniería tiene un papel clave en este proceso de adaptación. Esta disciplina podrá aportar soluciones a los grandes retos que el ferrocarril tiene por delante, como la interoperabilidad entre redes ferroviarias y operadores, la innovación en infraestructuras, la digitalización o la sostenibilidad. Para superarlos, el ferrocarril deberá seguir apostando por la investigación, el desarrollo y la innovación.