

ERTMS: despliegue, innovación y futuro

ERTMS: Deployment, Innovation and Future

Silvia Domínguez Fernández^{1*}

Resumen

El sistema ERTMS es el elemento esencial en la modernización interoperable de los ferrocarriles dadas sus características técnicas y de despliegue. Además, ERTMS será el sistema en el que se basarán los siguientes pasos de la Comisión Europea y EU-Rail para ampliar el alcance como interoperables de otros sistemas de control mando y señalización.

Palabras clave: ERTMS, interoperabilidad, sistemas de control mando y señalización, armonización.

Abstract

The ERTMS system is the essential element in the interoperable modernization of railways given its technical and deployment characteristics. In addition, ERTMS is the system on which the European Commission and EU-Rail will base their next steps towards extending the scope as interoperable of other control command and signalling systems.

Keywords: ERTMS, interoperability, control command and signalling systems, harmonisation.

1. LA SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA COMO COLUMNA VERTEBRAL DE LA MODERNIZACIÓN INTEROPERABLE DEL FERROCARRIL

Los sistemas de control mando y señalización se componen de todos aquellos equipos a bordo del tren y en la infraestructura necesarios para garantizar la operación segura de los vehículos que circulan por la red. Son, por tanto, la clave para el funcionamiento de un servicio ferroviario seguro, eficiente, interoperable, robusto y fiable en Europa.

Históricamente, la responsabilidad de seguir las señales recaía sobre el maquinista, pero con el incremento de las velocidades en el ferrocarril por encima de los 160 km/h, la señalización lateral no es suficiente y nace la necesidad de la señalización en cabina (figura 1). Desde ese momento, los sistemas de señalización se han convertido en un punto clave de la modernización del ferrocarril hacia el despliegue de sistemas digitales automáticos que monitorizan el movimiento del tren, llegando incluso a una conducción automática.

En los años 70 y 80 del siglo pasado, estos sistemas de control mando y señalización se desarrollaron de forma independiente en los distintos países y siguen siendo sustancialmente diferentes en cada red ferroviaria nacional. Esto constituye una barrera importante para la consecución de la red ferroviaria europea única. Por ello, en los años 90, la Comisión Europea lanzó las especificaciones y despliegue del sistema de señalización Europeo ERTMS. El sistema ERTMS en Europa es actualmente un importante programa industrial para armonizar el control automático de trenes y el sistema de comunicación, y respaldar la

interoperabilidad en todo el sistema ferroviario en Europa. El despliegue de ERTMS constituye la columna vertebral de un sistema ferroviario conectado, único y digital.

Como hemos dicho, el sistema ERTMS constituye la columna vertebral de la modernización del ferrocarril y como tal permite soportar la nueva definición de los sistemas de control mando y señalización aumentando el alcance técnico de estos sistemas que se consideran como interoperables.

De esta forma, se busca maximizar que el futuro del ferrocarril sea conectado pero también buscando resolver las principales necesidades del sector que se centran en conseguir un ferrocarril sostenible de altas prestaciones que favorece la innovación armonizada, su mantenimiento y un despliegue eficiente en cuanto a tiempo y coste.

En este artículo se describe esta ampliación en el alcance de la componente interoperable en los sistemas de control mando y señalización. Este artículo también describe en sus primeras secciones el estado actual de despliegue del sistema ERTMS y las características del sistema ERTMS que permiten que este sistema sea la



Figura 1. Ejemplo de señalización en cabina.

* Mail: silvia.dominguez@ineco.com

¹ Ingeniera de telecomunicaciones. INECO.

columna vertebral para estos desarrollos tecnológicos, teniendo en cuenta las lecciones aprendidas de su despliegue desde sus inicios.

Ineco ha estado siempre presente en los proyectos y grupos de trabajo europeos que definen el sistema ERTMS, trabajando en colaboración con la industria, los usuarios, los organismos legisladores y las agencias de seguridad. Actualmente lideramos la gestión de la implementación del ERTMS en Europa, estando presentes en los grupos de trabajo encargados de definir el futuro del control mando y señalización en Europa. Nuestra compañía basa la gestión de los distintos proyectos ERTMS en el profundo conocimiento técnico del sistema y en la amplia experiencia adquirida en grandes proyectos

1.1. ¿Qué es el ERTMS?

ERTMS es el estándar de señalización impulsado por la Comisión Europea. Este estándar define el sistema automático de protección de los trenes mediante el intercambio de información entre los sistemas ERTMS instalados en el material rodante y los instalados en la infraestructura (figura 2).

La señalización en cabina y la supervisión continua de la velocidad son las bases del sistema ERTMS, que puede desplegarse en distintos niveles de aplicación. Los principales niveles del sistema actualmente desplegado se diferencian en la transmisión puntual de información entre la vía y el tren para nivel 1 ERTMS, frente a la transmisión continua y bidireccional de esta información en nivel 2 ERTMS.

La implantación del sistema ERTMS permite una serie de mejoras en la explotación ferroviaria, como son la **interoperabilidad** de circulación de diferentes tipos de tren en

distintas infraestructuras, mejora de los niveles de **seguridad** y el impacto en la **capacidad** de circulación en las líneas ferroviarias.

La capacidad de una línea ferroviaria se define como el número de trenes de unas características establecidas que pueden circular por dicha línea dentro de un periodo de tiempo determinado.

La Comisión promueve el despliegue en toda la red europea del sistema ERTMS. Este despliegue se deberá cumplir en todos los países de la Unión, en los plazos marcados por la Comisión dentro del Plan Europeo de Despliegue ERTMS.

Además, queda demostrado el interés del ERTMS dentro de los programas de digitalización ferroviaria por su despliegue en los procesos de modernización de numerosas redes ferroviarias a nivel internacional. Los estudios técnicos ERTMS son la base para el despliegue del sistema de una forma coherente y exitosa.

2. DESPLIEGUE DEL SISTEMA ERTMS

En los Estados miembros de la Unión Europea existen más de veinte sistemas de señalización y control ferroviario nacionales diferentes, lo que la Comisión denomina “sistemas de clase B”. Para el transporte ferroviario de larga distancia, esto significa que cuando un tren cruza de un país a otro puede tener que cambiar de locomotora, de maquinista o incluso la composición entera.

Con el objetivo de revertir esta situación, en 1989 nació el ERTMS (*European Rail Traffic Management System*), el Sistema Europeo de Gestión de Tráfico Ferroviario, y la Comisión Europea apoyó su implantación como sistema armonizado. Este sistema armonizado es la solución común que permite a los trenes operar con el mismo “lenguaje” ferroviario en cualquier red (figura 3).

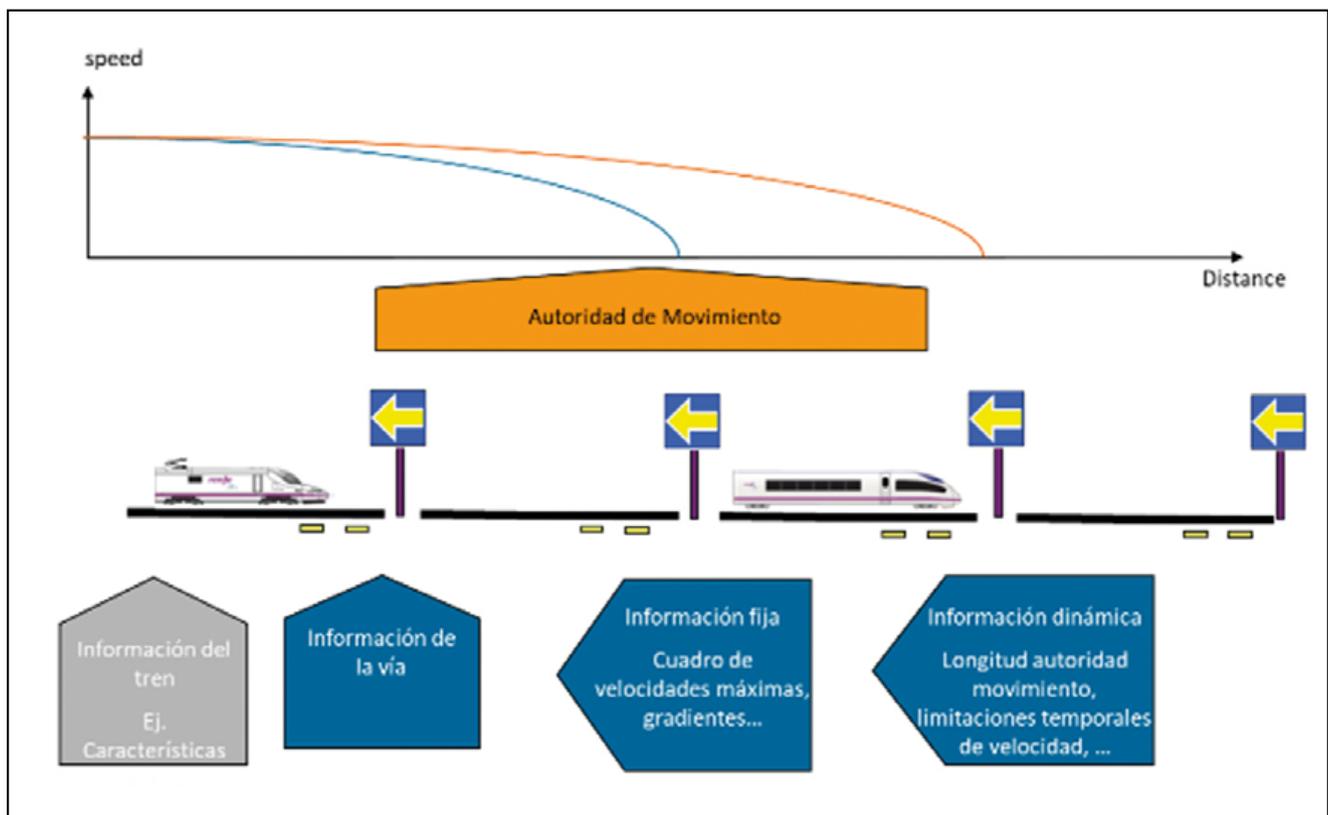


Figura 2. Intercambio de información entre la vía y el tren.

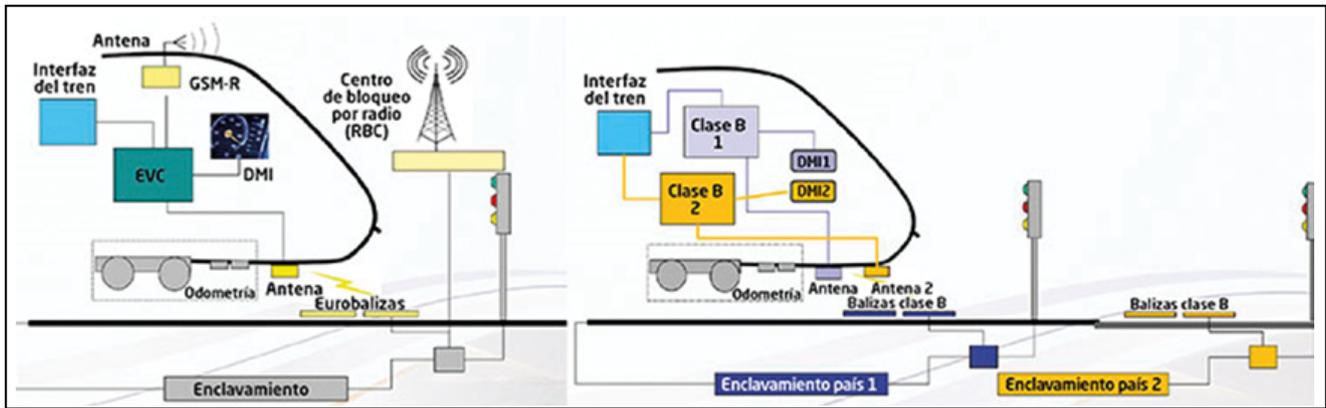


Figura 3. Comparativa de la arquitectura del ERTMS completo y los sistemas de clase B.

La Comisión Europea, apoyada por estudios específicos que contemplan los aspectos técnicos y económicos del sistema, concluyen que el ERTMS es la clave para alcanzar la meta de un “espacio ferroviario único europeo” similar al “cielo único” del transporte aéreo. Pero no basta sólo con adaptar la infraestructura, también han de hacerlo las flotas para que el sistema sea eficaz.

La implantación del sistema ERTMS es muy considerable. Destacan los casos de las redes de alta velocidad italianas y españolas, supervisadas y protegidas por ERTMS casi en su totalidad; del mismo modo están equipadas extensas partes en las redes holandesa, checa y belga y, fuera de la UE, la red suiza. Otros proyectos que presentan auténticos hitos en el despliegue del ERTMS son: el túnel alpino de San Gotardo, en Suiza, siendo el más largo de Europa (57 km) y con ERTMS nivel 2; conexión al puerto de Róterdam, el más grande de Europa; a nivel local, el sistema también está en servicio desde hace ya algunos años en líneas de cercanías, como las de Madrid.

Además, en base a los estudios realizados se estima que el grado de despliegue del sistema ERTMS en la infraestructura se acelere en los próximos años. Esto va a tener un impacto en los operadores ferroviarios para el equipamiento de sus flotas. Esto es, la implantación de ERTMS en las flotas europeas les permitiría acceder a un mayor número de rutas. Además, permitirá simplificar la instalación en cabina pasando de varios sistemas a un único sistema interoperable. [1]. En este sentido, actualmente las principales conclusiones en cuanto al despliegue de ERTMS son:

- Desde la perspectiva de la implementación de ERTMS, se confirma que en los próximos años se logrará operar de forma significativa con ERTMS. Por ejemplo en relación al tráfico de mercancías, en la red asociada al corredor que une el puerto de Róterdam con el norte de Italia, el número de kilómetros no equipados con ERTMS disminuirá del 70 % en 2020 a solo el 15 % en 2025. En general, en 2040 las redes de Bélgica, Chequia, Estonia, Finlandia, Alemania, Italia, Luxemburgo, Noruega, Suecia y Suiza estarán totalmente equipadas con ERTMS y en redes como la danesa, griega, búlgara o eslovena, trenes equipados solo con ERTMS podrán acceder a la red completa (figura 4).
- Desde la perspectiva de los administradores de infraestructuras, la priorización de algunas seccio-



Figura 4. Mapa despliegue ERTMS en Europa 2040.

nes concretas tendría un impacto muy significativo en la modernización completa de los corredores. A modo de ejemplo, en 2025 una locomotora equipada solo con ERTMS será capaz de recorrer los más de 1.000 km entre el puerto de Rotterdam y el norte de Italia, si el despliegue de ERTMS se acelera en solo 75 km de recorrido.

- Desde la perspectiva de las empresas ferroviarias, se confirma que, en los próximos años, el sistema ERTMS puede reemplazar sistemas de clase B obteniendo así un papel más relevante. Además, para cubrir el tráfico internacional de mercancías, el análisis concluye que todas las locomotoras nuevas deberán estar equipadas con ERTMS, aconsejando que se evalúe también su instalación en la flota existente. Este factor de conectividad es común en todas las redes evaluadas, aunque su magnitud varía de una a otra. La falta de locomotoras equipadas con ERTMS supondría perder en 2030 un alto porcentaje de las rutas internacionales.

3. VENTAJAS DEL ERTMS

La Comisión Europea presenta las siguientes ventajas del sistema ERTMS (https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms/what-are-benefits_en):

Mayor seguridad

La supervisión continua de la velocidad de los trenes hace que el ERTMS esté dentro del grupo de ATP con mayor nivel de seguridad.

Mayor capacidad

ERTMS permite la reducción de la distancia o el tiempo mínimo entre trenes, lo que aumenta la capacidad del tren. El impacto de este beneficio depende de varios aspectos, como las características de la vía y los sistemas de protección de trenes existentes antes de la instalación del ERTMS.

Mayor rendimiento

En las especificaciones se incluyen altos estándares de componentes y subsistemas ERTMS. Gracias a los altos estándares de los componentes ERTMS, en principio es menos probable que se produzcan fallos y aumenta la puntualidad.

Creación de un mercado uniforme para el transporte ferroviario

Los sistemas nacionales o los denominados “Clase B” están limitando la competitividad del transporte ferroviario frente a la carretera en Europa. Una vez desplegado por completo, ERTMS facilitará el desarrollo de servicios ferroviarios transfronterizos.

Reducción potencial de los costes de mantenimiento

La reducción de costes se debe a un menor número de componentes en tierra, en particular con ERTMS nivel 2 (porque las señales luminosas ya no son necesarias) e incluso más con ERTMS nivel 3, que puede funcionar sin la mayoría de los sistemas de detección de trenes en tierra.

Recursos Humanos

La mayoría de las empresas ferroviarias se enfrentan al desafío del envejecimiento del personal y, al mismo tiempo, luchan por encontrar reemplazos. La implementación de ERTMS, incluida la digitalización del enclavamiento y la operación automática de trenes (ATO), ayudará a abordar este problema.

Digitalización

ERTMS, y su próximo subsistema de transmisión de radio *Future Railway Mobile Communication System* (FR-MCS) en particular, es un facilitador de la digitalización en el sistema ferroviario, lo que permite, entre otras cosas, el despliegue de ATO.

Otros beneficios

ERTMS puede hacer que el sector ferroviario sea más competitivo con un mercado de suministro abierto. Además, el uso de un sistema probado y armonizado puede ayudar a reducir los costes de producción.

En concreto, por ejemplo, en relación al impacto del sistema ERTMS en la capacidad ferroviaria, es cierto que existe la idea generalmente aceptada de que los niveles de operación del sistema de señalización ERTMS mejoran la capacidad, es decir, nivel 2 ERTMS permite mayor capacidad que nivel 1 y éste, mayor que una línea con sistema de señalización tradicional como ASFA (sistema nacional clase B desplegado en la red española). Dentro del Plan Nacional de Despliegue ERTMS español, se incluye un análisis del impacto concreto que tiene el sistema ERTMS en cuanto a la capacidad y las prestaciones ferroviarias en los distintos tipos de líneas que componen la red española.

El estudio incluido en el Plan se ha centrado en evaluar:

- La capacidad teórica, que permite cuantificar e identificar si las líneas objeto de este plan podrán asumir toda la demanda de pasajeros en el periodo temporal aplicable al plan sin necesidad de construir líneas adicionales paralelas o derivando ese aumento de demanda a otros medios de transporte.
- Tiempo de recorrido en situación nominal y en situación de líneas de alta demanda, que permite cuantificar cuánto tiempo es necesario invertir en los distintos servicios (tanto de pasajeros como para mercancías).

Con los datos obtenidos, se puede concluir que para líneas del tipo alta velocidad o mixto con infraestructura similar a la de alta velocidad, existe una clara mejora tanto de la capacidad como del tiempo de recorrido con la instalación del sistema ERTMS, tanto nivel 1 como, aún en mayor medida, de nivel 2. Para las líneas de tipo convencional, destaca que el despliegue del sistema ERTMS nivel 1 no mejora tan sustancialmente la capacidad como en líneas de tipo alta velocidad, aunque sí tiene un impacto muy relevante en la regularidad de líneas saturadas mejorando en este caso considerablemente los tiempos de recorrido en hora punta. En líneas de estas características convencionales, destacar que, si es necesario absorber un gran crecimiento de la demanda sin construir líneas en paralelo, se considera conveniente el despliegue del sistema ERTMS nivel 2.

4. EL FUTURO DEL FERROCARRIL CONECTADO A TRAVÉS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL MANDO Y SEÑALIZACIÓN

Si bien, el sistema ERTMS es la columna vertebral de la modernización del ferrocarril, una de las ventajas que tiene es la posibilidad de evolución e innovación con un impacto económico limitado y en el despliegue al tratarse de un sistema digital. La oportunidad de esta siguiente evolución del sistema consiste en incorporar nuevas tecnologías y obtener una visión del sistema que tiene un alcance técnico mayor al que puramente tiene el sistema ERTMS actualmente, esto es, un alcance ampliado en la parte interoperable de los sistemas de control mando y señalización.



Figura 5. Las interfaces de ERTMS entre tren y vía permiten la interoperabilidad.

De esta forma, las iniciativas de innovación de los sistemas de control, mando y señalización europeas se centran actualmente en un mayor número de capas funcionales dentro de la arquitectura global del ferrocarril. En concreto, se espera que el alcance de los sistemas de control mando y señalización se extiendan a capas funcionales como las de señalización tradicional, operación de tráfico, toma de decisiones estratégicas e implementación de regulación, gestión de terminales ferroviarias y sistemas de operación del vehículo. Además, se tendrán en cuenta la necesidad de los interfaces de estas funciones con los sistemas de energía, el material rodante, la gestión TI y física de la infraestructura y la gestión de activos.

Se trata, por tanto, de una oportunidad excelente para definir unos sistemas únicos europeos, con unas interfaces funcionales comunes y unos conceptos operativos que permitan construir el futuro del ferrocarril único en Europa (figura 5).

Las nuevas tecnologías están listas para su uso en el ferrocarril con un enorme potencial para mejorar los servicios de pasajeros y mercancías. La digitalización, junto con la automatización, es la forma más eficaz de aumentar el rendimiento y la capacidad con menos inversiones en nuevas infraestructuras.

No solo están listas las tecnologías, sino que actualmente estamos en un momento único para que se desplieguen estos sistemas interoperables de control mando y señalización de alcance ampliado en paralelo con el despliegue del sistema ERTMS, que como se señaló anteriormente va a acelerarse en los próximos años. Esto es, a medida que las redes y los Estados miembros migran a sistemas clase B a ERTMS, se aprovecha la oportunidad de hacerlo de forma armonizada estableciendo una base común que permitirá evolucionar todos los sistemas de control mando y señalización a sistemas interoperables y eficientes al ritmo de la evolución tecnológica. Será un cambio importante de las

“cajas negras” a los entornos informáticos de “soluciones de software”, dentro de una arquitectura común funcional.

Teniendo en cuenta la naturaleza intrínseca del ferrocarril como un sistema complejo integrado de sistemas, una arquitectura funcional y técnica armonizada de CCS a nivel de sistemas es un requisito previo para dominar la complejidad y garantizar una coherencia duradera. Esto además permitirá una clara separación de las funciones relacionadas y no relacionadas con la seguridad.

Esta construcción del sistema ferroviario europeo moderno, armonizado, robusto y fiable, interoperable es el principal objetivo del pilar del sistema en la futura iniciativa EURail (sucesor de S2R), en consonancia con la Estrategia de Movilidad Sostenible e Inteligente de la Unión Europea [2]. De esta forma se pretende también dar respuesta a las necesidades de los clientes, mantener la seguridad y la protección digital, mejorar la eficiencia y el rendimiento de las operaciones, reducir los costes, apoyar la competitividad de la industria ferroviaria europea y aumentar la velocidad de adopción de las soluciones innovadoras.

4.1. Oportunidades de la interoperabilidad y modularidad ferroviaria

Se define interoperabilidad como la capacidad de un sistema ferroviario para permitir la circulación segura e ininterrumpida de trenes que cumplan las prestaciones requeridas.

Para ello, la Directiva sobre interoperabilidad sostiene que la consecución de la interoperabilidad del sistema ferroviario dentro de la Unión debe llevar a la determinación de un nivel óptimo de armonización técnica y a hacer posible la facilitación, mejora y desarrollo de los servicios de transporte internacional por ferrocarril en la Unión y con terceros países, así como la creación progresiva de un mercado interno de los equipos y los servicios destinados a la construcción, renovación, rehabilitación y explotación del sistema ferroviario de la Unión.

Por tanto, respecto a los sistemas de control mando y señalización destaca su característica de necesidad de interoperabilidad ferroviaria, elemento indispensable para hacer frente a la multiplicidad de sistemas de señalización. Para que la integración e interoperabilidad de los sistemas ferroviarios europeos sea una realidad, será necesario migrar de forma coherente hacia un sistema armonizado de gestión de tráfico y de control de trenes que reemplace a los diferentes sistemas nacionales que operan en cada país.

Este sistema de control mando y señalización integrada, permitirá, por un lado, la circulación sin restricciones de los trenes y, por otro, la creación de un mercado único de componentes ferroviarios europeos. Estas características mejorarán la experiencia del cliente (tanto pasajeros como mercancías) a la vez que reduce complejidad y coste en el despliegue del sistema, su mantenimiento y su futura evoluciones que permitirían incorporar nuevas tecnologías para una mejora continua del ferrocarril.

Por ejemplo, la ampliación del alcance a los futuros sistemas de control mando y señalización respecto al aspecto de interoperabilidad permitirán alcanzar realmente una operación de tráfico que construya un área ferroviaria única europea. Este desarrollo permitirá definir las interfaces

y estructuras de datos que facilitarán el tráfico internacional tanto en situaciones nominales como degradadas. También, está búsqueda de estandarización e interoperabilidad en los sistemas de operación de tráfico, mientras que se incorporan nuevas soluciones tecnológicas (como por ejemplo la aplicación de análisis de datos matemáticos o conceptos de inteligencia artificial) permitirán incrementar las prestaciones del sector ferroviario para el cliente. Una de estas funcionalidades que está marcada como objetivo en los trabajos europeos de desarrollo del ferrocarril futuro incluye la posibilidad de realizar una operación de tráfico en tiempo real, que permita adaptar las mallas y horarios en base a la demanda o a las situaciones de degradación de la red.

Un aspecto crítico dentro de la interoperabilidad ferroviaria será el concepto de modularidad, que es un elemento clave clásico de una arquitectura funcional por capas. Esto es, los sistemas de control mando y señalización se descompondrán de forma armonizada según una arquitectura funcional y lógica única en una serie de módulos con funciones, interfaces y prestaciones estándar. Esto es clave para garantizar la interoperabilidad, la capacidad de integración del sistema y el dominio de la evolución del sistema de control y mando ferroviario.

5. TECNOLOGÍAS INNOVADORAS

La innovación es la mejor respuesta a este reto competitivo para construir el ferrocarril futuro para mejorar la calidad y la fiabilidad del producto desde el primer día, reduciendo los costes del ciclo de vida, combinada con un enfoque de sistema ferroviario. Además, esta modernización tendrá un cambio sustancial para el usuario (tanto pasajero como mercancías) ya que transformará el ferrocarril en un sector competitivo y atractivo con altas prestaciones y capacidad, contribuyendo así a la reducción de la congestión del tráfico y de las emisiones de CO₂.

A continuación, se introducen una serie de soluciones tecnológicas que son actualmente de prioridad para la Comisión Europea y el sector ferroviario en Europa [3]. Cada una de estas soluciones tecnológicas puede ser contemplada de forma independiente a las demás, pero el ferrocarril futuro real debería contemplar la combinación entre ellas que proporcione una digitalización y evolución suficiente para cubrir las necesidades de mejora que presenta en cada red y flotas ferroviarias.

Estas soluciones tecnológicas están principalmente basadas en las necesidades funcionales del sistema, si bien en cada una de ellas está asociado uno o varios facilitadores técnicos que deberán ser desarrollados para la implementación de la solución tecnológica innovadora.

Para un despliegue eficiente, es esencial identificar con claridad qué interfaces son relevantes para la interoperabilidad o modularidad necesarias para mantener los objetivos de despliegue, mantenimiento y evolución. Por ello, en algunos ejemplos, es necesario detallar la tecnología en la que se basa una solución tecnológica, pero en otras ocasiones no. Se dan ejemplos concretos en el siguiente listado de las futuras soluciones innovadoras del ferrocarril.

De entre las principales palancas innovadoras, son especialmente relevantes las siguientes:

Sistema ATO, de las siglas en inglés de Operación Automática del Tren

El objetivo es conseguir que el ATO de a bordo sea capaz de conducir el tren automáticamente, basándose en la información sobre el horario procedente de las vías. Con ello se pretende cumplir los horarios y, en la medida de lo posible, hacerlo de forma eficiente desde el punto de vista energético. El sistema ATO de a bordo tiene una interfaz con el ETCS de a bordo, de manera que toda la información de ATO se muestre en el DMI del ETCS y el ETCS siga protegiendo los movimientos del tren aun en conducción automática.

Las especificaciones de ATO cubrirán progresivamente los siguientes Grados de Automatización (GoA):

- GoA2 - conducción automática aunque el conductor sigue presente en la cabina, para retomar el control del tren cuando sea necesario.
- GoA3 - conducción automática sin conductor, pero con otro personal presente en el tren, para retomar el control del tren cuando sea necesario.
- GoA4 - conducción automática sin personal en el tren.

En todos los grados de automatización, es necesario el desarrollo tecnológico adicional al existente en la actualidad. Por ejemplo, para una implementación eficiente del GoA2, es necesario una arquitectura de datos entre el puesto de mando y los sistemas ATO de infraestructura que permita obtener para cada tren su perfil de operación incluyendo las paradas necesarias tanto en situaciones nominales como en situaciones degradadas de perturbación en la red. También será necesario una arquitectura de datos en el vehículo que permita al sistema ATO embarcado realizar un cálculo de la velocidad para conseguir una conducción que minimice el consumo energético manteniendo el control horario.

Especialmente significativos serán los sistemas de detección de obstáculos que se prevén necesarios para el futuro despliegue de un sistema ATO GoA 4. Es de destacar que si bien existen ya trenes urbanos en los que hay una conducción automática sin maquinista, todos estos trenes se encuentran en entornos totalmente controlados, normalmente túneles. Por tanto, para el despliegue de un sistema ATO GoA 4 en cualquier entorno ferroviario, será necesario el desarrollo tecnológico que permita de forma segura cualquier detección de obstáculos en el camino del tren.

La interoperabilidad técnica y operacional de los distintos grados de automatización es clave para el tráfico internacional de trenes con conducción automática. Optimizar el grado de modularidad necesario de los sistemas ATO es crítico para un despliegue más eficiente del sistema o incluso para simplificar su puesta en marcha ya que, aunque el sistema ATO vaya a ser estandarizado para funcionar siempre junto con ERTMS, su autorización no debe seguir los mismos criterios de seguridad.

Cantón móvil

En la señalización ferroviaria tradicional, un cantón es parte o tramo de vía en la que en condiciones normales

solo puede haber un tren. Están protegidos por señales fijas y sistemas de detección de trenes, que informan al maquinista del estado de ocupación de dicho cantón.

Un cantón móvil es una zona segura alrededor de cada tren definidos en tiempo real por ordenadores. Esto requiere tanto el conocimiento de la ubicación exacta y la velocidad de todos los trenes en un momento dado, como la comunicación continua entre el sistema de señalización central y el sistema de señalización de la cabina del tren.

La longitud de un cantón tradicional es de orden de magnitud genérico, mayor a 6 km para líneas de alta velocidad y menor de 3 km para líneas convencionales. El cantón móvil tiene una longitud igual a la longitud del tren y una distancia de frenado. Esto hace que el cantón móvil permita que los trenes circulen más cerca unos de otros, manteniendo los márgenes de seguridad necesarios, lo que aumenta la capacidad global de la línea.

Además del aumento de capacidad, el cantón móvil permite reducir costes ya que las señales luminosas y los sistemas de detección en vía son sustituidos respectivamente por la señalización en cabina (a través de ETCS) y la localización continua del tren y su integridad que es comunicada a los sistemas centrales de la vía a través de la comunicación digital entre el vehículo y los sistemas en tierra.

Los facilitadores tecnológicos clave para conseguir el despliegue del cantón móvil son aquellos que permiten al tren reportar su integridad a la vía. Esto es, para que el cantón móvil sea seguro, este debe cubrir la longitud total del tren cuando está íntegro, pero también en condiciones degradadas de falta de integridad.

Desde el punto de vista de señalización ferroviaria, es necesario regular y estandarizar la forma de la información en la que el vehículo confirma a la vía de su integridad. También se deben acordar unos criterios de prestaciones y seguridad que tendrá esta información. Sin embargo, cómo esta información es detectada por el vehículo, podría ser totalmente independiente. Por ejemplo, para trenes de pasajeros en composición fija, este parámetro de integridad es inmediato pues el vehículo en composición simple será siempre íntegro. Para trenes de mercancías, conseguir esta información es más compleja y se analizan desde sistemas que usan el posicionamiento por satélite tanto de la cabeza como de la cola del tren hasta sistemas en los que el acoplamiento del tren se realiza de forma automática y existe un acoplamiento tanto mecánico como de datos (*digital automated coupling*).

Comunicaciones del futuro ferrocarril. FRMCS

El sector de telecomunicaciones por su naturaleza tiene un ritmo de evolución tecnológica mucho mayor que los sistemas ferroviarios. Esto por un lado tiene un efecto positivo que permite en telecomunicaciones la evolución e incorporación de nuevas tecnologías y funcionalidades. Por otro lado impone unos requisitos estrictos en cuanto a la obsolescencia de sus componentes. En el sector de las telecomunicaciones, esta migración se gestiona de forma casi transparente al usuario final, principalmente gracias al uso de la arquitectura funcional por capas y la consecución de una mayor independencia tecnológica a través de los principios de capas tipo protocolos OSI.

En el ferrocarril, actualmente se encuentra desplegado la tecnología de comunicaciones GSM-R y los proveedores involucrados han indicado que apoyarán la tecnología GSM-R y los productos GSM-R al menos hasta 2030. Dada la necesidad de largos procesos de migración en el ferrocarril, la Agencia Europea del Ferrocarril y la Comisión Europea lanzaron el proyecto de FRMCS.

Las comunicaciones futuras permitirán ampliar de forma muy significativa la capacidad de las comunicaciones en el ferrocarril, lo que permitirá una evolución del sistema ferroviario que no solo incorpore los sistemas que actualmente precisan de telecomunicaciones como son la comunicación de voz entre el maquinista y el puesto de mando o la transmisión de los datos para el sistema ERTMS, sino nuevas aplicaciones como por ejemplo los datos necesarios para la conducción automática.

En cuanto a tecnología, la conclusión de los trabajos de grupos europeos es la de continuar con el uso de sistemas de radio como se especifica en las hojas de ruta 3GPP para beneficiarse de desarrollos y estándares globales, economías de escala y productos maduros. Por tanto, la solución preferida al comienzo de la introducción de FRMCS en ferrocarril, se basará en una plataforma 5G. Sin embargo, dados los ciclos distintos de obsolescencia de los componentes ferroviarios y de telecomunicaciones, se considera crítico que esta evolución del sistema ferroviario consiga independizar las aplicaciones y componentes que usen este sistema de comunicación con la tecnología implementada por lo que la tendencia es clara a que esta plataforma también admita radio que no sea tecnologías 3GPP.

Para conseguir esta independencia tecnológica, clave en cuanto al nivel de modularidad exigido para esta solución tecnológica, es indispensable conseguir una estandarización e interoperabilidad de los requisitos de arquitectura e interfaces que lo permitan.

Otro factor crítico a tener en cuenta para un despliegue económicamente eficiente es por ejemplo la necesidad de considerar el espectro disponible para estas tecnologías ferroviarias, que impactará directamente en los componentes a instalar tanto en vía como en los vehículos.

GNSS

Existen diversas aplicaciones del satélite para ferrocarril, a destacar la aplicación en el sistema de señalización ERTMS declarada por ERA como 'game changer' del sistema.

Esta aplicación de tecnología satelital como innovación y evolución al sistema ERTMS actual permite perseguir 2 de los objetivos marcados por el sector en los sistemas control mando y señalización ampliados que son:

- La reducción de coste del sistema, puesto que, a través de la tecnología satelital, en algunos puntos de las redes se podría minimizar el uso de componentes de señalización en el suelo como son las balizas convirtiendo estas en balizas virtuales.
- Mejora de las prestaciones, ya que con esta tecnología se mejora la capacidad técnica de proporcionar información de posición y velocidad del tren, siendo los sistemas de odometría un punto débil para el sistema ERTMS.

Para incorporar esta evolución al sistema en los despliegues globales a los que nos referíamos al inicio del artículo, se trabaja en la identificación de las limitaciones que esta tecnología tiene en la aplicación en el entorno ferroviario, debido por ejemplo a efectos globales (efemérides, fallos de reloj satelital, divergencia ionosférica) o efectos locales (como multitrayectoria e interferencias).

Los trabajos actuales se centran también en conseguir una arquitectura funcional y lógica que permita llegar a una modularización y requisitos de interoperabilidad suficientes que construyan en conjunto con las otras soluciones tecnológicas el sistema ferroviario futuro interoperable.

Para ello y al igual que con las otras soluciones tecnológicas, esta también requiere el desarrollo de algún facilitador tecnológico para su incorporación a los sistemas de control mando y señalización. En concreto, se consideran necesarios la construcción y estandarización de un mapa digital, la incorporación de tecnologías de aumentación que mejoren la señal satelital y la construcción de una arquitectura común para localización mejorada a bordo.

6. OTROS RETOS

Algunos de los otros retos que debe afrontar el sistema de control mando y señalización interoperable del ferrocarril del futuro están relacionados con las características de las nuevas tecnologías que se incorporan al mismo y que permitirán aprovechar las oportunidades que ellas presentan.

Los nuevos sistemas que compondrán el control mando y señalización tendrán una componente SW mucho más relevante que los sistemas ferroviarios actuales. Esta característica debe servir para que el mantenimiento y evolución de los sistemas sean mucho más dinámicos y simples, llegando incluso a situaciones en las que estas actuaciones se podrían realizar en remoto, tanto para los sistemas instalados en vía como en los vehículos.

Para conseguir este reto, será necesario tener en cuenta las características de sistema de seguridad que es intrínseca en cualquier sistema de control mando y señalización. Mitigación para esta complejidad es la modularización de los sistemas e incluso su SW en distintos componentes, dependiendo de si tienen impacto en la seguridad o no.

El futuro del transporte y por ejemplo para la optimización de la gestión de los activos pasa en gran medida por impulsar el uso de los datos que se generan en el sector. Para ello, es necesario optimizar la obtención y procesado de esos datos, para obtener información de valor añadido con aplicación directa para los agentes ferroviarios y los usuarios finales.

En el sector ferroviario, al igual que en otros sectores económicos, la captación y procesamientos de datos permiten la optimización de numerosos procesos incluyendo la operación y el mantenimiento, disponiendo de más información que avale la toma de decisiones estratégicas. El sistema de control mando y señalización interoperable es uno de los principales productores y usuarios de estos datos que se generarán en el sistema ferroviario completo.

Al tratarse también de sistemas altamente basados en SW, la definición de pruebas para su validación es un elemento crítico y de alta complejidad. Se trata de un aspecto crítico para el despliegue del sistema desde el punto de vista técnico; por su relevancia, pues es la etapa en la que se validan las prestaciones, capacidad, seguridad e interoperabilidad del sistema, y desde el punto de vista económico; puesto que supone una de las fases en las que tanto gestores de infraestructura como operadores invierten mayor presupuesto.

Existen numerosas campañas de pruebas que se ejecutan a lo largo del ciclo de vida de los sistemas ERTMS, desde su aplicación genérica hasta las pruebas finales de integración de subsistemas. Son estas últimas las que requieren de un mayor esfuerzo por parte de los usuarios finales que son las autoridades ferroviarias, los gestores de infraestructura y los operadores ferroviarios. Explotar el análisis matemático de datos existentes de validaciones previas puede servir para optimizar el diseño de las campañas de pruebas.

Conseguir un sistema realmente interoperable, con un despliegue eficiente que mejore las prestaciones del ferrocarril, será solo posible si se resuelve este reto del mantenimiento y evolución eficiente del SW, así como de conseguir un modelo de datos estandarizado del sector ferroviario que permita obtener estos datos de forma completa y con unas estructuras comunes para su uso por diversas aplicaciones.

7. REFERENCIAS

[1] European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport (2020). *Deployment of ERTMS on core and comprehensive networks: on-board and infrastructure deployment strategies: final report*, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2832/71625>

[2] European Commission, Directorate-General for Transport and Mobility (2022). *Europe's Rail Joint Undertaking. Report on preparation of the System Pillar*.

[3] European Railway Agency (2015). *ERTMS Longer Term Perspective*.