

*Documento de posicionamiento*

**“Innovación en la seguridad  
del sistema ferroviario:  
protección al sistema  
y a la ciudadanía”**

*Diciembre, 2018*



SECRETARÍA TÉCNICA  
PLATAFORMA TECNOLÓGICA FERROVIARIA ESPAÑOLA  
Fundación de los Ferrocarriles Españoles  
C/ Santa Isabel, 44 - 28012 Madrid  
Tel.: (34) 91 151 10 83  
E-mail: fuepu18@ffe.es  
[www.ptferroviaria.es](http://www.ptferroviaria.es)

## I. INTRODUCCIÓN

El Sistema Ferroviario vive una continua y profunda transformación, dependiente de un mercado cada vez más exigente en términos de capacidad, puntualidad, aumento en la calidad del transporte y, lo que es más importante, en términos de seguridad.

La innovación en el campo de la seguridad ferroviaria es esencial para el desarrollo de este sector en Europa. Partiendo del alto nivel conseguido hasta la fecha, el reto sigue siendo la mejora continua en ámbitos como la seguridad operacional, la protección de personas e instalaciones, las amenazas de la ciberseguridad o el terrorismo y vandalismo. La eficacia global y el futuro del transporte por ferrocarril pasa por adquirir más y más conocimientos sobre comportamiento seguro de vehículos, infraestructuras y personas, que permita mitigar o eliminar cualquier origen del riesgo, en especial los derivados de la automatización e introducción de nuevas tecnologías.

Se espera que mediante la investigación y la innovación se pueda contribuir de forma significativa a la mejora de la seguridad del transporte ferroviario, en consonancia con los objetivos fijados por el Libro Blanco del Transporte de la Unión Europea para las próximas décadas, y el documento de Visión ERRAC-RAIL 2050 que establece las necesidades de innovación e investigación del sector, a la vez que colaboramos en el desarrollo de un sistema de transporte sostenible para rutas internacionales, nacionales y regionales.

Los retos de innovación en seguridad ferroviaria que proponemos deben ser capaces de gestionar los riesgos emergentes y las nuevas amenazas que surjan, especialmente los relacionados con la ciberseguridad, el terrorismo o la integración efectiva de los Factores Humanos en el Sistema.

La Plataforma Tecnológica Ferroviaria (PTFE) tiene entre sus objetivos principales crear las herramientas necesarias para contribuir a la mejora de los avances científicos y tecnológicos que permitan la competitividad, la internacionalización y la sostenibilidad del Sector Ferroviario, aplicando las directrices indicadas desde el Ministerio de Economía y Empresa, órgano de tutela de la PTFE. La PTFE propuso la elaboración de este documento de posicionamiento sobre “La innovación en seguridad del sistema ferroviario”, entendiendo que la seguridad, en su conjunto, debe ser una prioridad en el ámbito de la investigación e innovación en el sector ferroviario.

En este contexto se enmarca el presente “Documento de posicionamiento sobre: “Innovación en la seguridad del sistema ferroviario: protección al sistema y a la ciudadanía” documento que pretende recoger el pulso de la innovación en los ámbitos descritos de la seguridad operacional, la integración del factor humano en el SGS, el reto de las infraestructuras seguras, la mitigación de los riesgos en los entornos ferroviarios, la ciberseguridad, los sistemas de ayuda a la toma de

decisiones en emergencias, el Big Data y el uso y desarrollo de vehículos no tripulados.

Documento realizado bajo la coordinación del área de Investigación, Desarrollo e Innovación del Instituto de Investigación en Seguridad y Factores Humanos ESM y con la participación de empresas y universidades, entidades todas de la PTFE, ha sido posible la realización de este documento oportunamente estratégico en el que se recogen, asimismo, una serie de conclusiones para seguir consolidando los elementos diferenciadores y competitivos del ferrocarril respecto al resto de los modos de transporte.

## II. ESTADO DEL ARTE EN ESPAÑA

La creciente demanda de movilidad, tanto de pasajeros como de mercancías, en un contexto de rápida urbanización, digitalización y la liberalización del mercado está determinando el futuro desarrollo de la infraestructura, los servicios y los sistemas de la industria ferroviaria.

Pese a que la introducción de tecnologías innovadoras va a tener un gran impacto y alcance, permitiendo que los servicios ferroviarios sean más dinámicos, eficientes y respetuosos con el medio ambiente, no cabe perder de vista que el sistema ferroviario se enfrenta a grandes desafíos técnicos y de seguridad. Para ello es necesario promover e impulsar la cultura de la seguridad a todos los ámbitos del sistema ferroviario, incluyendo el desarrollo normativo.

Así pues, la seguridad es uno de los aspectos clave del sistema ferroviario, ya que es imprescindible garantizar un transporte seguro de pasajeros y bienes para que este medio de transporte resulte efectivo y competitivo en el contexto actual. Por esta razón, en los últimos años se han desarrollado múltiples investigaciones que persiguen innovar en la seguridad del sistema, incluyendo no sólo el impacto sobre los pasajeros sino aspectos tales como la ciberseguridad o el uso y desarrollo de vehículos autónomos.

Este impulso a la innovación en materia de seguridad se ha traducido, en términos normativos, en la actual directiva europea sobre la seguridad ferroviaria (2016/798/UE del 11 de mayo de 2016, en su versión refundida), o, a nivel nacional, el Reglamento sobre seguridad en la circulación en la RFIG (RD 810/2007). Estas normativas establecen el marco general sobre seguridad en el sector ferroviario.

A nivel de investigación, se han desarrollado múltiples proyectos e iniciativas en los últimos años en diversos campos relacionados con la seguridad ferroviaria. En cuanto al uso innovador de datos (Big data, data mining) y su potencial contribución a la seguridad, es importante mencionar el trabajo del Institute of Railway Research (IRR) de la Universidad de Huddersfield (Reino Unido). Esta institución ha publicado en los últimos años diversos trabajos en los que se ahonda en la integración y análisis de datos para mejorar la seguridad en aspectos tales como los rebases de señales o los sistemas de asistencia al conductor. Otra línea de

investigación innovadora se centra en el desarrollo de algoritmos capaces de extraer información homogénea de informes de accidente en diferentes idiomas y redactados en base a diferentes normativas y tradiciones ferroviarias. La industria ferroviaria está desarrollando y tratando de implementar sistemas de tratamientos de imágenes para diferentes aspectos relacionados con la seguridad (reconocimiento facial en estaciones, detección de objetos abandonados, identificación de vehículos en pasos a nivel...) sobre los que ahondar y establecer regulaciones y buenas prácticas de aplicación.

Debido a los rápidos avances en la tecnología digital y la conectividad, la ciberseguridad ha surgido en los últimos años como un nuevo campo esencial sobre el que trabajar para garantizar un ferrocarril más seguro. En este sentido, las tendencias más novedosas se centran en implementar en el sector ferroviario las medidas y sistemas de ciberseguridad más avanzadas desarrolladas en otros ámbitos, y en implantar una cultura de ciberseguridad entre los diferentes actores del sector.

Por último, cabe mencionar los últimos avances relacionados con el uso de vehículos no tripulados, especialmente drones que pueden emplearse para vigilancia de infraestructuras y personas. En este sentido, es de destacar experiencias pioneras como los drones de inspección ferroviaria para el Corredor Mediterráneo, o el uso de drones por parte de NetworkRail (Reino Unido) para detectar accesos ilegales a la infraestructura.

### III. POLÍTICA Y MARCO NORMATIVO

En la actualidad existen una serie de normas técnicas generadas por diferentes organismos y entidades, aplicables a cada caso ferroviario concreto.

En Europa, es el Parlamento Europeo quien define la regulación aplicable, ya sea por medio de directivas o regulaciones particulares. El desarrollo normativo para el ámbito ferroviario comprende las siguientes directivas:

- Directiva 2016/797/UE de 11 de mayo de 2016, sobre la interoperabilidad del sistema ferroviario dentro de la Unión Europea (versión refundida).
- Directiva 2016/798/UE de 11 de mayo de 2016, sobre la seguridad ferroviaria (versión refundida).

Estas Directivas forman parte del conocido como “4º Paquete Ferroviario”, que está siendo desarrollado e implantado por la Agencia Europea Ferroviaria (EUAR).

Se ha iniciado ya el trámite de información pública del Proyecto de Real Decreto de seguridad operacional e interoperabilidad ferroviaria, que tiene por objeto el desarrollo de la Ley 38/2015, de 29 de septiembre, del Sector Ferroviario, en materia de seguridad operacional e interoperabilidad de la Red Ferroviaria de Interés General y de los diferentes subsistemas estructurales y funcionales en los que se divide el sistema ferroviario. En este proyecto se transponen las dos

Directivas anteriormente citadas y se revisan distintas disposiciones en materia de seguridad operacional, que se encontraban dispuestas en diferentes normas:

- Real Decreto 810/2007 de 22 de junio, por el que se aprueba el Reglamento sobre seguridad en la circulación de la Red Ferroviaria de Interés General y Real Decreto 1434/2010 de 5 de noviembre, sobre interoperabilidad del sistema ferroviario de la Red Ferroviaria de interés general, a los que sustituirá por completo;
- Real Decreto 2387/2004 de 30 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento del Sector Ferroviario, el cual modificará determinados artículos relacionados con la seguridad ferroviaria;
- Orden FOM/167/2015 de 6 de febrero, por la que se regulan las condiciones para la entrada en servicio de subsistemas de carácter estructural, líneas y vehículos ferroviarios, que quedará prácticamente derogada;
- Orden FOM/2872/2010 de 5 de noviembre, por la que se determinan las condiciones para la obtención de los títulos habilitantes que permiten el ejercicio de las funciones del personal ferroviario relacionadas con la seguridad en la circulación, así como el régimen de los centros homologados de formación y de los de reconocimiento médico de dicho personal, que se verá modificada o desarrollada en algunos de sus artículos;
- Orden de 2 de agosto de 2001, por la que se desarrolla el artículo 235 del Reglamento de la Ley de Ordenación de los Transportes Terrestres, en materia de supresión y protección de pasos a nivel y la Orden de 19 de octubre de 2001 por la que se salvan las omisiones padecidas en la Orden de 2 de agosto de 2001 (que será sustituida por este nuevo real decreto).

Además, contiene disposiciones sobre aspectos que a día de hoy no han sido aún regulados, como los cruces entre andenes, secciones fronterizas o el desarrollo del régimen de supervisión de la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria (AESF).

No obstante, puesto que el Proyecto está aún en fase de información pública y, por tanto, ambas Directivas (2016/797/UE y 2016/798/UE) están pendientes de transposición al estado español, actualmente son de aplicación al territorio nacional:

- La Directiva 2008/57/EC sobre Interoperabilidad de los Sistemas Ferroviarios (modificada por 2009/131/CE, 2011/18/UE, 2013/9/UE, 2014/38/UE y 2014/106/UE).
- La Directiva 2004/49/EC sobre Seguridad en los Ferrocarriles de la Comunidad (modificada por 2008/110/CE, 2009/149/CE y 2014/88/UE), la cual establece las condiciones y criterios comunes de los sistemas ferroviarios europeos, en materia de seguridad ferroviaria.

En el estado español, la documentación y reglamentación comunitaria bajo el ámbito de ambas Directivas sólo es aplicable en la RFIG y no en otras redes ferroviarias (como metros, tranvías o redes de comunidades autónomas que no forman parte de la RFIG), salvo en aquellos casos en que las administraciones locales o autonómicas definan marcos legislativos propios que transpongan, en todo o en parte, las citadas

Directivas (p.e. Ley 7/2018, de 26 de marzo, de Seguridad Ferroviaria de la Comunidad Valenciana).

En cuanto a la normativa aplicable en materia de interoperabilidad, cabe destacar las especificaciones técnicas de interoperabilidad (ETI), que definen cada subsistema, o parte del subsistema, para cumplir los requisitos esenciales y garantizar la interoperabilidad de los sistemas ferroviarios convencionales y de alta velocidad de la Comunidad Europea.

Por otro lado, en materia de seguridad es destacable el Método Común de Seguridad para la Evaluación del Riesgo (MCS-ER), definido por la Agencia Ferroviaria Europea (EUAR) mediante aplicación de la Directiva de Seguridad ferroviaria. Se desarrolla en el Reglamento de Ejecución (UE) nº 402/2013 de la Comisión de 30 de abril de 2013, relativo a la adopción de un método común de seguridad para la evaluación y valoración del riesgo (por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 352/2009), modificado por el Reglamento de Ejecución (UE) 2015/1136 de la Comisión, de 13 de julio de 2015. El MCS-ER tiene como objetivo armonizar los procedimientos y métodos para llevar a cabo la evaluación de riesgos, así como para aplicar las medidas de control de riesgos, siempre que un cambio de las condiciones de funcionamiento, o un nuevo material, suponga nuevos riesgos en la infraestructura o en los servicios.

Desde el punto de vista de la seguridad funcional, cabe destacar cinco normas que contienen las consideraciones referentes a los conceptos y niveles de seguridad, junto con la forma de tratarlos. Estas son:

- EN 50126 Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad (RAMS). Es la más genérica y significativa para el ferrocarril, ya que se aplica a todos los subsistemas que integran el sistema ferroviario. En 2018 se ha publicado en castellano su última versión en dos partes, la UNE-EN 50126-1:2018 y UNE-EN 50126-2:2018. Estas nuevas ediciones de la norma vienen a cambiar y ampliar algunos conceptos que resultaran claves en el desarrollo de nuevos productos, como por ejemplo, el concepto de Integridad Básica.
- EN 50128 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Software para sistemas de control y protección del ferrocarril. Es aplicable al desarrollo, implantación y mantenimiento de cualquier software relacionado con la seguridad, destinado a aplicaciones de control y protección de ferrocarriles. El concepto clave en esta norma europea es el de los cinco niveles de integridad de seguridad del software (siendo 0 el nivel mínimo y 4 el máximo). Cuanto más peligrosas sean las consecuencias de un fallo del software, mayor será el nivel requerido de integridad de seguridad del software. La versión vigente en España es la UNE-EN 50128:2012.
- EN 50129. Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Sistemas electrónicos relacionados con la seguridad para la señalización. Es aplicable a las fases de especificación, diseño, construcción, instalación, aceptación, funcionamiento, mantenimiento y

modificación/extensión de los sistemas de señalización completos y, además, es aplicable a subsistemas y equipos individuales dentro del sistema completo. Su aplicación suele tenerse en cuenta en el desarrollo del hardware, aunque con la nueva versión de las normativas EN 50126 de 2017, su contenido se ha visto integrado en parte en estas. La versión vigente en España es la UNE-EN 50129:2005.

Estas tres normas principales (EN 50126, EN 50128 y EN 50129) describen los conceptos, métodos y herramientas que deben tenerse en cuenta a la hora de la especificación y demostración de los requisitos de seguridad, a lo largo de todo el ciclo de vida, tanto del material, como de la infraestructura. Son aplicables a sistemas nuevos, así como a modificaciones de sistemas en servicio.

Hay una cuarta norma que, sin ser parte del paquete de normas CENELEC de Seguridad aplicada al sector ferrocarril, completa las anteriores en el ámbito de las comunicaciones:

- EN 50159. Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Comunicación relacionada con la seguridad en sistemas de transmisión. La aplicación de esta norma es un requisito de la EN 50129 y la EN 50126, cuando las transmisiones a través de sistemas de comunicación no seguros están relacionadas con la seguridad. La versión vigente en España es la UNE-EN 50159:2011.

Además, es importante resaltar una quinta norma, publicada en 2017:

- UNE-EN 50657. Aplicaciones ferroviarias. Aplicaciones del material rodante. Software a bordo del material rodante. Esta norma adapta los requisitos de la EN 50128 para su aplicación en el ámbito del material rodante, e introduce conceptos innovadores alineados con las nuevas normas 50126, por lo que pueden dar una idea de la evolución que podría tener la 50128. En este sentido, cabe destacar que esta norma no especifica los requisitos para el desarrollo, implementación, mantenimiento y/u operación de las políticas de protección (security), o servicios de protección, que deben establecerse para cumplir los requisitos de seguridad asociados a un sistema de seguridad. En este aspecto, puesto que la protección de las Tecnologías de la Información (IT) puede afectar no sólo a la operación, sino también a la seguridad funcional del sistema, para garantizar la protección de las Tecnologías de la Información, deben aplicarse las normas específicas de protección IT (normas ISO/IEC de la serie 27000, ISO/IEC/TR 19791, así como la serie IEC 62443).

Estas normas, de aplicación exclusiva en el ámbito ferroviario, están basadas en las normas internacionales IEC UNE-EN 61508 de Seguridad Funcional de sistemas eléctricos/electrónicos y electrónicos programables, relacionados con la seguridad.

Existe otra norma de frecuente aplicación, revisada en 2018, que especifica las condiciones de funcionamiento, diseño, construcción y ensayos de los equipos

electrónicos embarcados en Material Rodante, así como los requisitos básicos de hardware y software que se consideran necesarios para los equipos fiables y aptos para el funcionamiento:

- UNE-EN 50155. Aplicaciones ferroviarias. Equipos electrónicos utilizados sobre material rodante. Establece una serie de requisitos, relativos a aspectos como las condiciones ambientales de funcionamiento, condiciones eléctricas, compatibilidad electromagnética, fiabilidad y mantenibilidad, diseño, componentes, construcción, seguridad, documentación, ensayos, etc. Esta norma puede emplearse como código de buenas prácticas para cubrir los “requisitos de seguridad técnica” (acepción acorde a la norma UNE EN 50126-2, que proporciona directrices generales específicas sobre la aplicación de la norma 50126-1 para aspectos de seguridad).

## **IV. INTEGRACIÓN DE LA GESTIÓN DEL FACTOR HUMANO EN LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA SEGURIDAD**

Existe un amplio campo de trabajo para la investigación e innovación de la integración de los Factores Humano en los Sistemas de Gestión de la Seguridad ferroviaria.

Las interfaces funcionales y técnicas en el sistema, subsistemas y componentes tienen una alta afectación e influencia de los factores humanos. La comprensión de los límites entre el sistema ferroviario o el sistema donde se prevé realizar cambios, su entorno y las interacciones con los subsistemas interrelacionados es un requisito para comprender cómo los fallos del sistema o los errores humanos podrían provocar un accidente y cuáles son los peligros relacionados con dichos fallos.

Los factores humanos son un aspecto central dentro de proceso de gestión de RAMS. Es necesario avanzar en la determinación más precisa del impacto de las características, expectativas y comportamiento humano en los sistemas.

La influencia humana tiene aspectos aleatorios y sistemáticos. Todo ser humano puede sufrir periodos ocasionales de disminución de su rendimiento. Cuando dichos periodos tienen lugar durante las fases de explotación y mantenimiento del ciclo de vida del sistema, tienden a provocar fallos aleatorios. Cuando ocurren en fases iniciales del ciclo de vida, pueden provocar fallos sistemáticos en la fase de explotación. Los modelos de análisis y valoración de riesgos sean cualitativos o cuantitativos o una combinación de éstos deben avanzar en claridad y sencillez en base a lógicas basadas en múltiples factores de influencia en la conducta, tanto de forma genérica como específica y contextual.

Mediante la incorporación de nuevas metodologías y tecnologías para la identificación y evaluación de los riesgos que afectan al elemento humano (HMI), mediante el diseño de tareas en base a principios de ergonomía cognitiva que atienda el impacto que tiene sobre las personas la incorporación continua de nuevas tecnologías y la automatización, o también innovar en los modelos de recolección de

datos de seguridad y factores humanos (Big Data) que permitan tomar decisiones en tiempo real, modelos de recolección y explotación de datos (voluntarios, independientes, confidenciales y bajo criterios de Cultura Justa).

Innovar en el conocimiento de las interacciones entre las personas y el sistema ferroviario para evitar la introducción de nuevos riesgos en los procesos de automatización, y con la variabilidad de interfaces, hasta ahora desconocidos.

Promover investigaciones sobre la influencia de la automatización en el comportamiento humano y su capacidad de reaccionar en sistemas complejos o en situaciones degradadas, integrando las conclusiones en los procedimientos de gestión y monitoring del SGS.

Adaptar al sistema de gestión de la seguridad operacional los modelos de análisis del error humano en entornos de altas exigencias cognitivas, para la implementación de barreras tecnológicas capaces de mitigar este riesgo especialmente en lo que se refiere a barreras de prevención frente a las de protección.

En unos entornos cada vez más cambiantes y ante sistemas cada vez más automatizados cabe indagar en los límites y capacidades de los gestores de tráfico (operadores de puesto de mando) ante altas demandas puntuales o elevadas demandas de atención sostenidas en el tiempo con la consiguiente afectación de sus recursos cognitivos.

Es necesario también innovar en los procesos dirigidos a la creación de una Cultura de Seguridad Positiva para los ferrocarriles europeos, que refleje la interacción entre los requisitos del sistema de gestión de la seguridad (SGS), la manera en que las personas los interpretan, conforme a sus actitudes y creencias, y la manera en que realmente actúan.

Mediante la aplicación de modelos estándar para el análisis del factor humano en los accidentes, incidentes y eventos de riesgo, nos debe permitir desarrollar metodologías mejoradas para aumentar la fiabilidad humana en los frontlineworkers. Las conclusiones deben ser lecciones aprendidas e incorporadas a bases de datos de libre acceso internacional, y las recomendaciones tienen que servir para modificar las normas y regulaciones vigentes.

La incorporación de tecnologías que aumentan la automatización, el intercambio de datos y la conectividad entre infraestructura, vehículos y personas, nos plantea el desafío de desarrollar interfaces fáciles de usar, amigables, inteligentes y seguras, capaces de mitigar el riesgo del error humano.

Las soluciones innovadoras que integren el factor humano en el sistema de gestión de la seguridad ferroviaria tienen que tener una visión global que permita una transferencia intermodal con otros modos de transporte y una transferencia inter-regional que tenga en cuenta las distintas lenguas y culturas en el marco europeo.

Los seres humanos tienen la capacidad de influir positiva o negativamente en las RAMS de un sistema ferroviario. Este impacto afecta a las diferentes fases de vida del sistema y sin embargo aún no se ha experimentado con datos recogidos del impacto positivo de las personas en algunas fases del ciclo de vida decisivas para la gestión del riesgo. Debe ahondarse en el impacto positivo (Safety II) la recolección y análisis de estos datos que permita disponer de inputs innovadores para la gestión de los recursos.

En cuanto a la identificación de algunos retos tecnológicos podemos subrayar:

- Desarrollo de tecnologías novedosas para limitar la cuantía de los daños y el impacto de un incidente de seguridad.
- Herramientas para la resiliencia en seguridad.
- Desarrollo de herramientas para la captura de indicadores de comportamiento en situaciones normales y/o degradadas.
- Desarrollos e innovaciones para factores emergentes de riesgo que desafíen límites y capacidades humanas.

## V. EL RETO DE LAS INTERFACES SEGURAS

En las últimas décadas el Sistema Ferroviario ha sufrido una profunda transformación, motivada por las nuevas necesidades de un mercado cada vez más exigente en términos de capacidad, puntualidad, aumento en la calidad del transporte y, lo que es más importante, en términos de seguridad.

Estas exigencias marcadas por el mercado han supuesto el desarrollo de componentes y subsistemas cada vez más numerosos y complejos desde un punto de vista tecnológico.

Este hecho está poniendo de manifiesto una problemática que tradicionalmente pasaba más desapercibida, la de las interfaces entre los distintos subsistemas. Nos referimos así a las fronteras entre estos subsistemas y a las afecciones y requerimientos que unos imponen sobre los otros, que se deben identificar y controlar para asegurar un Sistema Ferroviario fiable y seguro.

En la actualidad, el estudio de las Interfaces entre subsistemas es uno de los asuntos que requieren un mayor esfuerzo de análisis, por ser una de las principales fuentes de fallos e incidencias del sistema ferroviario actual.

Uno de los motivos que favorecen la ocurrencia de fallos relacionados con las interfaces es la dificultad para identificar las relaciones existentes entre los diversos subsistemas, pues en ocasiones dichas relaciones de afección no son directas, requiriéndose complejos estudios en los que, habitualmente, es necesaria la colaboración entre diferentes tecnólogos y empresas.

En función de los tipos de subsistemas que se relacionan, las interfaces se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Interfaces entre distintos equipos de un mismo subsistema (por ejemplo, interfaz entre dos enclavamientos ferroviarios gestionados cada uno de ellos por distintos tecnólogos).
- Interfaces entre distintos subsistemas (por ejemplo, entre el subsistema de energía y el subsistema de comunicaciones, ambos constituyentes del Sistema Ferroviario).
- Interfaces entre distintos modos de transporte (este es el caso, por ejemplo, de las estaciones intermodales en las que ocasionalmente podrían interferir entre sí determinados equipos de comunicaciones, verse afectadas las vías de evacuación por la coexistencia de ambos modos de transporte, etc.).
- Interfaces entre los distintos modos de transporte con otros servicios públicos o privados (por ejemplo, líneas aéreas o ferroviarias que puedan afectar a equipamientos de hospitales, estaciones de comunicaciones, etc.).
- Interfaces entre los sistemas y equipos tecnológicos, con las personas que los diseñan, operan, mantienen... e incluso, con los procedimientos que deben seguir las personas que tienen algún tipo de interacción con los distintos equipos (probablemente este sea uno de los casos de más difícil estudio, debido a la complejidad derivada del estudio de los factores humanos y organizacionales).

De lo expuesto anteriormente se observa la necesidad del desarrollo de estudios específicos centrados en el análisis de las interfaces entre los distintos subsistemas a todos los niveles.

Un primer paso podría ser el desarrollo de una matriz genérica que identifique las distintas interacciones entre todos los subsistemas y sistemas que puedan relacionarse de una o de otra forma con el Sistema Ferroviario, de forma que pudiera particularizarse para cada uno de los casos específicos que pudieran existir en cada una de las aplicaciones de dicho sistema.

En dicha matriz deberían ponerse de manifiesto todas las posibles interacciones entre los distintos subsistemas, y entre estos con sistemas externos al ferroviario, así como una primera clasificación de la criticidad de las mismas, atendiendo a criterios de seguridad y de disponibilidad.

En el caso de la Interfaz con el Factor Humano, ésta se debería tratar de una forma distinta, pues resulta complicada su integración como un factor más dentro de dicha matriz, dado que, en este caso, el estudio de dichas interfaces es mucho más complejo al intervenir muchos más parámetros (derivados de la propia complejidad del comportamiento humano) de los que se pueden dar para el caso de sistemas tecnológicos. Para este caso, se debería desarrollar una metodología de estudio del Factor Humano de forma Integrada con el estudio de seguridad de los correspondientes subsistemas, que pudiera ser utilizada en cada aplicación específica del sistema ferroviario.

## VI. ENTORNOS FERROVIARIOS PARA MINIMIZACIÓN DE RIESGOS DE LAS PERSONAS

La protección de las personas usuarias y no usuarias de los sistemas ferroviarios es un aspecto vital para la integración de los sistemas ferroviarios en entornos urbanos e interurbanos. El objetivo principal de la regulación debe enfocarse a garantizar el diseño de infraestructuras ferroviarias seguras adaptadas al entorno y aceptadas por la sociedad. Las estaciones ferroviarias como punto de cohesión del tejido urbano y geográfico de los territorios y ciudades serán los nodos de actuación principal y de interacción con la sociedad. Las infraestructuras ferroviarias deben concebirse como legados de ciudad y territorio que consigan dotar a la sociedad de sistemas de transporte eficientes, atractivos y seguros.

Este aspecto ligado a la sociedad cambiante y a los nuevos conceptos de movilidad y el uso de las tecnologías abre un campo de actuación y de investigación inminente que transformara el uso de los sistemas ferroviarios.

En los sistemas ferroviarios las líneas de actuación y de investigación responden a dos problemáticas para la minimización de riesgos a las personas:

- Sistemas de transporte urbano (metros-tren-tranvías, tranvías, cercanías) donde el ferrocarril es parte del tejido urbano, y la convivencia con otros modos no ferroviarios es fundamental para prevenir los riesgos.
- Sistemas de transporte ferroviario regional o transregional (ferrocarril media larga distancia y alta velocidad) donde los nodos de actuación se centran en las estaciones y en los cruces a nivel con otros viarios (pasos a nivel).

El IOT y Big data, así como el uso masivo de los dispositivos móviles y el avance en la sensorización e investigación en los vehículos autónomos, será de aplicación a medidas concretas que permitan diseñar sistemas seguros:

- Identificación de herramientas y proyectos de diseño seguro que incluyan la redacción de una matriz de riesgos al inicio del proyecto que sea actualizada y monitorizada durante el ciclo de vida del proyecto.
- Para transporte urbano en superficie integrado en la ciudad:
  - Herramientas de análisis de visibilidad en 3D para mejorar la seguridad desde etapas tempranas de diseño y elección de trazado desde tres puntos de vista (conductores/maquinistas, peatones, conductores de vehículo privado)
  - Uso de sensores y cctv para captura de información y ayuda a la conducción para conductores/ maquinistas en coordinación con los sistemas a bordo de los trenes.
- Para estaciones:

- Sistemas de detección de ocupación de andenes, trenes, accesos on line que permitan dar información a los equipos de gestión de emergencia, así como dar información al usuario ( oportunidad)
- Sistemas de tratamientos de imágenes para poder garantizar la seguridad de las personas (comportamientos violentos, robos/hurtos, identificación de sospechosos o personas, identificación de bultos o maletas abandonadas...)
- Sistemas de comunicación y de información on line para emergencia y de información en caso de incidentes
- Sistemas de monitorización, transmisión y tratamiento de imágenes en pasos a nivel, pasos de andenes y acceso a las vías y promoción de herramientas integradas para el control y aviso de alarmas coordinado con puestos de mando así como de actuación inmediata (sonería, avisos luminosos, etc...)

La respuesta a la minimización de riesgos en las personas ofrece la oportunidad de desarrollo de medidas de aceptación social de los proyectos ferroviarios y de potenciación de su uso. Entre estas deberán desarrollarse las siguientes líneas de líneas de investigación y de desarrollo:

- Sistemas y aplicaciones móviles para la transmisión de información on line a los pasajeros de los servicios ofrecidos por ferrocarril (líneas, servicios, estaciones, frecuencias) de modo integral con otros sistemas así como del estado de los mismos (retrasos, ocupación, incidencias...)
- Sistemas de venta y cancelación on line (pago electrónico, con móviles, etc...) y de compra de billetes integrado de varios operadores.
- Sistemas de entretenimiento y ocio ligados a los sistemas ferroviarios coordinados con los operadores de telecomunicaciones que aumenten las prestaciones de los sistemas ferroviarios a bordo.

## VII. CIBERSEGURIDAD EN EL ENTORNO FERROVIARIO

### Identificación concreta de retos tecnológicos: Visión de futuro

Los retos tecnológicos en el ámbito de la ciberseguridad en el entorno ferroviario, son los que se derivan de un mayor uso de los sistemas de información para la gestión, el control y la sensorización.

En concreto, los retos tecnológicos a abordar son los siguientes:

- Una mayor dependencia de la informática, la tecnología y los sistemas de información, que exigen una gestión metódica de los distintos activos, los cambios y la ciberseguridad en dichos dispositivos, así como la implantación de políticas, procedimientos y medidas de seguridad.
- El incremento en el uso de sistemas informáticos y la proliferación de dispositivos, así como las interrelaciones entre ellos hacen necesario auditar y gestionar periódicamente la seguridad de los mismos ante las inevitables

- vulnerabilidades de los mismos (actualización de firmware, instalación de parches, auditorías de seguridad, etc.).
- Una mayor dependencia del software externo, así como su integración con el ecosistema de software existente. Esto supone un riesgo, puesto que a través de una vulnerabilidad en el software desarrollado por ese externo, se podría acceder al sistema o a otro software que se inter-relacione con el primero. Estos riesgos hacen necesaria una mayor supervisión del código desarrollado por terceros, así como someter al mismo a auditorías de ciberseguridad.
  - Controlar el acceso a las WIFIs. Es necesario gestionar adecuadamente la seguridad de las mismas, así como identificar los usuarios que acceden a ellas de cara a depurar posibles responsabilidades por delitos que se puedan cometer a través de las mismas (fraudes online, intercambio de pornografía infantil, descargas ilegales, etc.).

### **Identificación de posibles proyectos necesarios a desarrollar**

Para gestionar los riesgos en el ámbito de la ciberseguridad identificados en el apartado anterior sería necesario desarrollar los siguientes proyectos:

- Desarrollar un Plan Director de Seguridad, a través del cual se identifiquen los riesgos que afectan a la información y los sistemas y se realice una gestión de los mismos con objeto de eliminar dichos riesgos o reducir su nivel a un umbral aceptable.
- Implantar un sistema de gestión de seguridad de la información que permita una gestión de la seguridad sostenida en el tiempo, ante los cambios que se produzcan en los activos y las amenazas, tanto externas como internas.
- Realizar auditorías a los sistemas y al software antes de su puesta en producción, de forma que no existan vulnerabilidades susceptibles de ser provechadas por terceros para obtener un acceso ilegítimo a los sistemas o a la información que tratan.

Securizar convenientemente los accesos a la WIFIs, estableciendo un procedimiento de identificación de los usuarios que acceden, políticas de uso así como la conservación de los logs necesarios para rastrear.

## **VIII. SISTEMAS DE AYUDA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN SITUACIONES CRÍTICAS. BÚSQUEDA DE NUEVOS SISTEMAS**

En el mundo del ferrocarril es de vital importancia el control de todas las variables que afecten a la seguridad de los trenes. La seguridad de los trenes puede enfocarse desde las incidencias probables, diferenciando por tipo de operación (AV, líneas Inter ciudades, metropolitanas, etc.), desde el material rodante o la infraestructura, vía, túnel, estación, etc.

No obstante, el enfoque a usuario conlleva la polarización de los diversos sistemas de ayuda a la decisión en situaciones críticas para tratar de manera integral todos

los factores que permitan evitar impactos y prevenirlos, y no sólo actuar cuando se ha producido la incidencia. Ello lleva a crear la necesidad de digitalizar los métodos de detección y resolución de incidencias a bordo de los trenes, en infraestructura asociada (túneles, puentes, estaciones, etc.) para poder prevenir y solventar las situaciones de emergencia que puedan derivarse y a determinar los óptimos protocolos de actuación cuando la probabilidad no nula de que se produzca un incidente implique actuación de emergencia. Este enfoque requiere de la digitalización de la operación ferroviaria con este objetivo.

Por otra parte, y como situación de impacto ante ataques terroristas, la necesidad común de proteger y garantizar la seguridad de infraestructuras de grandes dimensiones como edificios, infraestructuras ferroviarias, aeropuertos, etc., es especialmente de impacto en territorios donde las situaciones de crisis desencadenan desestabilizaciones en cadena que pueden llegar a afectar en gran medida a multitud de sectores de la sociedad.

En la industria del ferrocarril, de amplia tradición de compromiso ante la seguridad, existe, no obstante, un gran vacío en la aplicación de tecnologías en los procesos de gestión de crisis ante la anticipación, detección y actuación de prevención de la situación. Así, disponer de un volumen organizado de información y usar sistemas de gestión de ésta, será crucial en todas las etapas, permitiendo optimizar la planificación y la toma de decisiones.

## **VIII. 1. Sistemas de información en interior y exterior de trenes facilitadores de evacuaciones por emergencia**

### **Identificación concreta de retos tecnológicos: Visión de futuro**

- La Digitalización puede permitir ampliar el grado de seguridad ante situaciones de emergencia si es capaz de llegar a cada pasajero, mediante una “señalización individualizada” y no colectiva, que coexista con señalización fotoluminiscente. Se debe asegurar y especial mención no sólo la Accesibilidad a la movilidad sino la preservación de la seguridad. Este es un campo en el que la tecnología tiene recorrido.

## **VIII. 2. Modelos especializados para la protección a las personas ante ataques terroristas**

El tren es un medio de transporte utilizado diariamente por los más diversos tipos de pasajeros. En una situación de emergencia es importante que todos los pasajeros puedan identificar de forma inmediata los equipos de emergencia y de lucha contra incendios, así como los caminos de evacuación. Es aquí donde entran los sistemas de señalización de seguridad. La característica clave debe ser la de asegurarse que ante una situación de emergencia la información y la señalización deben ser capaces de cumplir su finalidad: preservar la seguridad de los pasajeros. Esta seguridad pasa, entre otras medidas, por la instalación de equipos de emergencia y de lucha contra incendios. Pero para que estos equipos puedan ser utilizados en una situación de emergencia, deberán estar debidamente

identificados. Para ello, la señalización luminiscente, adaptada a condiciones de baja luminosidad, y reconocible para diversos tipos de deficiencias visuales, debe ser diseñada más allá de la normativa aplicable, que es detallada y provee de amplia guía para diseñar la implantación.

A continuación, un listado de normativa aplicable: Ley 31/1995, Ley 38/2015, del sector ferroviario, Real Decreto 1544/2007, Real Decreto 443/2001, Real Decreto 485/1997, Resolución de 22 de marzo de 2010, de la Dirección General de Transporte Terrestre, por la que se publica el Acuerdo de Consejo de Ministros de 5 de marzo de 2010, por el que se adapta a la situación actual del transporte ferroviario el Reglamento (CE) n.º 1371/2007, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, sobre los derechos y las obligaciones de los viajeros por ferrocarril. UNE 23032. UNE 23 033, UNE 23 034. Vías de evacuación. UNE EN ISO 7010/2012, ISO 7010:2011, UNE 23 035 UNE 23 035 Parte 2, UNE 23 035 Parte 3. UNE 23 035 Parte 4, Reglamento 107 de la CEPE, Reglamento (CE) 181/2911 del Parlamento Europeo y del Consejo. ISO 3864 Parte 1 a 4. ISO 7010. ISO 16069, DIN 67 510, etc.

Es importante desarrollar e implantar en el diseño de actuación ante situaciones de emergencia, un trabajo concurrente entre los constructores y expertos en este tipo de señalización. Esta es la función principal interna y externa de la señalización de seguridad, y la fotoluminiscente como más utilizada: hacer llegar a los pasajeros, incluso en una situación de ausencia de luz, un mensaje inmediato e inequívoco sobre la localización y utilización de estos equipos. La señalización fotoluminiscente es aún de la mayor importancia en la marcación de los caminos de evacuación.

La Instrucción N°6/2017, de la Secretaría de Estado de Seguridad, aporta recomendaciones en materia de autoprotección y criterios de actuación ante la comisión de atentados terrorista.

Se señala como fundamental el diseño de un sistema de niveles de alerta proporcionado al nivel de riesgo detectado en cada momento y definiendo para cada uno de ellos una batería de medidas que permita graduar la actuación policial de acuerdo con dicho riesgo con la suficiente flexibilidad. Resulta especialmente necesario evaluar en el sistema ferroviario medidas que no sólo determinen la actuación cuando ya se ha producido el ataque terrorista, sino que permitan anticiparlas. Además, en caso de producirse, debe permitir un protocolo de actuación coordinada, no sólo de los cuerpos policiales, sino de los protocolos de evacuación y emergencia, sanitarios y sociales. Para ello, se manifiesta oportuno llevar a cabo el diseño de sistemas de análisis detallado según el tipo de riesgo de ataque terrorista que partan del análisis y detección de situaciones y conductas anómalas y que permitan realizar un análisis modal por entorno (vía-unidades-estación-túneles, etc., por gravedad de impacto y por criticidad de actuación (de la evacuación masiva con afectación territorial amplia a la local). Esta herramienta puede utilizar de partida la metodología AMFE, ampliamente conocida, pero aplicada a ataques terroristas llegando a un modelo de evaluación integral del riesgo que analice y presente contingencia para las fases o etapas del riesgo

(Revista Científica General José María Córdova, Bogotá, Colombia, enero-junio, 2017 Tecnociencia - Vol. 15, Núm. 19, pp. 269-289 issn 1900-6586).

Se trata de un proceso que debe estar sujeto a revisión permanente en el marco de las estructuras de coordinación y operativas existentes. De alguna manera deben unirse los sistemas tecnológicos de prevención con los de gestión y coordinación, desde las operadoras a los cuerpos y agentes de seguridad, hospitalarios y autoridades locales. La respuesta de emergencia involucra a muchas personas: los equipos de rescate en el campo, los responsables en los diferentes niveles de gobierno, los ciudadanos, etc.

### **Identificación concreta de retos tecnológicos: Visión de futuro**

- Creación de soluciones dedicadas, armonizadas y avanzadas de ciberseguridad para ciudades inteligentes que adopten enfoques comunes con todas las partes interesadas y no sólo respecto o desde la operación ferroviaria. De esta manera, los ecosistemas de IoT (en lugar de infraestructuras de IoT distribuidas) se podrán construir adoptando enfoques comunes en su gestión de la seguridad ante ataques terroristas, logrando economías de escala (por ejemplo, evitando la duplicación de esfuerzos en el análisis de datos de IoT, selección de controles de ciberseguridad, etc). Un nivel de integración más sencillo mediante el desarrollo de un marco de seguridad ante ataques terroristas holístico para ciudades inteligentes que beneficie a todas las infraestructuras alojadas en él y que anticipe actitudes y comportamientos anómalos.

## **VIII. 3. Modelos y herramientas en tiempo real**

Los modelos y herramientas en tiempo real deben ser capaces de mitigar los impactos asociados a los riesgos específicos que se determinen de carácter antrópico. Deben permitir, relativo a cada situación de emergencia, la información adecuada en cada momento, una excelente coordinación entre los diferentes grupos de socorro y salvamento, la inteligencia en la comunicación de las órdenes y la información a los diferentes participantes, incluyendo los comunicados de aviso a la población.

Podríamos resumir los objetivos generales de los sistemas de gestión en tiempo real en los siguientes: la minimización de los riesgos (a personas, a medio ambiente y a la operación, física o sistemas-riesgo cibernético digital), la monitorización y supervisión del estado de la seguridad y los riesgos, la prevención de las situaciones de riesgo y, finalmente, la gobernanza ante las situaciones de emergencia. Un Sistema de soporte a la toma de decisiones debe recopilar, analizar y presentar información. Se deberán conocer y priorizar los activos críticos, seleccionar las variables trazadoras de las diversas situaciones de riesgo y seguridad, su vulnerabilidad, su mantenimiento, el análisis de datos y la determinación de protocolos de actuación definidos a los centros de control de las operadoras ferroviarias. Este sistema no toma decisiones por sí solo pero gestiona

y presenta la información en diferentes tipos de formatos de datos, que ayudan al individuo que toma la decisión a realizar el juicio y la actuación más acertados. Por otro lado, debe tener capacidad de “sistema experto” que permite aprender de las acciones y eventos pasados y explorar otras posibilidades de actuaciones futuras. Desde el punto de vista de atención de emergencias, la interoperabilidad de plataformas es fundamental para la correcta evolución de todos los desarrollos tecnológicos. El uso de portales web como elementos para acceder a la información en tiempo real permite proporcionar un entorno de soporte de servicio interoperable que permite la integración de nuevos servicios de acceso de datos o de procesamiento de datos en tiempo real, es decir, el portal se puede adaptar a la situación mientras ocurre el evento de emergencias.

Especial atención a que los sistemas puedan funcionar accediendo no sólo mediante acceso a la plataforma o web, a través de Internet o Intranet, sino que también pueda funcionar en modo offline y ser completamente operativa. Esto es necesario para poder seguir contando con el soporte a la toma de decisiones en situaciones de graves desastres, en las que las redes de internet o datos no estén disponibles. Las actualizaciones se realizarán una vez se recupere un modo de conexión con el servidor, bien sea a través de redes públicas o bien a través de la conexión de datos de las redes de radiocomunicaciones privadas por radio (DMR, TETRA, TETRAPOL) y, naturalmente, a través de cualquier otra red privada disponible como red corporativa, wifi, etc.

### **Identificación concreta de retos tecnológicos: Visión de futuro**

- La operación ferroviaria deberá dotarse de sistemas eficaces de seguridad y detección de actividades terroristas. La visión /inteligencia artificial y los mecanismos de simulación y anticipación de “estados” anómalos, con fases de detección, análisis de riesgo, propuesta de actuación y protocolos específicos de actuación coordinada en función de los impactos, se abordarán holísticamente en Sistemas de Detección y Prevención de Emergencias ante fallos críticos de Seguridad, por modo de fallo, intrínseco relativo a disfunción de la infraestructura, por fallo humano o por actividades terroristas. Deberán contar con sistemas de detección y anticipación de conductas anómalas y actividades sospechosas, con sistemas de seguridad integral especializados y adaptados según la operación (para alta velocidad, para media distancia intercity, metropolitanos y mercancías, y la infraestructura asociada), incorporando el impacto del factor humano en la seguridad.

### **Identificación de posibles proyectos necesarios a desarrollar**

- Sistemas expertos. Simulación mediante Gaming para la gestión en tiempo real de situaciones de emergencia.

## **IX. DATA MINING Y BIG DATA: APLICACIÓN A LA RECOLECCIÓN DE DATOS EN SEGURIDAD**

Los sistemas ferroviarios actuales están compuestos por tecnologías complejas, donde actúan y aplican una amplia gama de actores humanos, organizaciones y soluciones técnicas. Para controlar tal complejidad, una solución viable es aplicar sistemas computarizados inteligentes y hacer uso de tecnologías como Big Data, siendo uno de los retos del sector la optimización del ciclo de vida de los activos ferroviarios.

En este entorno, la llamada 'Industria 4.0' se refiere a la llamada cuarta revolución industrial caracterizada por sistemas inteligentes y soluciones industriales basadas en Internet. El sector del transporte, especialmente los ferrocarriles, ha adoptado en gran medida la Industria 4.0. El uso de tecnologías nuevas y emergentes está conduciendo a una mejor calidad de servicios, nuevos ahorros, mayor utilización de recursos y eficiencia. También ha facilitado el desarrollo de nuevos servicios y modelos comerciales basados en la capacidad de internet industrial y las capacidades analíticas de Big Data.

La tendencia actual de automatización e intercambio de datos nos dirige hacia la adopción y adaptación de tecnologías nuevas y emergentes de manera que nos permita alcanzar nuevos niveles de efectividad y eficiencia. En este sentido tecnologías como Big Data permiten obtener información a través de los datos generados en la vía que permitan obtener información de elementos críticos de la infraestructura, mejorando la toma de decisiones o incluso automatizar la toma de decisiones.

Las ventajas del uso de Big Data queda reflejado en:

- Permite hacer un escalado de los datos (Volumen)
- Diferentes tipos de datos (Variedad)
- Análisis de la información en tiempo real (Velocidad)
- Reducir la incertidumbre de la calidad del dato (Veracidad)

Estos grandes datos en los ferrocarriles provienen de partes interesadas interconectadas y que proporcionan inteligencia al sistema ferroviario. La arquitectura completa de Big Data incluye sistemas ciberfísicos, Internet of Things (IoT) y Cloud Computing, los cuales trabajarían juntos para crear 'ferrocarriles inteligentes'.

Un caso de negocio real y aplicable al sector es el mantenimiento predictivo, la gestión de alarmas en tiempo real, la integración de sistemas industriales auxiliares (señalización, localización..), el diagnóstico y localización de incidentes.., todas áreas de aplicación que están generando un entusiasmo considerable al ofrecer una mejor operación y mantenimiento a través del autoaprendizaje y los sistemas inteligentes que predicen fallas, hacen diagnósticos y activan acciones de mantenimiento.

En conclusión, hoy en día se generan datos en las redes ferroviarias de todo ámbito, los relacionados con rollingstock, con infraestructuras, con usuarios finales... que, a día de hoy, se mantienen en silos y son tratados de forma individual, ofreciendo una visión reducida y sesgada del entorno. A pesar de los riesgos existentes para el ámbito de la gestión de datos (GDPR, filosofías open data...) la industria 4.0 está moviéndose para incrementar la colaboración, eficiencia y mejorar el servicio al cliente, mediante el análisis de este Big Data.

## **X. USO Y DESARROLLO DE VEHÍCULOS NO TRIPULADOS (AÉREOS Y TERRESTRES)**

La aplicación de plataformas basadas en vehículos no tripulados, visión por computador y data mining, pueden dar respuesta a los problemas actuales del sistema ferroviario español en relación a la protección al sistema y a la ciudadanía, hecho manifestado por las empresas desarrolladoras de estas tecnologías.

En efecto, el ferrocarril es lo que se denomina en ingeniería de sistemas un sistema de sistemas complejo compuesto de diferentes tecnologías como la señalización, comunicaciones, ingeniería civil, energía, material rodante, etc. que interactúan y tienen interfaces a todos los niveles. Adicionalmente, y para añadir más complejidad, los diferentes interfaces y niveles son gestionados por múltiples compañías en un mix normalmente público y privado. Resumiendo: la gestión del sistema ferroviario tiene una complejidad técnica y administrativa muy importante. Esta es posiblemente la razón por la que la mayoría de grandes proyectos de infraestructura ferroviaria a nivel global se entregan con retrasos y sobrecostes, según un estudio de la consultora McKinsey de 2016. Así mismo, el sistema ferroviario se enfrenta a incidentes y accidentes de seguridad debido a dicha complejidad técnico-administrativa. A grandes rasgos esos son los dos principales retos a los que se enfrenta el ferrocarril para, por un lado, hacerlo más atractivo a los pasajeros y, por otro más atractivo, como inversión de capital para gobiernos y empresas privadas.

Los Retos más significativos para las empresas desarrolladoras de estas tecnologías son:

- Incremento en la seguridad para hacer un transporte más atractivo al usuario.
- Reducción de los costes y de los tiempos de construcción para hacer un transporte más atractivo a gobiernos e inversores privados.

Ambos retos pueden ser atacados mediante el uso de nuevas tecnologías que han madurado en las últimas décadas como, por ejemplo, el uso intensivo de vehículos no tripulados, visión por computador y data mining.

Las propuestas de una de estas empresas para atacar los problemas identificados en el apartado anterior se basan en tres pilares fundamentales:

- Captura de datos del estado del corredor ferroviario mediante medios no invasivos.
- Generación de modelos digitales de la infraestructura ferroviaria accesible de manera remota.
- Procesamiento automatizado de los datos tomados.

### **Captura mediante medios no invasivos**

Actualmente la supervisión del corredor ferroviario, ya sea en construcción o en operación, se basa principalmente en la observación visual de los operarios que trabajan en él. Este es un método obsoleto para la realización de dichos trabajos por los siguientes motivos:

- Requieren el acceso físico al corredor ferroviario, algo que no es trivial en áreas más o menos remotas y que pone en peligro al operario tanto en corredores en construcción, por la presencia de maquinaria pesada, como en corredores en explotación, por la presencia de tráfico y vehículos de mantenimiento.
- Presentan tareas repetitivas de muy poco valor añadido. En efecto, la supervisión visual es una medida un tanto subjetiva sujeta a la experiencia/conocimiento del operario.
- Representan tareas sujetas al posible error humano.

Es por ello por lo que la captura de datos ha de realizarse por medio de medios no invasivos, como puedan ser vehículos no tripulados tanto aéreos como terrestres; o, incluso, mediante la toma de datos sobre vehículos que realizan las circulaciones diarias en el corredor.

### **Visión por computador**

Una vez se obtienen los datos mediante medios no intrusivos, se procede a la generación de los modelos digitales de la infraestructura. Estos pueden ser resultado directo de la aplicación de tecnologías como mobile mapping, LIDAR, reconocimiento de imágenes, fotogrametría, etc. El requisito final es poder tener un modelo exacto de la infraestructura en formato digital accesible remotamente por todas las compañías/personas trabajando en un proyecto ferroviario. Esta metodología está en línea con la tecnología BIM e intenta crear una sola fuente de información veraz desde donde se pueda partir para la construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura.

### **Data mining**

La cantidad de datos que se pueden captar con las tecnologías actuales es ingente e imposible de analizar mediante medios humanos. Es, por tanto, necesaria la creación de una tecnología de procesamiento de datos automatizada para poder extraer la información del corredor requerida. La aplicación de técnicas de reconocimiento de imágenes y objetos y machine y deep learning sobre modelos fotogramétricos o en 3D es una de las apuestas inequívocas de la empresa

desarrolladora de esta tecnología. De esta manera se puede llegar a saber el estado preciso del corredor ferroviario sin tener que acceder al mismo y sin que la evaluación del mismo dependa de medidas subjetivas de un operario.

### **Aplicaciones y referencias**

Esta propuesta permitiría la reducción de los problemas de seguridad, los costes y tiempos de puesta en servicio de un corredor ferroviario al actuar, a grandes rasgos, en los siguientes ámbitos:

- Planificación precisa al conocer el terreno antes de las licitaciones.
- Proceso de oferta más precisión y efectivo al conocer el estado exacto del terreno y / o instalaciones.
- Fase de diseño más reducida al conocer con precisión las características del terreno y / o instalaciones.
- Gestión automatizada y eficiente de los contratos. En efecto, sería posible conocer con exactitud e imparcialidad el seguimiento concreto de un contrato de infraestructura ferroviaria, agilizando el cumplimiento del contrato y la resolución de disputas. La transparencia y trazabilidad sería total y permitiría una evolución hacia un marco legal automatizado mediante el uso de tecnología blockchain.
- Aumento de la seguridad al poder trazar todos los requisitos de instalación de manera automática y verificable.
- Aumento de la seguridad en explotación al poder conocer el estado de la infraestructura previo a la circulación de vehículos.
- Reducción de gastos de explotación y mantenimiento al poder planificar de una manera más eficiente los recursos, al conocer de manera detallada el estado de la infraestructura e instalaciones auxiliares.
- Reducción tiempo de instalación de nuevos sistemas de seguridad y gestión de tráfico, como CBTC y ERTMS al conocer con exactitud las características del corredor (como el punto kilométrico o el gradiente). Estos sistemas aumentan la seguridad de la circulación y la hacen más eficiente y potencialmente más atractiva al usuario final con menos accidentes y más frecuencias de las circulaciones.
- Posibilidad de automatizar contratos de mantenimiento.
- Posibilidad de implementar mantenimiento predictivo al generar datos reales el estado de la infraestructura.
- Reducción de personal que necesita acceder al corredor, aumentando la seguridad del mismo y la reducción los accidentes laborales en el ámbito del sector ferroviario.

Esta tecnología disruptiva es una realidad que ya ha sido implementada en los siguientes proyectos:

- Alta velocidad entre Monforte del Cid y Murcia.
- Mantenimiento Alta Velocidad en tramos entre Madrid-Toledo y Madrid-Sevilla.

- Instalación de nuevos sistemas de señalización en línea de cercanías R1 de Barcelona entre Hospitalet y Mataró.
- Instalación de nuevos sistemas de señalización en línea de Alta Velocidad entre Casablanca y Kenitra.

## XI. CONCLUSIONES

1. La eficacia global y el futuro del transporte por ferrocarril pasa por adquirir más y más conocimientos sobre comportamiento seguro de vehículos, infraestructuras y personas, que permita mitigar o eliminar cualquier origen del riesgo, en especial los derivados de la automatización e introducción de nuevas tecnologías.
2. Pese a que la introducción de tecnologías innovadoras va a tener un gran impacto y alcance, permitiendo que los servicios ferroviarios sean más dinámicos, eficientes y respetuosos con el medio ambiente, no cabe perder de vista que el sistema ferroviario se enfrenta a grandes desafíos técnicos y de seguridad. Para ello es necesario promover e impulsar la cultura de la seguridad a todos los ámbitos del sistema ferroviario, incluyendo el desarrollo normativo.
3. Se ha iniciado ya el trámite de información pública del Proyecto de Real Decreto de seguridad operacional e interoperabilidad ferroviaria, que tiene por objeto el desarrollo de la Ley 38/2015, de 29 de septiembre, del Sector Ferroviario, en materia de seguridad operacional e interoperabilidad de la Red Ferroviaria de Interés General y de los diferentes subsistemas estructurales y funcionales en los que se divide el sistema ferroviario.
4. El estudio de las Interfaces entre subsistemas es uno de los asuntos que requieren un mayor esfuerzo de análisis, por ser una de las principales fuentes de fallos e incidencias del sistema ferroviario actual.
5. Los factores humanos son un aspecto central dentro de proceso de gestión de RAMS. Es necesario avanzar en la determinación más precisa del impacto de las características, expectativas y comportamiento humano en los sistemas.
6. Adaptar al sistema de gestión de la seguridad operacional los modelos de análisis del error humano en entornos de altas exigencias cognitivas, para la implementación de barreras tecnológicas capaces de mitigar este riesgo.
7. Para poder gestionar los riesgos de la ciberseguridad es necesario desarrollar un Plan Director de Seguridad, a través del cual se identifiquen los riesgos que afectan a la información y los sistemas y se realice una gestión de los mismos con objeto de eliminar dichos riesgos o reducir su nivel a un umbral aceptable.

8. Para la innovación respecto a los sistemas de ayuda para la toma de decisiones en situaciones críticas, se propone desarrollar sistemas expertos y simulación mediante Gaming para la gestión en tiempo real de situaciones de emergencia.
9. Hoy en día se generan datos en las redes ferroviarias de todo ámbito, los relacionados con rollingstock, con infraestructuras, con usuarios finales....que, a día de hoy, se mantienen en silos y son tratados de forma individual, ofreciendo una visión reducida y sesgada del entorno. A pesar de los riesgos existentes para el ámbito de la gestión de datos (GDPR, filosofías open data...) la industria 4.0 está moviéndose para incrementar la colaboración, eficiencia y mejorar el servicio al cliente, mediante el análisis de este Big Data.
10. El IOT y Big data, así como el uso masivo de los dispositivos móviles y el avance en la sensorización e investigación en los vehículos autónomos, será de aplicación a medidas concretas que permitan diseñar sistemas seguros.
11. La innovación en la utilización de vehículos no tripulados (aéreos y terrestres) puede contribuir de manera decisiva a los siguientes objetivos:
  - a. Incremento de la seguridad, para hacer un transporte más atractivo al usuario.
  - b. Reducción de los costes y tiempos de construcción para hacer un transporte más atractivo a gobiernos e inversores privados.
12. Ambos retos pueden ser atacados mediante el uso de nuevas tecnologías que han madurado en las últimas décadas como, por ejemplo, el uso intensivo de vehículos no tripulados, visión por computador y data mining.
13. Las infraestructuras ferroviarias deben concebirse como legados de ciudad y territorio que consigan dotar a la sociedad de sistemas de transporte eficientes, atractivos y seguros. Este aspecto ligado a la sociedad cambiante y a los nuevos conceptos de movilidad y el uso de las tecnologías abre un campo de actuación y de investigación inminente que transformara el uso de los sistemas ferroviarios.

**Coordinación Científico - Técnica:**



Pilar Calvo

**Documento elaborado con las aportaciones de:**



Baltasar Gil de Egea



Juan Andrés Brunel



Enrique Hornos



M<sup>a</sup> Concepción Ortega  
Maite de Vega



Tatiana Rueda  
Pedro Luis Ruiz



Ignasi Gómez-Belinchón



Jorge López



Iván Riera



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Ignacio Villalba  
Pablo Martínez

**Coordinación y Secretaría Técnica:**

Angeles Táuler, M<sup>a</sup> Mar Sacristán, Eduardo Prieto, Aida Herranz