

**Proyecto MISTRAL: Futuros escenarios de comunicaciones tren-tierra de nueva generación**

Nedviga, V. (d);

Wolf, A. (a); Piattino, A.(b); Brevi, D. (c); Trentini, D. (b); Bonetto, E. (c); Ferraris, M. (c); Spirito, M. (c); Osella, M. (c)

**Centro de Trabajo:**

- a) *Technische Universität Dresden, Professur für Verkehrssystemtechnik Hettnerstr. 1-3, 01062 Dresden, Germany*
- b) *Sirti S.p.A, Via Bombrini 11, 16149 Genova, Italy*
- c) *Istituto Superiore Mario Boella, Via Pier Carlo Boggio 61, 10138 Torino, Italy*
- d) *Ardanuy Ingeniería, S.A., calle Entença, 236-240, 08029 Barcelona, Spain*

**Extracto**

Hoy en día, los servicios de comunicación inalámbrica de ferrocarriles se basan en infraestructuras de red dedicadas que usan la tecnología 2G GSM-R. Sin embargo, debido a que el GSM-R está quedando obsoleto con gran rapidez, los fabricantes de estos equipos se han comprometido a mantener el sistema operativo únicamente hasta el año 2030. Los gestores de infraestructuras ferroviarias están cada vez más preocupados por el fin de la vida útil del GSM-R, asimismo los numerosos grupos de trabajo internacionales están estudiando el modo de migrar del GSM-R a una tecnología inalámbrica más moderna y de carácter no exclusivo.

En este artículo se presenta los primeros resultados de un estudio de los aspectos técnicos y económicos de dicha migración a los sistemas de comunicación de nueva generación que, en última instancia, buscará la aprobación de la comunidad ferroviaria y compañías de telecomunicaciones. Este estudio realizado por el proyecto MISTRAL, financiado por el programa HORIZON 2020, se engloba en el **proyecto conjunto de I+D ferroviarios Shift2Rail 'Especificaciones técnicas para un nuevo sistema de comunicación adaptable a todos los ferrocarriles'**.

## 1. Introducción

**La situación actual del sistema de comunicaciones tren-tierra (T2W) para las líneas de alta velocidad y las líneas convencionales de la Unión Europea es que el GSM-R está consolidado.** GSM-R proporciona un sistema interoperable a nivel europeo para comunicaciones de voz y datos, utilizando un ancho de banda unificado de 873-880/918-925 MHz. Las redes GSM-R equipan aproximadamente 70.000 km de vía en operación para proporcionar los servicios de voz. Además, de alrededor de 8.000 km equipados para proporcionar servicio de datos para el sistema ETCS (Sistema de control ferroviario europeo). De hecho, ETCS se requiere para la implementación, renovación y mejora de las líneas ferroviarias de alta velocidad, según las reglas establecidas en las especificaciones técnicas de la interoperabilidad (TSI) de los subsistemas de control, mando y señalización. [Taylor D., Lofmark N., McKavanagh M., (2014)].

La innovación en el ámbito ferroviario es un proceso lento en comparación con el ritmo al que se dan nuevos avances tecnológicos en la actualidad. En realidad, el GSM-R es un sistema de telecomunicaciones de segunda generación, que se encuentra muy por detrás de la tecnología 4G de hoy, la cual, a su vez, se verá reemplazada por la tecnología 5G alrededor del año 2020. Por tanto, ha llegado el momento de investigar de cómo se puede proporcionar un sistema de comunicación basado en tecnología IP que aproveche las tecnologías innovadoras y sea al mismo tiempo económicamente viable.

La caída en desuso del GSM-R constituye una cuestión importante. Los proveedores de esta tecnología se han comprometido a mantenerla hasta el año 2030 [Smith, K. (2017)], por tanto, será cada vez más difícil y costoso para los gestores de infraestructuras (IMs) mantener la misma calidad de servicio. Si bien se trata de una motivación principalmente comercial, existen razones técnicas y económicas adicionales para plantear la necesidad de conseguir una migración a un sistema de comunicaciones T2W mejorado y adaptable.

La solución para afrontar tales limitaciones es utilizar una tecnología que mejore la capacidad de transmisión. Específicamente, el uso de Red de Siguinte Generación basada en la transmisión de paquetes es inevitable para poder aprovechar las redes móviles de los estándares más avanzados con la capacidad significativamente superior a GSM-R.

Desde el punto de vista económico, los retos a los que nos enfrentamos consisten en analizar cuándo y cómo la infraestructura GSM-R podría ser reemplazada por una más avanzada y qué estrategias de gestión de la infraestructura se podrían adoptar. Actualmente, las empresas ferroviarias operan y gestionan sus propias infraestructuras de red GSM-R. Este modelo de gestión generalmente denominado "red como activo" (NaaS) obliga a las empresas ferroviarias a cubrir en su totalidad los crecientes costos de mantenimiento del GSM-R. La aparición

de nuevas tecnologías de comunicaciones inalámbricas para los ferrocarriles podría representar una oportunidad para las empresas ferroviarias de externalizar estos costos y obtener beneficios económicos. Al hacerlo, cambiarían el enfoque **NaaA** a un modelo de gestión "red como servicio" (**NaaS**).

Diferentes grupos de trabajo de la Industria de Telecomunicaciones, la Industria Ferroviaria y las Organizaciones Normativas han llevado a cabo muchos esfuerzos para definir una tecnología capaz de sustituir el GSM-R en términos de viabilidad técnica. El proyecto FP7 Next Generation Train Control (NGTC) investigó la posibilidad de proporcionar un sistema de comunicación T2W IP que sea adaptable tanto a los ferrocarriles principales como a los urbanos. La Agencia Ferroviaria Europea (ERA) está investigando sobre los futuros candidatos tecnológicos para T2W [ERA (2016)], y cuestiones como el Modelo de Compatibilidad del uso paralelo del GSM-R y LTE en bandas GSM-R. La Comisión Europea ha financiado diferentes proyectos de investigación sobre la posible evolución del GSM-R, incluyendo la actualización de las ETI de control, mando y señalización [NGTC (2016)].

El proyecto MISTRAL, desarrollado dentro de la iniciativa Shift2Rail, aborda la evolución del GSM-R elaborando las especificaciones técnicas y analizando la viabilidad económica del futuro sistema de comunicación IP de T2W para todos los ferrocarriles. El presente artículo se organiza de la siguiente manera: En la sec. 2 se esbozan las tendencias tecnológicas, mientras que en la sec. 3 se introducen los aspectos económicos. Los servicios innovadores identificados se describen en la sec. 4. y en la sec. 5 se discuten los posibles escenarios tecno-económicos elaborados por MISTRAL, mientras que las conclusiones se dan en la sec. 6.

## 2. Tendencias tecnológicas

Con las redes móviles de banda ancha 3G, 4G y en un futuro próximo 5G, varias tecnologías que están disponibles en el mercado prometen una transmisión de datos significativamente más eficiente que el GSM. Sin embargo, la viabilidad de la aplicación de estas tecnologías en el sector ferroviario con sus requisitos particulares es una cuestión que debe examinarse minuciosamente. En este capítulo, inicialmente se ofrece una visión general de las tecnologías disponibles en la actualidad, y luego se presentan algunos detalles sobre la próxima tecnología 5G. Finalmente, se ilustran algunas consideraciones sobre cómo lograr una migración fluida a una nueva tecnología de comunicación.

### 2.1 Recursos disponibles

El **4G LTE (Long Term Evolution)** podría ser candidato para la próxima generación de comunicación ferroviaria capaz de dar soporte a los nuevos servicios, así como a las aplicaciones vitales.

El LTE se ha vuelto especialmente atractivo para los sectores de la industria ferroviaria desde que el 3GPP - **organismo responsable de la normalización del LTE**- ha decidido enfocar el desarrollo de la próxima versión 14 de sus estándares a las funcionalidades de misión crítica especialmente adecuadas para satisfacer las necesidades de las aplicaciones ferroviarias.

Esta tecnología de banda ancha se ha implementado con éxito desde hace varios años en el sector de la comunicación móvil y proporciona un alto rendimiento para la transmisión de datos (tasa de datos de hasta 1Gbit / s, con 4,5G LTE-AP) a los usuarios finales y al mismo tiempo satisface requerimientos de alta capacidad. Así como la tecnología comercial común **lista para la venta**, LTE también ofrece múltiples ventajas para el sector ferroviario. Sus características (ancho de banda mayor, considerable capacidad de la célula, mejoras en la velocidad de transmisión) le permitirían transportar en paralelo múltiples aplicaciones ferroviarias (datos de señalización, información de mantenimiento del material rodante, distribución operativa, comunicación del personal, etc.). LTE tiene baja latencia en comparación con el GSM-R y, por lo tanto, puede soportar tanto aplicaciones altamente sensibles a la latencia (VoIP, video), como altos niveles de QoS (calidad del servicio). Se puede desplegar en muchas bandas de frecuencias diferentes y tiene múltiples características relacionadas con el cifrado y la autenticación. Estudios recientes [ERA (2016)] analizan la interferencia mutua y la coexistencia entre diferentes tecnologías de transmisión para los ferrocarriles, especialmente LTE y GSM-R, cuando se emplean en la misma radiofrecuencia o en radiofrecuencias adyacentes. Estos efectos deben considerarse sobre todo en la fase de migración desde el GSM-R a su tecnología sucesora.

## 2.2 5G puede cambiarlo todo

El primer conjunto de normas 5G será entregado por 3GPP con su versión 15. A menudo se cree que 5G es una extensión de los estándares de radio móvil existentes. Sin embargo, 5G es una tecnología fundamentalmente nueva que introduce nuevos enfoques a la arquitectura de red y generará un nuevo mercado. Las actuales tecnologías de radio móvil (GSM, UMTS y LTE) difieren de sus predecesoras principalmente en el desempeño de la interfaz aérea y la implementación de características de servicio para los usuarios finales. En las redes de comunicaciones móviles actuales, se centra la atención en la telefonía y la transmisión de datos móviles, y la conexión se establece principalmente entre una estación base y el equipo de usuario final. 5G permite nuevos planteamientos a través de una arquitectura de malla de los nodos de red completamente nueva.

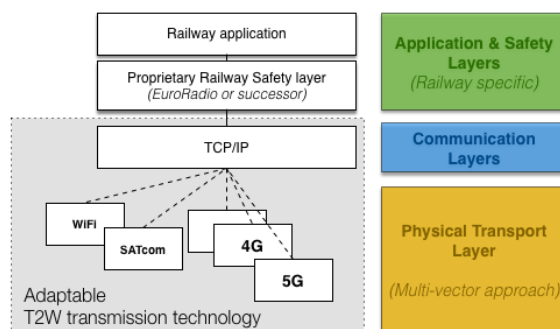
Asimismo, el diseño de la red 5G se beneficia significativamente de la separación estructural de hardware y software, así como de la programabilidad ofrecida por **SDN (Software Defined Networks)** y **NFV (Network Function Virtualisation)**. SDN describe el procedimiento de una arquitectura de red en la que una capa de abstracción de software se encuentra por encima de la infraestructura de red física. Con SDN, el control y la



configuración de redes se puede hacer de modo fácil y flexible. Mientras que SDN se concentra en el simple transporte de datos, NFV se ocupa de la virtualización de elementos de red típicos en las redes de telecomunicaciones. La implementación de nuevos elementos de red solo requerirá la ejecución de software en sistemas host potentes. Las funciones específicas de la red, como los mecanismos de calidad de servicio, se pueden implementar de forma rentable en la red, sin necesidad de tiempo y costes de instalación de nuevo hardware dedicado. La arquitectura básica de 5G es una arquitectura nativa SDN / NFV que cubre aspectos que van desde dispositivos, infraestructura (móvil o fija) y funciones de red soporte de nuevos casos de uso múltiple y modelos de negocio para diversos sectores (transporte ferroviario y logística). En lugar de utilizar hardware de infraestructura convencional, los elementos básicos de la red se están virtualizando cada vez más para que el transporte de paquetes de datos sea controlado por el software especializado que se ejecuta en el hardware estandarizado.

Además, el concepto de **particiones de red (Network slicing)**, que se basa tanto en SDN como en enfoques NFV, prestan una conectividad personalizada que ofrece una solución para **segmentar “prácticamente” la red** de modo que apoye a determinados servicios. Diversas particiones de red pueden adaptarse con diferentes características específicas, incluyendo latencia, ancho de banda, o necesidades QoS. Además, las particiones de red están completamente aisladas entre sí dentro de la arquitectura de red, lo que permite una adaptación flexible en los casos de uso individuales.

Además de los aspectos descritos anteriormente, la plataforma 5G también mejorará drásticamente el rendimiento de la red móvil. De hecho, apunta a permitir servicios eficientes de banda ancha inalámbrica y de latencia ultrabaja: se espera que las conexiones de datos superen las velocidades **de datos pico de 10 Gbit / s** y experimente latencias inferiores a 1 ms. La tecnología 5G probablemente trabajará con frecuencias de varios gigahertz. Sin embargo, aún no se ha determinado el espectro exacto y no se espera una normalización internacional de las frecuencias 5G hasta los próximos años.



Una parte fundamental de las recientes actividades de 3GPP es la especificación de los requisitos de comunicaciones críticas sobre las futuras normas 5G. Esta evolución es de particular interés para el sector ferroviario, ya que aquí se llevan a cabo las especificaciones técnicas de los servicios de comunicación reales de seguridad crítica de las tecnologías futuras y la aplicación se acercará gradualmente.

### 2.3 *Cómo cambiar a una nueva tecnología de comunicación ferroviaria*

Se prevé un gran esfuerzo de tiempo y costes si todo el equipo ferroviario de material rodante necesita que se actualice con una nueva tecnología de radio. Sin embargo, ya se han identificado **enfoques** que pueden simplificar estos pasos de migración. Los radios definidos por software (SDR) se convertirán en realidad práctica y comercial y, por lo tanto, no serán necesarios los dispositivos multimodo.

Según condiciones específicas del sector ferroviario, resultaría imposible definir una tecnología única para la comunicación T2W debido a que las necesidades de los diferentes usuarios dependen de perfiles ferroviarios (líneas principales y líneas de transporte), la ubicación (zonas urbanas menos pobladas), la posibilidad de invertir en el despliegue del nuevo sistema, la fase de transición, etc. El uso de una solución versátil, en la que la capa física se adapta a diferentes tecnologías basadas en IP, resultaría alentador y ventajoso para aprovechar futuras migraciones.

### 3. Tendencias económicas

El análisis económico del mercado actual ferroviario tiene por objeto identificar las principales fuerzas motrices que impulsan la migración hacia **NaaS** y hacer hincapié en las tendencias del mercado. La justificación para el desarrollo del análisis económico surge de las diversas implicaciones socioeconómicas que un nuevo sistema de comunicación ferroviaria puede generar en las partes interesadas en términos de calidad de servicio, precios, oportunidades de negocio, mitigación del riesgo para los usuarios finales, mejora del medio ambiente, etc. Los principales agentes implicados en los escenarios **NaaA** (status quo) y **NaaS** son **IMs**, Operadoras Ferroviarias (**RUs**), **MNOs**, pasajeros y autoridades de normalización.

**NaaS** significa tanto el cambio en la estructura de gestión como en los modelos de negocio. Implica que el acceso a los sistemas de radiocomunicaciones reemplazará la propiedad de estos sistemas ("**servitization**"), mientras que los propietarios de los ferrocarriles externalizarán parte de sus actividades (por ejemplo, **MNOs**), reduciendo así el perímetro de los propietarios de los ferrocarriles y reorientando sus operaciones principales y estructura de costes («separación»). El escenario **NaaS** a través de las tecnologías de red de nueva generación puede mejorar no sólo la seguridad y protección del sistema de transporte ferroviario, sino también la QoS y las posibilidades de abrir nuevos mercados a actores que sólo están ligeramente implicados en el

panorama/situación actual. Se han analizado un conjunto de fuerzas exógenas (fuerzas externas que ni las IM ni las RU pueden controlar) y las fuerzas motrices endógenas (fuerzas internas que los IM o las RU pueden controlar) que actúan como motores de la migración hacia una red de nueva generación. A continuación, se muestran algunos resultados del análisis STOF, una técnica cualitativa que proporciona indicaciones sobre fuerzas endógenas en diferentes dominios como Servicio, Tecnología, Organización y Finanzas (véase Tabla 1).

Tabla 1. Análisis STOF: Resultados 'seleccionados' de fuerzas impulsoras endógenas (Fuente: elaborado por MISTRAL)

Área	Fuerzas motrices	Explicación
<b>Servicio</b>	Dar servicio a la infraestructura de comunicación	Pivotar en el modelo de aprovisionamiento de las comunicaciones ferroviarias (es decir, saltar de "red como activo" a "red como servicio").
<b>Tecnología</b>	Introducción de servicios intensivos en ancho de banda	Posibles características nuevas para agregar a la cartera de servicios innovadores (por ejemplo, circuito cerrado de televisión, transmisiones de diagnóstico en tiempo real, entretenimiento multimedia a bordo) aprovechando la mayor capacidad de transmisión de datos.
<b>Organización</b>	Nuevos actores/operadores/participantes en lucha	Creación de nuevas oportunidades de mercado para los actores que ingresan o refuerzan su posición en el ámbito ferroviario (por ejemplo, MNOs, proveedores tecnológicos y proveedores de servicios).
<b>Finanzas</b>	Reducción de costos en el establecimiento de la infraestructura de comunicación	Cambio notable de CapEx a OpEx; bajar CapEx y / u OpEx para IM.

Centrándose en las trayectorias del mercado, las IMs / RUs y MNOs muestran una intención desigual respecto a la migración a un nuevo sistema basado en NaaS. Los IM pueden ser renuentes a renunciar a un activo estratégico con altos requisitos de misión crítica. El riesgo para la seguridad es una barrera importante para la entrada de otros operadores externos como MNOs. Por otro lado, el costo de implementación (CapEx) de una nueva red con nuevas tecnologías puede ser una barrera de entrada para los operadores móviles. En cambio, para IMs, el cargo del CapEx puede ser inferior al de los operadores móviles, ya que IM, que suelen ser empresas estatales, pueden tener distantes políticas en términos de presupuesto (aunque también podrían constituirse como sociedades anónimas con un estado financiero tradicional). Futuras investigaciones tendrán como objetivo identificar y cuantificar las condiciones en las que los operadores de redes móviles pueden tener más incentivos para invertir en sistemas de comunicaciones ferroviarias. Sin embargo, si tenemos en cuenta las tendencias económicas recientes en relación con el riesgo futuro de una disminución de los beneficios para los operadores de redes móviles, surge una fuerte presión para nuevos modelos de negocio en el ámbito de las telecomunicaciones. Esto puede ser el motor para

investigar qué oportunidad puede materializarse de que los MNOs proporcionen una red de comunicaciones para los servicios ferroviarios.

En general, las tendencias del mercado que pueden conducir hacia el paradigma NaaS son las siguientes:

- Aumento de la competitividad del mercado ferroviario.
- La inversión en la comunicación de la red ferroviaria para los operadores móviles es un costo importante. **NaaS** requiere una gran mejora tecnológica de la infraestructura comercial actual para satisfacer las necesidades futuras (es decir, los servicios) del sector ferroviario y una enorme cantidad de costos de inversión difícil de soportar sin algunos incentivos (por ejemplo, la intervención estatal).
- La oportunidad para que los MNO inviertan en un sector nuevo e inexplorado (por ejemplo, el ferrocarril) con nuevos productos y / o líneas de negocio, y nuevos actores que ingresen al mercado (por ejemplo, para servicios innovadores).
- El costo de inversión de las IM / RU disminuirá en caso de cambio de propiedad de la infraestructura a los operadores comerciales. Sin embargo, la reducción de CapEx puede no ser la única variable que afecte la elección desde el punto de vista de IMs / RUs para migrar hacia un paradigma **NaaS**. De hecho, otras de las cuestiones relevantes son la gestión de los riesgos de seguridad, las implicaciones políticas, el riesgo de incumplimiento de un proveedor determinado, etc.

#### 4. Los servicios innovadores permitidos por una nueva tecnología de comunicación T2W basada en paquetes

La introducción de un sistema de comunicación IP más eficaz permite introducir nuevos servicios en el sector de los ferrocarriles, bien como mejora de los ya existentes o bien como creación de los nuevos. De hecho, la introducción de estos nuevos servicios subraya la importancia de contar con una transmisión de datos con más rendimiento y más eficiente con una nueva tecnología inalámbrica que permita generar un valor añadido para las partes interesadas.

##### 4.1 Lista de servicios innovadores

Los servicios de comunicaciones de los ferrocarriles se pueden dividir en dos categorías principales desde punto de vista de seguridad: los servicios críticos (por ejemplo, la señalización, la voz, la protección automática de trenes y la operación automática de trenes) y los no críticas (por ejemplo, vigilancia, circuito cerrado de televisión, información de pasajeros, venta de billetes, entretenimiento). Muchos usuarios se beneficiarían de nuevos servicios: IMs, RUs pasajeros y autoridades.



Los operadores de ferrocarriles se beneficiarán de un sistema de señalización más avanzado con los niveles más altos de automatización y un sistema de supervisión en tiempo real, conveniente para la vigilancia y el mantenimiento inteligente. Los pasajeros podrían beneficiarse de los servicios dedicados a la mejora de su experiencia de usuario, como la compra y validación de billetes a través de un celular o la planificación de la ruta. Las autoridades que podrían explotar los nuevos servicios son: la Policía (prevención de delitos), la Defensa (vigilancia contra el terrorismo), los Bomberos, Protección y gestión de emergencias. La tabla enumera los servicios innovadores que el proyecto MISTRAL seleccionó para considerar dentro del análisis.

Tabla 2. Servicios habilitados con un nuevos sistema de comunicaciones y sus requisitos

Servicio	Capacidad	Disponibilidad	Tiempo real	Seguridad	Protección
Bloque móvil	baja	alta	sí	sí	sí
Grado de Automatización	media	alta	sí	no	no
Llamada de Emergencia Ferroviaria mejorada	baja	alta	sí	no	no
Internet de cosas para mantenimiento	baja	media	no	no	no
Supervisión de infraestructuras	baja	media	no	no	no
Vídeovigilancia en tiempo real	alta	media	sí	no	sí
Venta de billetes electrónicos	media	media	sí	no	no
Entretenimiento a bordo	media	media	sí	no	no
Servicios de marketing	media	media	no	no	sí

## 5. Futuros escenarios empresariales de MISTRAL

El propósito final de este documento es la identificación de un conjunto de posibles escenarios técnico-economicos futuros derivados de la implementación de un nuevo sistema de comunicación T2W. La sostenibilidad financiera, la viabilidad económica y la viabilidad tecnológica son los puntos centrales para definir el escenario óptimo y, en la medida de lo posible, NaaS.

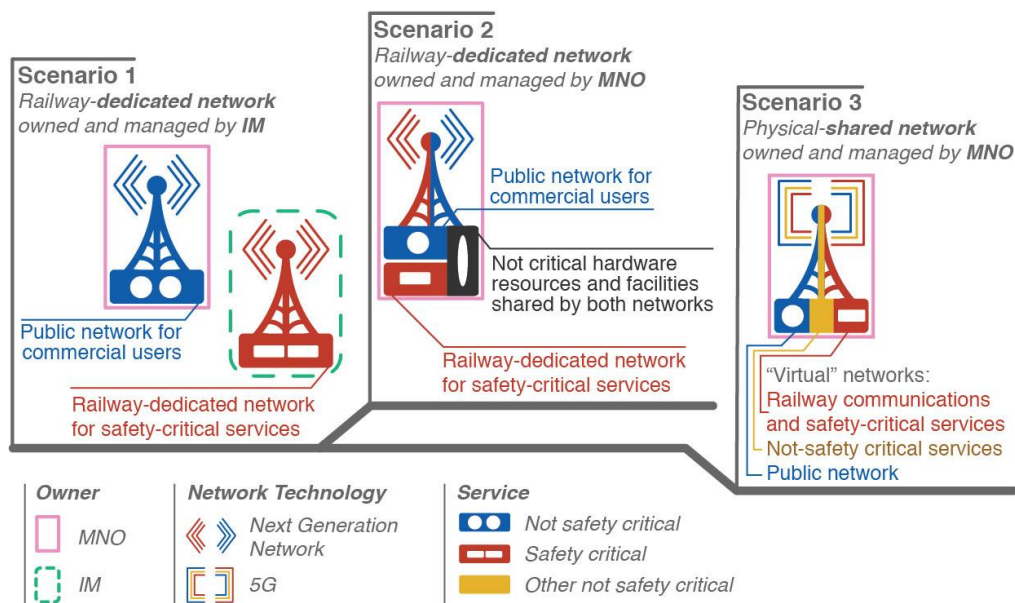
En el enfoque metodológico utilizado para construir los escenarios futuros, identificamos dos conjuntos de variables: "variables de escenario" y "variables transversales". De la plétora de todas las posibilidades, se seleccionaron tres escenarios de red para construir una propuesta tecno- económica para el futuro sistema de comunicación ferroviaria (ver Figura 2):

1. Status Quo. Una red dedicada al ferrocarril, propiedad de IM, gestionada y mantenida por IM. En este escenario, la tecnología se actualiza de la actual GSM-R a una nueva tecnología de banda ancha que puede satisfacer los requisitos operativos y de QoS de las comunicaciones ferroviarias. La red se implementa utilizando hardware específico para cada propósito. La infraestructura está dedicada a las comunicaciones ferroviarias y sigue siendo propiedad y es administrada por el IM (es decir, el escenario NaaA), mientras que los servicios inalámbricos son proporcionados por operadores externos, el propietario de la red móvil, con un contrato específico como el de hoy;
2. Una red dedicada al ferrocarril propiedad de MNO, gestionada y mantenida por MNO. Como en el caso anterior, se utiliza una nueva tecnología para construir la infraestructura de comunicaciones ferroviarias utilizando hardware específico, pero en este escenario un MNO se encarga de la implementación y mantenimiento de la infraestructura física. La parte de acceso de la red es dedicada al ferrocarril con el fin de garantizar la seguridad y niveles de calidad de servicio apropiados para las operaciones ferroviarias, mientras que algunos componentes y/o segmentos de la red central pueden estar compartidos con la red central comercial de MNO. Este escenario representa una innovación incremental con respecto al status quo;
3. Una red físicamente compartida propiedad y administrada por un MNO. Este escenario requiere un cambio drástico en la comprensión de la infraestructura de red, ya que se basa en los nuevos conceptos de red 5G (por ejemplo, particiones de red, SDN, NFV) previamente introducidos. La red se basa en hardware genérico compartido y una parte de la red se utiliza para crear una red virtual dedicada a los servicios ferroviarios; de esta manera se pueden garantizar niveles de QoS adecuados a los servicios de comunicación crítica de seguridad. Los componentes de hardware de las redes de acceso (por ejemplo, las antenas) pueden dedicarse solamente al ferrocarril, así como algunos otros recursos de hardware pueden dedicarse a los ferrocarriles en despliegues particulares (por ejemplo, zona rural o área urbana congestionada de tráfico). Este escenario representa una innovación radical con respecto al statu quo.

## 6. Conclusión

La migración a una nueva red de comunicación de banda ancha para el sistema ferroviario supone varias decisiones complejas relativas tanto a aspectos técnicos como económicos. MISTRAL investiga esta migración evaluando los aspectos económicos inherentes a un modelo de gestión de NaaS, considerando al mismo tiempo temas tecnológicos relacionados.

El NaaS puede, de hecho, presentar varias cuestiones desde el punto de vista técnico y económico. El riesgo de seguridad relacionado con las aplicaciones de misión crítica es una barrera importante para la entrada de operadores externos en el mercado. Los operadores multinacionales pueden no estar todavía preparados tecnológicamente para desplegar una red con un acuerdo de nivel de servicio requerido por el sistema ferroviario. El costo de implementación (CapEx) también puede ser una barrera de entrada relevante para los MNOs en comparación con las capacidades de IMs en este campo debido a la particularidad del modelo de inversión en el mercado ferroviario. Una intervención estatal apropiada y / o ayudas estatales junto con una intervención reguladora de la comunidad de la UE pueden ser los impulsores más importantes para permitir y facilitar la migración hacia un escenario NaaS. Otro aspecto económico que puede motivar a los operadores multinacionales a invertir en el sector ferroviario es la posibilidad de desplegar nuevos servicios dedicados a los actores ferroviarios y pasajeros. Estos



servicios pueden hacer más interesante el mercado de ferrocarriles a los MNO.

Desde el punto de vista técnico, la actual tecnología 4G, utilizada por las redes públicas, podría ser utilizada para la implementación del nuevo sistema de comunicación ferroviaria. Sin embargo, la versión actual de LTE no ha sido diseñada para soportar servicios de misión crítica. La calidad de servicio requerida y los estándares de seguridad implicarían una arquitectura de red especial que no cumpla totalmente con el estándar LTE actual y los recursos explícitos de hardware deberían reservarse al sistema de comunicaciones ferroviarias.

La próxima tecnología 5G, en cambio, debería ser capaz de ofrecer soporte nativo a las redes críticas, sin necesidad de tener una infraestructura física separada de las redes públicas. Las nuevas prácticas de establecimiento de redes (es decir, reticulación de red, SDN y NFV) permiten crear redes virtuales separadas que utilizan el mismo hardware físico. Esto permitirá asegurar los niveles de QoS requeridos por los servicios críticos de seguridad ferroviaria, al mismo tiempo que ofrecerá la posibilidad a los operadores de redes móviles y otros actores de implementar servicios rentables que puedan viabilizar económicamente la NaaS.

En este artículo, hemos identificado y seleccionado tres escenarios principales que tratan los paradigmas NaaS y NaaS. Desarrollar casos empresariales apropiados para entender cuál podría ser el más viable desde el punto de vista tecnológico y económicamente viable será un paso futuro del proyecto MISTRAL. En la etapa actual, está claro que una nueva tecnología será utilizada después de 2030 y, probablemente, a través de un escenario NaaS. El paso hacia NaaS podría llegar al mismo tiempo, o, más probable, después de un período de tiempo más largo cuando los MNOs sean capaces de proporcionar QoS apropiada y garantizar los SLAs requeridos para servicios críticos de seguridad. Además, deberían crearse nuevos modelos de negocio para los operadores de redes móviles con el fin de explotar las nuevas tecnologías y expandirse en nuevos mercados, como el ferrocarril, y en nuevas líneas de negocio con mayor valor añadido económico, es decir, servicios innovadores.

## Referencias

- Smith, K., 2017. Beyond GSM-R: the future of railway radio. International Railway Journal, March 01.
- Systra, 2016. Study on Migration of Railway Radio Communication System from GSM-R to Other Solutions, Final Report of ERA.
- ERA: "Coexistence of GSM-R with other Communication Systems", ERA 2015 04 2 SC, 2016
- NGTC: "Next Generation of Train Control Systems", <http://www.ngtc.eu>, 2013-2016
- Kapsch CarrierCom, Railway Dedicated Networks (RDN), [https://www.kapsch.net/kcc/solutions/portfolio\\_railways](https://www.kapsch.net/kcc/solutions/portfolio_railways)
- Ericsson Rail and Metro, [https://www.ericsson.com/ourportfolio/industries-solutions/rail-and-metro?nav=fgb\\_101\\_0812](https://www.ericsson.com/ourportfolio/industries-solutions/rail-and-metro?nav=fgb_101_0812)
- Samsung, LTE-R Solution by Samsung, [https://www.samsungsds-nss.com/?p=en\\_LTE-R\\_Solution](https://www.samsungsds-nss.com/?p=en_LTE-R_Solution)



### Agradecimientos

Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n. ° 730840. Las opiniones y resultados discutidos en este documento reflejan únicamente la opinión de los autores y Shift2Rail JU no es responsable del uso que pueda hacerse de la información que contiene el artículo.

