

# ARQUITECTURA DE COMUNICACIONES INALÁMBRICA PARA LA COMUNICACIÓN “TREN-TIERRA” EN EL ÁMBITO DEL FERROCARRIL

Itziar Salaberria  
*Tecnológico Fundación Deusto*  
Avda. Universidades, 24  
48007 Bilbao (SPAIN)  
isalaber@fundacion.deusto.es

Roberto Carballedo  
*Tecnológico Fundación Deusto*  
Avda. Universidades, 24  
48007 Bilbao (SPAIN)  
rcarball@tecnologico.deusto.es

Unai Gutierrez  
*Tecnológico Fundación Deusto*  
Avda. Universidades, 24  
48007 Bilbao (SPAIN)  
unai.gutierrez@gmail.com

Asier Perallos  
*Tecnológico Fundación Deusto*  
Avda. Universidades, 24  
48007 Bilbao (SPAIN)  
perallos@tecnologico.deusto.es

## RESUMEN

El presente artículo describe una arquitectura de comunicaciones inalámbrica de nueva generación, basada en portadoras de telefonía móvil (GPRS) y de banda ancha (WiFi), desarrollada para el ámbito del ferrocarril y que posibilita la comunicación “tren-tierra”. Este canal de comunicación viene a complementar los sistemas de comunicación ferroviaria tradicionales y por sus prestaciones posibilita el despliegue de nuevos tipos de servicios para este sector tales como los servicios orientados al pasajero. Además, el resultado de este trabajo constituye en sí mismo un framework para la adición de nuevas aplicaciones embarcadas con capacidades de conectividad con los puestos de control. Esta arquitectura actualmente está siendo validada y al mismo tiempo está constituyendo la base para la implantación de nuevos servicios digitales en el ámbito del ferrocarril.

## PALABRAS CLAVES

Comunicaciones Inalámbricas, Ferrocarril, WiFi, GPRS, Servicios Web

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde los orígenes del ferrocarril en el siglo XIX la mayor parte de los esfuerzos en innovación y desarrollo se han centrado en los aspectos relacionados con la gestión de la circulación, el soporte a la conducción y la monitorización del estado de los trenes [Shafiullah, G. et. al., 2007]. Todo ello, para garantizar la seguridad de las personas y el propio tren, y el cumplimiento de los horarios. En definitiva, garantizar el servicio del ferrocarril en condiciones seguras. Para lograr esto ha sido necesario establecer un canal de comunicaciones entre los elementos fijos (trenes, maquinaria de reparación de la infraestructura, vehículos de remolque o emergencia, etc.) y los elementos fijos o de tierra (puestos de mando y estaciones, señales, vías, etc.) [Berríos, 2007].

El presente artículo, presenta una arquitectura de comunicaciones, también denominada arquitectura de conectividad inalámbrica, basada en tecnologías y protocolos de comunicaciones estándar, para establecer un canal de comunicación bidireccional entre los elementos fijos del sistema ferroviario y los móviles.

Una vez introducido el ámbito de trabajo, en el segundo apartado de este artículo se incluye una pequeña revisión del estado del arte de las comunicaciones en el ámbito del ferrocarril, el tercero describe la solución propuesta y el cuarto identifica los nuevos escenarios de uso y servicios que surgen en torno a esta nueva arquitectura de comunicaciones; el artículo finaliza con el quinto apartado, donde se detallan las principales conclusiones que se extraen del trabajo que ha servido como base para la realización de este artículo.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Las comunicaciones ferroviarias nacieron casi exclusivamente para la gestión del tráfico y la regulación de la circulación a partir de la comunicación de los elementos fijos entre sí. Las tecnologías que comunican los elementos fijos con los móviles (los trenes) son relativamente recientes, y han permitido mejorar y simplificar las labores de explotación del servicio ferroviario. Por lo tanto, se puede decir que existen dos niveles en el ámbito de las comunicaciones ferroviarias: las que involucran a elementos fijos únicamente, y las que se refieren a elementos fijos y móviles (denominadas comunicaciones “tren-tierra”) [Network Rail, 2007]. Las primeras, las soluciones más eficientes, se basan en sistemas cableados. Las segundas, son las que han sufrido un mayor cambio en los últimos años, ya que requieren que la comunicación sea inalámbrica y móvil [Laplante, 2003].

Tradicionalmente la comunicación entre los elementos fijos y los trenes se ha establecido haciendo uso de sistemas de comunicación analógicos como el teléfono tradicional o sistemas de radio basados en PMR (Private Mobile Radio) [ETSI, 2008]. Estos sistemas analógicos se siguen utilizando para las comunicaciones de voz y para cuestiones relacionadas con la señalización, pero presentan grandes limitaciones en cuanto al ancho de banda, lo cual está provocando una migración hacia sistemas digitales, que ofrecen un mayor ancho de banda.

Dentro de las tecnologías de comunicación “tren-tierra”, uno de los avances más importantes de la última década ha sido el sistema GSM-R (Global System for Mobile Communications - Railway) [UIC, 2008]. Este sistema está basado en la telefonía GSM, pero adaptado para el ámbito del ferrocarril. GSM-R está pensado para intercambiar información entre los trenes y los centros de control, y presenta como ventajas fundamentales su bajo coste, y el apoyo que está teniendo a nivel mundial.

Otra tecnología que presenta una gran difusión en el sector ferroviario es el sistema de radio TETRA (Terrestrial Trunked Radio) [Cordón, 2007], que es un estándar de comunicaciones móvil digital de voz y datos para grupos cerrados de usuarios. El sistema comprende una serie de terminales móviles, similares a un walkie-talkie, que permiten establecer una comunicación directa entre los centros de control, los maquinistas y el personal de mantenimiento, además de poder establecer comunicaciones con teléfonos fijos y móviles. Al ser un sistema de telefonía móvil privado la implantación en el ámbito ferroviario es muy sencilla, ya que se basa en la colocación de una serie de antenas a lo largo de la vía y en las estaciones o centros de control.

Además de las tecnologías de propósito específico mencionadas hasta ahora, cabe destacar el creciente uso de tecnologías de comunicación inalámbricas basadas en telefonía móvil convencional (GSM, GPRS, UMTS), y las soluciones de banda ancha como WiFi [IEEE 802.11, 2007] o WiMAX [IEEE 802.16.2, 2004]. Las redes de área local inalámbricas WiFi posibilitan el intercambio de información, ofreciendo velocidades y anchos de banda muy superiores comparados con el resto de tecnologías. El coste de despliegue de este tipo de redes es muy bajo, pero tienen una limitación en cuanto a la cobertura o distancia que abarcan. Para hacer frente a esta limitación, ha surgido la tecnología WiMAX, que extiende el alcance de WiFi, y es una tecnología muy adecuada para establecer radioenlaces, dado su gran alcance y alta capacidad, a un coste muy competitivo frente a otras alternativas [Muñiz, 2005].

Todas las tecnologías ilustradas hasta ahora tienen por objeto el establecimiento de un canal de comunicación inalámbrico entre elementos fijos y los elementos móviles del ámbito ferroviario, pero ¿qué es lo que ocurre con los servicios que se ofrecen sobre este canal de comunicación?, ¿cómo acceden al canal?, ¿cómo lo comparten? La realidad, es que las aplicaciones o servicios tradicionales del ámbito del ferrocarril pueden agruparse en dos grandes grupos: (1) servicios relacionados con la señalización y control del tráfico; y (2) servicios orientados a la monitorización del estado del tren.

El primer grupo de servicios, se basan en el intercambio de información entre los elementos de la infraestructura (vías, señales, pasos a nivel, etc.) y los centros de control, todos ellos elementos fijos. Además, se utiliza la comunicación de “viva voz” entre los maquinistas y los operadores de los centros de control. Por lo tanto, para este tipo de servicios, los tradicionales sistemas de comunicación basados en tecnologías analógicas todavía siguen teniendo vigencia.

El segundo grupo de servicios requieren el intercambio de información en forma de “datos” entre los trenes y los centros de control. En este caso, los nuevos servicios hacen uso de alguna de las tecnologías inalámbricas mencionadas hasta ahora, pero de manera exclusiva, es decir, cada aplicación embarca en el tren el hardware necesario para las comunicaciones inalámbricas, con lo que los trenes están llenos de dispositivos de comunicaciones dedicados que posiblemente estén infrutilizados. Además, todavía son

muchas las aplicaciones que requieren de la conexión física “mediante un cable” entre los dispositivos del tren y un equipo informático para el volcado de información o realizar labores de actualización.

Por otro lado, está surgiendo un nuevo grupo de servicios que giran en torno al usuario final del ferrocarril (pasajeros o empresas que contratan un servicio de transporte). Estos servicios están orientados a ofrecer un servicio de transporte de mayor calidad que no sólo es seguro y llega a la hora, sino que ofrece al usuario servicios adicionales como pueden ser: mayor información acerca de la ubicación de los trenes y horarios, servicios de publicidad contextual, video bajo demanda, etc. Todos estos servicios se caracterizan por necesitar un canal de comunicaciones inalámbrico con un gran ancho de banda y una cobertura amplia. Como conclusión se puede decir que es necesario, (1) uniformizar la forma de comunicar el tren con los centros de control de tierra para las aplicaciones relacionadas con la monitorización del estado del tren; y por otro lado, (2) definir una arquitectura de comunicaciones inalámbrica que se adapte de forma adecuada a los nuevos servicios que giran en torno al usuario final del ferrocarril [Aguado, 2005].

### 3. ARQUITECTURA DE COMUNICACIONES “TREN-TIERRA”

Para dar respuesta a las dos cuestiones relativas a la necesidad de un nuevo canal de comunicación de propósito general y con un gran ancho de banda y cobertura para el ámbito ferroviario, pasamos a continuación a presentar el resultado de nuestro trabajo llevado a cabo en colaboración con empresas del sector ferroviario de nuestro entorno: EuskoTren y ETS (País Vasco), y Renfe Operadora (España).

En este sentido, se ha definido un canal de comunicación inalámbrico de propósito general, que permite comunicar el tren (en general los trenes) con “tierra”, de manera que las aplicaciones o servicios se despreocupen de todas las cuestiones referentes a la comunicación como son: establecimiento y cierre de la comunicación, gestión del estado de las conexiones, asignación de prioridades a la información, etc.

La nueva arquitectura de comunicaciones inalámbrica tiene que dar respuesta a la demanda de comunicación y transmisión de información de cualquier aplicación, por lo tanto tendrá que tener muy en cuenta la naturaleza de la información que se envía. La información intercambiada entre dos aplicaciones (una en tierra y otra embarcada en un tren) puede tener más o menos urgencia dependiendo de la finalidad o el tratamiento que dichas aplicaciones le den a la información intercambiada.

En el ámbito del ferrocarril, existe información que precisa ser transmitida en el momento en que se genera, como puede ser el caso de la información de posicionamiento o alarmas de algún elemento crítico para el funcionamiento del tren. Por otro lado, puede haber información menos urgente cuya transmisión puede ser pospuesta y no es necesario su envío una vez generada, como pueden ser las imágenes del CCTV del interior del tren, o los ficheros de audio utilizados por el hilo musical. Además, la información urgente o prioritaria suele tener un volumen muy pequeño comparado con la información no prioritaria.

Por este motivo, la arquitectura de comunicaciones propuesta diferencia dos tipos de comunicaciones:

- **Comunicaciones “ligeras”**: este tipo de comunicación es la que permite el intercambio de información en tiempo real. Se denominan comunicaciones “ligeras” dado que el tamaño de la información transmitida será pequeño (del orden de bytes o unos pocos Kbytes). La información que se transmite utilizando este esquema de comunicación suele ser prioritaria o urgente, por lo tanto debe transmitirse en cuanto se produce, ya que deja de tener validez o importancia si no se transmite en tiempo real. Por ejemplo, en una aplicación de posicionamiento de trenes las posiciones que no se pueden transmitir en cuanto se obtienen, dejan de ser relevantes.
- **Comunicaciones “pesadas”**: hay información muy voluminosa o que no es prioritaria, y por lo tanto no es necesario que se transmita y procese en tiempo real. Para este tipo de información se definen las comunicaciones “pesadas” que involucran la transmisión de grandes cantidades de información (del orden de Mbytes).

Así, al igual que se han diferenciado dos tipos de comunicaciones, también se distinguen dos medios de transmisión, uno por cada tipo de comunicación descrita anteriormente. De esta manera, las comunicaciones “pesadas” se enviarán utilizando la tecnología WiFi mientras que para las comunicaciones “ligeras” se ha seleccionado la tecnología GPRS, que permite una comunicación en tiempo real haciendo uso de los medios de comunicación ofrecidos por los proveedores de telefonía sin tener que realizar ningún tipo de instalación de elementos de infraestructura física.

La elección de las tecnologías WiFi y GPRS no garantiza la disponibilidad de cobertura para la comunicación en el 100% de los casos (por ejemplo, no suele haber cobertura GPRS en muchos túneles o zonas montañosas a menos que los operadores de telefonía instalen antenas específicas), pero es suficiente para las necesidades de comunicación que demandan los servicios que serán desplegados sobre la arquitectura, ya que combinando las tecnologías WiFi y GPRS, se puede decir que prácticamente se puede alcanzar el 100% de la cobertura, puesto que los trenes realizan recorridos conocidos, es decir, las vías son fijas. Pese a que la elección tecnológica inicial se ha decantado por las tecnologías WiFi y GPRS, como la arquitectura estará basada en estándares, podría migrarse con facilidad a otras tecnologías de transmisión como pueden ser WiMax o una red TETRA, que podrían aumentar la cobertura de comunicación acercándola al 100%.

Teniendo en cuenta lo anterior, dentro de la infraestructura de comunicaciones inalámbrica propuesta se distinguen dos modos de comunicación: ligeras y pesadas, cada uno de ellos supervisado en “tierra”, por el *Gestor de Comunicaciones Ligeras* y el *Gestor de Comunicaciones Pesadas* respectivamente.

### 3.1 Comunicaciones Ligeras

Las *Comunicaciones Ligeras* se han diseñado con el objeto de permitir que las aplicaciones de “tierra” y las aplicaciones embarcadas se puedan comunicar en tiempo real proveyendo un canal de comunicaciones transparente e independiente de la funcionalidad de las aplicaciones individuales existentes o las que surjan en el futuro.

Dada la necesidad de entrega de información en tiempo real, para este tipo de comunicaciones es indispensable seleccionar una tecnología móvil que permita la comunicación de los trenes con un sistema central en todo momento. Para ello se ha seleccionado la tecnología GPRS (que dependiendo de las infraestructuras de la compañía podría ser sustituida por una red privada como TETRA o GSM-R). Para aumentar la disponibilidad de cobertura, el hardware instalado en cada unidad o tren dispone de dos tarjetas móviles, pertenecientes a dos proveedores diferentes de telefonía para posibilitar la conmutación entre ambas en función de la existencia de cobertura o no por uno u otro medio. Por tanto, la idea es tener un operador predefinido, y en caso de no poder enviar a través de éste conmutar al otro operador establecido como secundario.

Además del equipamiento hardware, para poder hacer posible esta comunicación tanto en el lado del tren como en el lado de “tierra”, hace falta la instalación de un software que gestione dichas comunicaciones, y se encargue de recibir/Enviar información de y hacia las aplicaciones embarcadas o de “tierra” según sea el caso. Como se muestra en la Figura 1 se han definido dos elementos, uno en tierra y otro embarcado en los trenes denominados *Gestor de Comunicaciones Ligeras* y *Gestor de Comunicaciones Embarcado* respectivamente.

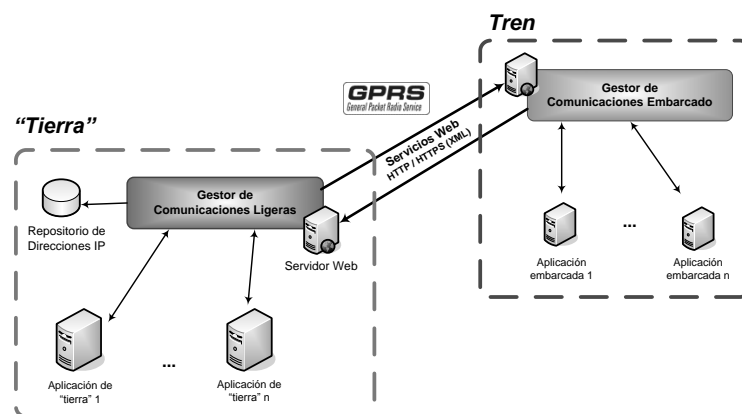


Figura 1: Estructura de las *Comunicaciones Ligeras*

Cada tren dispone de un *Gestor de Comunicaciones Embarcado* (en cada locomotora) que se comunica con el *Gestor de Comunicaciones Ligeras* situado en el puesto de mando central (en “tierra”). La comunicación entre estos módulos se realiza sobre HTTP a través de Servicios Web REST, intercambiando información en formato XML. El uso de este tipo de tecnología ofrece escalabilidad, interoperabilidad,

independencia en el desarrollo, y facilita el uso de sistemas intermedios para reducir el tiempo de interacción y mejorar la seguridad entre otras cosas.

La responsabilidad del *Gestor de Comunicaciones Ligeras y Embarcado* será recibir y enviar información entre aplicaciones de “tierra” y aplicaciones embarcadas en el tren. Para ello, añaden a la información de las aplicaciones finales una cabecera que identifica el origen y destino de la información (simulando el envío de información por e-mail en el que se identifica el origen y destinatario). La forma de identificar las diferentes aplicaciones es totalmente transparente a las aplicaciones finales, siendo el *Gestor de Comunicaciones Embarcado* y el *Gestor de Comunicaciones Ligeras* los encargados de realizar la traducción de ‘nombres de aplicaciones’ a direcciones IP.

Un tema importante dentro de la infraestructura es la localización física de los trenes, es decir, la obtención de la dirección IP de cada tren. El *Gestor de Comunicaciones Ligeras* es capaz de identificar y localizar el *Gestor de Comunicaciones Embarcado* del tren destino a partir de los datos que contiene la cabecera de la información intercambiada. En este punto es importante recordar que cada uno de los trenes va equipado de dos tarjetas de móvil, cada una de ellas con una dirección IP diferente. Con el propósito de controlar este hecho, y para poder realizar una localización de trenes adecuada, el *Gestor de Comunicaciones Ligeras* dispone de un repositorio con las direcciones IP asociadas a cada tren. De este modo, cuando llegue al *Gestor de Comunicaciones Ligeras* una petición de envío de información, éste obtiene el dato del tren destino, identifica la dirección IP correspondiente, y realiza el envío de la información al *Gestor de Comunicaciones Embarcado*, que a su vez, identifica la aplicación destinataria de la información y se la entrega.

Como se puede observar, todas las comunicaciones tienen que pasar por dos elementos centrales, que pueden acarrear la pérdida de disponibilidad del canal en caso de fallo. Este problema se resuelve mediante el uso de una solución basada en servicios web, en la que se pueden montar servidores web de respaldo, al igual que se hace en las arquitecturas web tradicionales. Además, por el hecho de utilizar el protocolo de comunicaciones HTTP, facilitaría la incorporación de un canal de comunicaciones seguro, migrando la solución al protocolo HTTPS [Craven, 2005].

## 3.2 Comunicaciones Pesadas

Para las *Comunicaciones Pesadas* definidas en la arquitectura, se han instalado una serie de redes WiFi en los lugares en que los trenes están un intervalo de tiempo suficiente como para garantizar la descarga con garantías de cierto volumen de información, esto es: estaciones cabecera en las que se inicia o termina un recorrido, talleres y cocheras. De esta forma, se puede decir que la cobertura WiFi no es total, pero cabe resaltar que las *Comunicaciones Pesadas* están pensadas para tareas de actualización de grandes volúmenes de información, que en principio no tienen porqué realizarse en tiempo real. Además, migrando la solución sobre una red de tipo WiMAX, podría garantizarse la cobertura prácticamente en la totalidad de la línea, con lo que incluso la solución de *Comunicaciones Ligeras* también podría canalizarse a través de la red WiMAX.

El esquema funcional de este tipo de comunicaciones es muy parecido al de las *Comunicaciones Ligeras* (ver Figura 2). En este caso también será necesario un mecanismo para localizar a los trenes, con la diferencia de que los trenes no dispondrán de una dirección IP conocida en todo momento, sino que tomarán una dirección IP de la red WiFi en la que estén conectados, que no siempre tiene porqué ser la misma. Por otro lado, la existencia de diversas aplicaciones de “tierra” que vayan a comunicarse con unidades de tren, y el hecho de que el volumen de la información transmitida en estas comunicaciones sea grande, hace entrever la existencia de un problema de monopolización del ancho de banda del canal de comunicación.

Para dar respuesta a estos problemas surge la figura del *Gestor de Comunicaciones Pesadas*, un sistema que arbitra y distribuye turnos para que las aplicaciones de “tierra” y las embarcadas se comuniquen. De esta forma las aplicaciones de “tierra” solicitan un turno cuando quieren establecer una comunicación pesada con un tren. Dicha distribución de turnos se gestiona en base al estado de conexión del tren a una red WiFi (conocido en todo momento) y un sistema de prioridades, que se asignan en función de la aplicación de “tierra” que quiere comunicarse con el tren.

Cuando el *Gestor de Comunicaciones Pesadas* decide dar un turno para que una aplicación de “tierra” y un tren inicien una comunicación, envía una autorización a cada parte para que ésta se lleve a cabo. Para ello, el gestor establece una comunicación con cada aplicación de “tierra” y cada *Gestor de Comunicaciones*

Embarcado de un tren mediante Sockets TCP. Sobre éstos, se han definido una serie de mensajes en formato XML que hacen las veces de protocolo de comunicación.

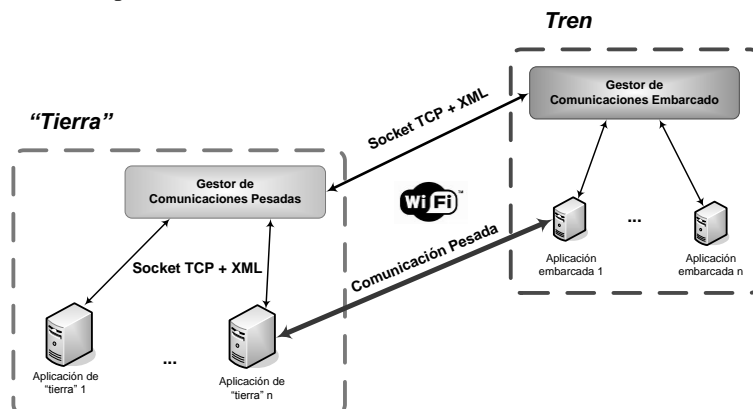


Figura 2: Estructura de las *Comunicaciones Pesadas*

Para explicar de forma simple el funcionamiento del *Gestor de Comunicaciones Pesadas*, he aquí la representación de un escenario típico:

- En primer lugar se conecta al gestor mediante un Socket TCP alguna aplicación de “tierra” diseñada para comunicarse remotamente con una aplicación embarcada en un tren.
- Dicha aplicación le realiza una petición de comunicación a la que le otorga la prioridad que estime necesaria. En el momento que el gestor recibe la petición, la ordena dentro de la cola de peticiones pendientes para el tren.
- Cuando un tren llega a una estación, se conecta a la red WiFi obteniendo una dirección IP nueva, que es comunicada por el *Gestor de Comunicaciones Embarcado* al *Gestor de Comunicaciones Pesadas*. Si dicho tren tiene peticiones de comunicación pendientes, se le notifica tanto a la aplicación de “tierra” como a la aplicación embarcada del tren que pueden iniciar la comunicación.
- En este momento se produce la comunicación directamente entre la aplicación de tierra y la aplicación embarcada, a través de la red WiFi. La responsable de iniciar la comunicación, es la aplicación de “tierra” ya que conoce la dirección IP de la aplicación embarcada.
- Cuando la comunicación finaliza, la aplicación de “tierra” se lo comunica al gestor de actualizaciones y descargas, que se dispone a servir la siguiente petición de comunicación más prioritaria, en caso de haberla.

El sistema de prioridades, tiene en cuenta el número de reintentos de inicio de una comunicación, para evitar que alguna petición de comunicación bloquee el canal. Además, para ofrecer un nivel extra de seguridad, cada aplicación de “tierra” utiliza un puerto específico para la comunicación con las aplicaciones embarcadas. Esto se consigue haciendo que el *Gestor de Comunicaciones Embarcado* haga una traducción PAT de puerto a dirección IP, para que las direcciones IP de las aplicaciones embarcadas no sean conocidas desde el exterior.

Cabe resaltar que el esquema de *Comunicaciones Pesadas*, no establece ninguna restricción en cuanto a la comunicación final entre las aplicaciones de “tierra” y las aplicaciones embarcadas. No se define ningún formato o estructura de la información que se intercambia, lo único que se establece es un mecanismo para conocer la dirección IP del tren destino (porque es dinámica), y regular o controlar los turnos de transmisión para evitar el monopolio del canal de comunicación.

## 4. ESCENARIOS DE APLICACIÓN Y SERVICIOS

La implantación de la arquitectura de comunicaciones inalámbrica descrita en este artículo sería la base de diversos servicios digitales a desarrollar, que facilitasen la labor diaria en el ámbito ferroviario, además de aumentar la calidad del servicio ofrecido. Estos servicios podrían ser catalogados en tres diferentes grupos dependiendo de su objetivo: (1) servicios relacionados con la monitorización del estado del tren, (2) servicios

para los usuarios finales, y (3) servicios orientados al maquinista, que es un elemento clave en el sistema de ferrocarril, porque es el encargado de conducir el tren.

El primer grupo se centraría en servicios que permitieran realizar labores de mantenimiento, gestión, control del tráfico e incluso de seguridad. Gracias a la posibilidad de poder conectarse inalámbricamente con las unidades, se facilita sobremedida el poder saber en cada momento el estado de cada tren, no sólo obteniendo la ubicación en cada momento, sino comprobando que todos sus elementos críticos funcionan de forma correcta. Asimismo, se podría llevar el proceso de mantenimiento de estos elementos críticos de una forma más eficaz, ya que podría recogerse su información de forma más rápida, ahorrando recursos tanto humanos como tecnológicos. En este caso, la mayor parte de los intercambios de información se realizarían haciendo uso del esquema de *Comunicaciones Ligeras* puesto que datos como la posición o alguna alarma de un dispositivo, serían muy urgentes, y de tamaño reducido. Por otro lado, también podría descargarse a través de las *Comunicaciones Pesadas*, información histórica de estados de dispositivos, consumos, etc.

Otra de las utilidades que se podría desarrollar es la descarga de las grabaciones realizadas por el sistema de video vigilancia CCTV instalado en los vagones de cada tren. De este modo, una aplicación de “tierra” ubicada en el exterior podría descargar y almacenar el contenido de las grabaciones realizadas por las cámaras de seguridad de una forma rápida y cómoda gracias a la comunicación inalámbrica, que en este caso sería pesada (a través de WiFi) dado el volumen de información que va a ser transmitido.

En cuanto a los servicios orientados al usuario final, podría desarrollarse un sistema de posicionamiento de los trenes basado en GPS, para que los usuarios pudiesen consultar en tiempo real la información relativa a horarios, ubicación y retraso de los trenes en los que esté interesado. Este sistema sería especialmente interesante para que empresas que utilicen el tren como medio de transporte de mercancías puedan visualizar en todo momento el estado del transporte de sus productos, es decir, información tal como el punto geográfico donde se encuentra el tren o si va a llegar al destino en el plazo esperado, e incluso monitorizar algún parámetro de la mercancía transportada, como por ejemplo la temperatura de un contenedor frigorífico. Otro servicio a tener en cuenta para los viajeros de un tren, sería la implantación de publicidad contextual en los vagones del tren, que se actualizaría con información relativa a los sitios por los que el tren fuera pasando, o con anuncios de comercios de la zona.

En lo referente a los servicios orientados al maquinista o personal del tren, una de las utilidades más relevantes a desarrollar sería un sistema de descarga y/o actualización de documentos con información de interés para el personal embarcado en el tren desde una aplicación del exterior. Dicho sistema sería de gran ayuda ya que el maquinista podría obtener información actualizada sobre cualquier elemento que quisiera (desde itinerarios de ruta hasta protocolos de seguridad) de forma rápida, facilitando así su labor. Con esta última utilidad, se liberaría al maquinista de la carga que supone la información que a día de hoy lleva en papel, y además, permitiría incluso la notificación on-line de actualizaciones de dicha documentación.

## 5. CONCLUSIÓN

En la industria ferroviaria las comunicaciones nacieron casi exclusivamente con el propósito de gestionar el tráfico y regular la circulación, requiriendo por la naturaleza móvil de este sector dos modalidades de comunicación: aquellas que se dan entre los elementos fijos de la infraestructura ferroviaria, las cuales están basadas mayoritariamente en sistemas cableados; y aquellas en las que participan elementos fijos y móviles (denominadas comunicaciones “tren-tierra”), las cuales requieren un canal de comunicación inalámbrico y que tradicionalmente se han materializado en base al uso de sistemas de comunicación analógicos como el teléfono tradicional o la radio.

Dichos canales de comunicación se han empleado tradicionalmente en este sector para proveer servicios principalmente relacionados con la señalización y el control del tráfico y para dotar de servicios orientados a la monitorización del estado del tren. A día de hoy, a pesar de la madurez del sector y de los espectaculares avances en lo que a comunicaciones inalámbricas se refiere, la industria del ferrocarril sigue basando sus servicios primarios de funcionamiento en este tipo de sistemas de comunicación del pasado. Concretamente, las tecnologías de comunicación inalámbricas de nueva generación, como las basadas en tecnología móvil convencional (léase GSM, GPRS o UMTS), o las soluciones de banda ancha (como WiFi o WiMAX), tienen innumerables posibilidades de aplicación en un sector como el del ferrocarril, ya que el coste de su despliegue es muy bajo, complementan perfectamente a los sistemas de comunicación tradicionales, y por su

gran ancho de banda y amplia cobertura posibilitan el despliegue de nuevos servicios en este ámbito, como son todos aquellos que giran en torno al usuario final y van encaminados a ofrecer un servicio de transporte de mayor calidad.

Esta oportunidad motivó precisamente la realización de un trabajo como que se describe en este artículo: una arquitectura de comunicaciones inalámbricas de nueva generación para la industria de ferrocarril que establezca un canal de comunicación bidireccional “tren-tierra”. Dicha arquitectura constituye un canal de comunicación único entre todas las aplicaciones embarcadas y las de los centros de control, uniformizando de esta forma la transmisión de datos entre éstas. Así, este canal constituye un recurso compartido por todas, liberándolas de los detalles inherentes a las comunicaciones (y por tanto simplificándolas), proveyendo este canal de servicios avanzados orientados a la comunicación, tales como el tratamiento selectivo de los envíos en función de la naturaleza de la información a transmitir (urgencia) y su volumen, la localización de destinos de los mensajes en base a mapeos de direcciones IP, la gestión de prioridades y arbitraje de los turnos de envíos de información, la gestión de reintentos, etc. Esta arquitectura posibilitará la adición de nuevos servicios alrededor de ella, constituyendo un marco muy adecuado para la habilitación de nuevos tipos de servicios orientados al usuario, los cuales normalmente requieren movilidad y anchos de banda muy superiores a los ofrecidos por los sistemas de comunicación tradicionales.

La implantación de la arquitectura de comunicaciones inalámbrica descrita está siendo la base de nuevos servicios digitales que actualmente se están desarrollando, siendo su naturaleza u objetivo muy diverso: desde servicios para la monitorización del estado del tren, como servicios para los usuarios finales, hasta servicios orientados a asistir en la conducción al maquinista. Como líneas de trabajo futuras, destacamos: (1) el desarrollo de nuevos servicios digitales y (2) la adopción de buenas prácticas de Ingeniería del Software y estándares de interoperabilidad que posibiliten que la adición e integración de nuevos servicios y aplicaciones en la arquitectura sea fácil de llevar a cabo.

## REFERENCIAS

- Aguado, M., et al, 2005. *Railway signaling systems and new trends in wireless data communication*, in *Veh. Tech. Conference*, Sep'05, pp. 1333-1336
- Berrios, A., 2007. Las comunicaciones ferroviarias: avances y reto. *Anales de mecánica y electricidad*, Vol. 84, Fasc. 1, páginas 64-69.
- Craven, P. V. and Craven, S., 2005. *Security of ATCS wireless railway communications*, in *Joint Rail Conf.*, Colorado, Marzo, pp. 227-238
- Cordón, N., 2007. TETRA apuesta por una comunicación crítica y segura. *COMPUTERWORLD*. [En línea], junio, disponible en <http://www.idg.es/ComputerWorld/articulo.asp?id=184625>
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute), 2008. Digital Mobile Radio Technologies. [En línea], octubre, disponible en: <http://www.etsi.org/WebSite/Technologies/DigitalMobileRadio.aspx>
- IEEE 802.11, 2007. *IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*
- IEEE 802.16.2, 2004. *IEEE Recommended Practice for Local and metropolitan area networks. Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access Systems*
- Laplante, P. A. and Woolsey, F. C., 2003. IEEE 1473: An open source communications protocol for railway vehicles, *IEEE Computer Society*, Vol. 5, páginas. 12-16, Nov-Dec'03
- Muñiz, I., 2005. WIMAX: El Nuevo Acceso Inalámbrico a Internet. *Cinit*. [En línea], febrero, disponible en: <http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=31>
- Network rail, 2007. *Railway communications system*. Network Rail, Tech. Rep. [En línea], febrero, disponible en: <http://www.networkrail.co.uk/aspx/3606.aspx>
- UIC (Union Internationale des Chemins de fer), 2008. GSM-R Specifications. [En línea], marzo, disponible en: <http://www.uic.asso.fr/uic/spip.php?rubrique851>
- Shafiullah, G., Gyasi-Agyei A. and Wolfs, P. J., 2007, *Survey of Wireless Communications Applications in the Railway Industry*. 2nd International Conference on Wireless Broadband and Ultra-Wideband Communications (AusWireless), 27-30 August, Sydney, Australia.