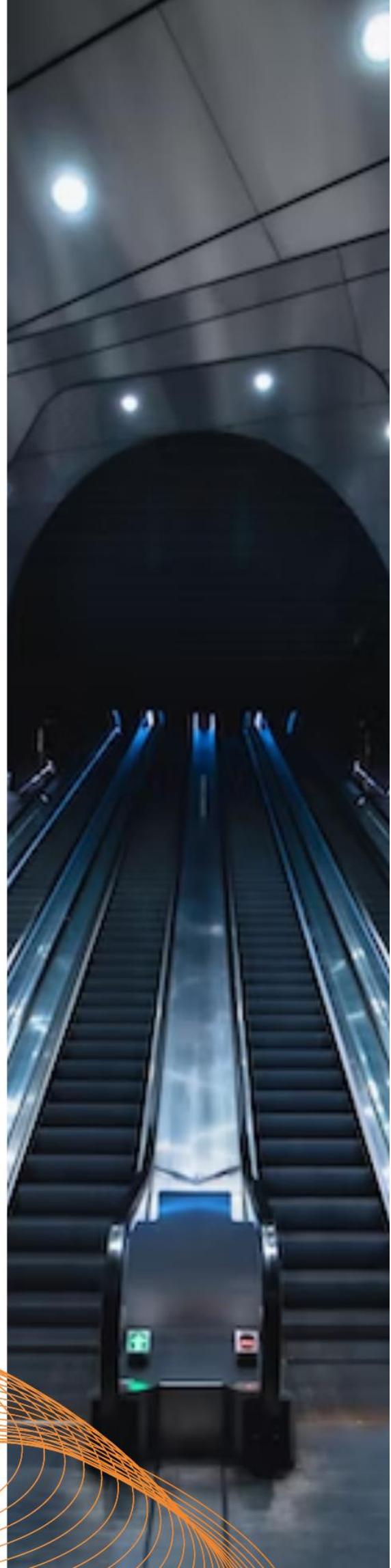


# LA ESTACIÓN DEL FUTURO

2023

Promovido por



# LA ESTACIÓN DEL FUTURO

Documento de trabajo promovido por la Plataforma Tecnológica Española de la Construcción y Railway Innovation Hub en el que han participado 41 agentes pertenecientes a una u otra entidad promotora a través de 7 grupos de trabajo diferenciados.



La iniciativa ha sido coordinada por las empresas SISTEM, DILAX Y ARCHIBUS y ha contado con la colaboración de Ayming España, S.A.U.



ayming

El documento ha sido editado e impreso con el patrocinio de:



Mayo 2023

# Índice

<b>CARTA DE PRESENTACIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>EXPERIENCIA DEL VIAJERO. Explotación de infraestructuras .....</b>	<b>11</b>
1. Introducción y objetivos.....	12
2. Metodología para abordar el problema .....	12
3. Preparación del viaje .....	13
4. Estancia en la estación, espera y embarque.....	20
5. Cambio modal.....	50
6. Estudios de resultados.....	57
<b>ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>63</b>
1. Introducción y objetivos.....	64
2. Estado del arte y retos .....	65
3. Soluciones tecnológicas .....	69
4. Mapa de tecnologías .....	79
5. Casos de uso .....	80
<b>DISEÑO, GESTIÓN y MANTENIMIENTO .....</b>	<b>87</b>
1. DISEÑO de estaciones orientadas al usuario final.....	87
2. DISEÑO de andenes y puertas de andén.....	92
3. DISEÑO estaciones multifunción, adaptativas y flexibles.....	96
4. DISEÑO Estación modular .....	98
5. DISEÑOS futuristas .....	100
6. GESTIÓN y MANTENIMIENTO. Tecnología Robótica.....	103
7. GESTIÓN de catástrofes .....	106
8. GESTIÓN de la información. IoT & open data .....	112
9. GESTIÓN de la información. Blockchain & MaaS .....	114
10. GESTIÓN. El Metroverso .....	117
11. MANTENIMIENTO. Operaciones de mantenimiento de Metro City .....	119
12. Conclusiones.....	120
<b>ENERGÍA. INTEGRACIÓN DE SISTEMAS ENERGÉTICOS SOSTENIBLES .....</b>	<b>123</b>
1. Introducción y objetivos.....	124
2. Análisis de las distintas fuentes de energía .....	126
3. Transformación digital.....	136
4. Flexibilidad energética .....	138

<b>SOSTENIBILIDAD. MATERIALES, AGUA Y RESIDUOS.....</b>	<b>143</b>
1. Introducción y objetivos.....	144
2. Estado del arte y retos .....	145
3. Soluciones tecnológicas .....	147
4. Mapa de tecnologías .....	158
5. Conclusiones y retos.....	158
6. Casos de uso .....	159
<b>SEGURIDAD Y CIBERSEGURIDAD .....</b>	<b>163</b>
1. Resumen ejecutivo .....	164
2. Introducción y objetivos.....	164
3. Estado del arte y retos .....	165
4. Mapa de tecnologías .....	168
5. Conclusiones.....	168
6. Casos de uso .....	169
<b>INTERMODALIDAD E INTEGRACIÓN CON EL ENTORNO.....</b>	<b>177</b>
1. Introducción y objetivos.....	177
2. Estado del arte y retos .....	180
3. Soluciones para una mejor planificación de las estaciones.....	183
4. Soluciones tecnológicas .....	187
5. Mapa de tecnologías .....	189
6. Conclusión y retos para el futuro.....	192
7. Casos de uso .....	193
<b>REFERENCIAS, FIGURAS y TABLAS .....</b>	<b>199</b>
1. Referencias.....	200
2. Figuras.....	202
3. Tablas .....	205



Stadion



14 arriving eastbound 7 min  
14 eastbound 2 min 14 1100





# CARTA DE PRESENTACIÓN



El presente documento es fruto de una iniciativa conjunta promovida por la Plataforma Tecnológica de la Construcción y por Railway Innovation Hub, iniciada en 2022.

Su objetivo es presentar un modelo de referencia de Estación del Futuro, referido al modo de transporte ferroviario e integrado en el conjunto del núcleo urbano en el que se inserta y con una visión de intermodalidad con otros modos de transporte.

Modelo que incorpora de manera óptima los desarrollos tecnológicos y tendencias, ya en desarrollo o previstas a corto y medio plazo, en el ámbito de esta infraestructura de transporte, incorporando cuestiones relacionadas con la sostenibilidad e integración.

Con esta finalidad, la iniciativa ha contado con la participación de 41 entidades, pertenecientes a una u otra entidad promotora, incluyendo empresas, centros tecnológicos y universidades, abarcando todo el espectro de conocimiento y de aplicación.

Tales participantes, en base a su experiencia, se encargaron del desarrollo de las diferentes temáticas, coincidentes con los principales capítulos del documento, y que analizaron diversos indicadores de estudio para alcanzar el modelo pretendido de Estación: el actual estado del arte, la identificación y caracterización de las principales funcionalidades, el mapa de tecnologías y soluciones aplicables, así como la definición de una serie de propuestas y proyectos demostradores.

En definitiva, supone un documento de referencia y de consulta para los distintos agentes que intervienen en la construcción y gestión de esta infraestructura, así como para la ideación de nuevas propuestas que pueden desembocar en esa nueva Estación del Futuro.

La Plataforma Tecnológica Española de la Construcción PTEC ([www.plataformaptec.es](http://www.plataformaptec.es)) tiene como objetivo contribuir a la mejora del sector de la construcción a través de la cooperación público-privada en la investigación, el desarrollo y la innovación, llevada a cabo entre empresas, asociaciones empresariales, universidades, centros de investigación, centros tecnológicos y clientes. Creada en octubre del 2004, tiene una clara vocación de ayuda al sector construcción en toda su cadena de valor. La PTEC cuenta actualmente cuenta con más de 160 miembros y desarrolla su actividad en jornadas, propuestas de proyectos, documentos sectoriales, desarrollo de Grupos de trabajo, de carácter tecnológico y transversal, así como todas aquellas actividades que puedan dar apoyo al sector en materia de innovación.

Railway Innovation Hub ([www.railwayinnovationhub.com](http://www.railwayinnovationhub.com)) es un clúster de empresas y agentes, con sede en Málaga, y que nace en 2017 con la vocación de ser un referente en la innovación ferroviaria. Con más de 85 socios que abarcan el conjunto de la cadena de valor, centra su actividad en el desarrollo de acciones e iniciativas de promoción de la investigación y la innovación para la generación de nuevas soluciones y desarrollos que puedan trasladarse a la movilidad ferroviaria, siendo la única Agrupación Empresarial Innovadora (AEI) del sector.





El documento  
ha sido editado  
e impreso con  
el patrocinio  
de:





# EXPERIENCIA DEL VIAJERO. Explotación de infraestructuras

1. Introducción y objetivos	12
2. Metodología para abordar el problema	12
3. Preparación del viaje	13
4. Estancia en la estación, espera y embarque	20
5. Cambio modal	50
6. Estudios de resultados	57

## COORDINADORES



## OTRAS ENTIDADES PARTICIPANTES



En colaboración con:





## 1. Introducción y objetivos

La experiencia del viajero del modo ferroviario es una temática tratada con cierta profusión en la última década. Es especialmente interesante estudiar cómo el estudio de la percepción del usuario de la estación permite adentrarse en el sentimiento de confort, seguridad, rapidez, facilidad de acceso o sostenibilidad que se genera en cada una de las fases del viaje.

Por otro lado, desde un punto de vista amplio, los usuarios de la estación pueden ser múltiples. El viajero es quizás el más evidente de ellos, pero no se pueden obviar otros individuos que también desarrollan alguna actividad que interactúa con el activo: acompañantes, trabajadores, cargadores de mercancías, operadores logísticos, clientes de usos anexos -comerciales, recreativos- etc. Es amplio el abanico que se puede abrir en un elemento orgánico, de aplicaciones y usos crecientes, como es una estación ferroviaria moderna.

El presente capítulo quiere poner el foco en los viajeros, como usuarios más evidentes y especializados del activo, por cuanto de su análisis se pueden derivar aprendizajes útiles para el resto de los individuos que interaccionan con el activo, pero también, por ser los usuarios que aprovechan el total de las especificidades físicas del edificio-estación. Al fin y al cabo, son los únicos usuarios que realizan el trasvase modal al ferrocarril, presentando una mayor complejidad en cuanto a puntos de contacto.

## 2. Metodología para abordar el problema

### 2.1. Estado del arte

Desde hace más de 15 años existe literatura relativamente abundante que refleja de manera sistemática la relación entre la mejora de la percepción de la calidad del viaje y la eliminación de fricciones en los diferentes puntos de contacto que el individuo tiene, tanto con el activo, como con los diversos agentes que dan soporte al viaje por ferrocarril.

En 2017 Van Hagen y Van der Made enunciaron las tres emociones o sentimientos que los usuarios deben controlar y tener potenciados de una manera positiva para tener una buena percepción del viaje:

- 1) Control: Deben tener la información necesaria para llevar a cabo el trayecto y entender la situación en la que se encuentran.
- 2) Sentirse apreciados o valorados: Los viajeros quieren sentirse bienvenidos y que se les toma en serio en relación con sus necesidades y preferencias.
- 3) Libertad: Deben contar con la capacidad de utilizar su tiempo de la mejor manera posible de acuerdo con sus preferencias personales.

Adicionalmente, los tres principios anteriores se podrían considerar como una pirámide de necesidades crecientes y excluyentes. De este modo, un viajero quiere primero control sobre la situación, para, una vez conseguido, necesitar sentirse apreciado y, finalmente, poder hacer uso de su tiempo. Sin embargo, si no cuenta con control o con sentimiento de sentirse respetado, es difícil que se preocupe por hacer buen uso de su tiempo. Es decir, sin que se de 1, es difícil analizar cómo potenciar los factores 2 o 3.

Este marco conceptual ha sido reforzado por varios estudios. En concreto, la encuesta de Oliveira para la Universidad de Warwick en el mismo año, con una muestra limitada pero representativa de viajeros, establecía mediante el empleo de la metodología de customer journey cómo las percepciones de los viajeros se alineaban con los tres principios anteriores.

### 2.2. Customer Journey para el viajero por ferrocarril

Ya en 1999 Tseng, Qin Hai y Sy describieron la metodología del Customer Journey como la más adecuada para mejorar el rendimiento de servicios al público, mientras que posteriormente, Desmet & Hassenzahl, en 2012, estudiaron el empleo de tecnología para mejorar las experiencias positivas.

El Customer Journey es la serie etapas, interacciones, canales y elementos por los que atraviesa un usuario de un servicio entre dos momentos determinados del proceso que materializa el servicio prestado. Cada una de esas etapas, interacciones, canales y elementos cuenta con unas percepciones y emociones del usuario asociadas a la atención recibida. Cuando se realiza una representación gráfica de estas etapas



y los sentimientos asociados, se cuenta con un customer journey map. La detección de los puntos de contacto con el usuario en los que se produce un mayor estrés de la percepción es clave de cara a mejorar la calidad percibida del servicio.

El trabajo de Van Hagen y Van der Made es interesante porque establece un marco procedimental para establecer un framework con el que poder priorizar las acciones de innovación que mejoran las percepciones del viajero y, con ello, contar con una hoja de ruta sobre la que actuar sobre los activos, con independencia de la fase del ciclo de vida en que se encuentren, para con ello mejorar la percepción que el usuario tiene tanto de su viaje como del soporte físico (estación y material rodante) en el que se desarrolla la acción.



Figura 1. Customer Journey de Viajero. Van Hagen y Van der Made

Por tanto, en este capítulo, se tomará el enunciado metodológico de los autores comentados para, con ello, ordenar las soluciones tecnológicas y constructivas más modernas de modo que el lector tenga una herramienta útil para establecer una hoja de ruta en la que establecer una priorización de acciones de cara a mejorar la percepción de los usuarios sobre el servicio.

A continuación, se desgranarán las principales tecnologías según las macro-etapas del customer journey:

- 1) Preparación del viaje
- 2) Estancia en la estación, espera y embarque
- 3) Cambio modal

Finalmente, dada la importancia de las actividades relacionadas con la medición de la satisfacción del viajero en cada una de las tres macro-etapas anteriores, se tratarán de manera pormenorizada las tecnologías para la medición del grado de satisfacción de los viajeros.

### 3. Preparación del viaje

La preparación del viaje será eminentemente online en un futuro. Contar con plataformas que permitan mostrar de manera clara las alternativas a los usuarios para su viaje y que, a la vez, cuenten con motores de valoración de los servicios que permitan, por un lado, mostrar a los viajeros valoraciones de otros usuarios y a los prestadores del servicio una correcta información sobre el rendimiento del servicio.

Se trata normalmente de servicios **“en la nube”** que le permiten a una empresa establecer **interacciones** con sus **clientes** y **empleados** mediante la generación de diálogos digitales **bidireccionales, instantáneos, inteligentes** y **personalizados** según la información aportada por cada usuario (su opinión, sus datos, etc.), el contexto en que tiene lugar la comunicación (canal, ubicación, dispositivo, etc.), el perfil de usuario y otros factores, todo lo cual se procesa **en tiempo real** para tomar instantáneamente acciones de valor para la empresa.

#### 3.1. Personalización del viaje

Cada vez más los usuarios del ferrocarril y, en este caso, se puede hablar de los usuarios de trenes de medio y largo recorrido, reclaman un trato diferenciado frente a un modelo de viaje diario más propio de



líneas de cercanías. Estos usuarios requieren una atención y una información sobre su viaje diferente a los usuarios de cercanías. Se pueden diferenciar varias fases secuenciales en este tipo de viajes:

- **Planificación:** antes del viaje, comprende el tiempo desde la planificación del viaje hasta el día del viaje.
- **Acercamiento:** se trata de la fase en la que el usuario va a iniciar el viaje, típicamente el mismo día del propio viaje, y en la que el usuario se dispone a iniciar el viaje.
- **Viaje:** durante el viaje, comienza en el propio día del viaje, cuando el usuario ha accedido al tren, hasta que se llega a la estación de destino.
- **Finalización:** esta fase comienza después de finalizar el viaje y bajarse del tren tras la llegada a la estación de destino y concluye cuando se llega al destino final del viaje (casa, hotel, ...) y no se requiere ninguna acción posterior.

En cada una de estas fases, la información requerida por el viajero, sus necesidades y las acciones que pueden requerir son muy diferentes.

Antes del viaje, en la fase de **planificación**, lo más importante para el viajero es precisamente la planificación del viaje, donde es especialmente importante conocer la información contextual de la estación y cómo va a poder ir desde su ubicación hasta la ubicación final, entre medias estarán las estaciones, pero su necesidad es más amplia, contempla el desplazamiento completo. Igualmente, hay una serie de servicios que pueden requerir como zonas de aparcamiento u otros medios de transporte, zonas de recarga eléctrica, servicios de transporte de equipaje, entre otros. Para cubrir esta necesidad la mayoría de los administradores de infraestructuras ferroviarias disponen de herramientas como su web corporativa o su aplicación oficial. Lo que no está cubierto en gran medida es la información necesaria puerta a puerta, lo que implicaría proporcionar información de otros medios de transporte tanto tradicionales como los propios de la última milla y eco-movilidad.

En la fase a **acercamiento** está enfocada principalmente a la información en tiempo real y posibles servicios que puedan requerir para el acceso a la estación y al tren el propio día del viaje. En cierta medida, se identifican datos y servicios que se solapan con la fase de planificación y se diferencian en la ventana temporal en la que los va a necesitar. La componente de tiempo real es posiblemente el aspecto clave de esta fase. Típicamente el usuario requiere como información clave los datos de la salida del tren (vía y hora estimada en caso de retraso), acceso al billete y posibles datos y servicios de intermodalidad. Pero pueden incluir otros servicios para la gestión del equipaje, posibles cambios de billete en caso de retraso del tren o del propio usuario, entre otros.

Durante el propio **viaje**, una vez que el usuario ha accedido al tren, es la parte más crítica para el viajero y por tanto lo más importante es disponer de información en tiempo real de la situación de sus medios de transporte y entre ellos la parte del viaje en tren. Actualmente los administradores de infraestructura proporcionan información en tiempo real a través de diferentes canales, como aplicación, web, diferentes canales de información dentro de las estaciones, redes sociales, etc. Esta parte está cubierta en gran medida, pero es cierto que una posible ampliación es alcanzar nuevos canales de comunicación como pueden ser los asistentes de voz, cada vez más usados. Otra parte de esta fase del viaje, que en ocasiones se olvida, es la de proporcionar información sobre los servicios que ofrece y que están disponibles en las estaciones tanto de origen como de destino; tanto de servicios comerciales, tiendas, como servicios propios de la estación, zonas de descanso, aseos, asistencia para personas con movilidad reducida, consignas, y todo tipo de servicios de la estación en muchas ocasiones desconocidos para la mayoría de los usuarios. Fomentar estos servicios, y su acceso es algo a tener en cuenta en canales como las aplicaciones (apps) oficiales o en una mejora de la señalética digital de las estaciones. Esto permitirá al viajero tener una mejor experiencia de viaje y permitirá mejorar la planificación de su viaje, además de redundar en mejoras en los servicios existentes y la proliferación de nuevos servicios. En cuanto a servicios en tiempo real más innovadores se pueden encontrar la reserva y gestión de los servicios en los propios trenes (p.e. comida), gestión del billete en el propio tren por necesidades que surjan en el mismo tren, contenidos multimedia que se puedan ofrecer o el manejo de servicios de asistencia entre otros.



Una vez que ha **finalizado** el viaje, el viajero también puede requerir información de servicios proporcionados en ciertas estaciones, como servicios de ocio o cultura que muchas veces son proporcionados dentro del entorno de la estación. Si el viajero dispone de tiempo o su viaje requiere de esperas en las estaciones, es una buena opción proporcionarle información sobre este tipo de servicios de forma que impacte positivamente en su experiencia de viaje. La obtención de la opinión del usuario sobre el viaje y servicios ofrecidos es un aspecto a tener en cuenta que permite al usuario exponer sus inquietudes y necesidades, y permite a los operadores mejorar su operativa y servicios. Adicionalmente, los usuarios requieren el acceso ágil a otros servicios como reclamaciones (por cuestiones acontecidas en el propio viaje o de retrasos), solicitud de objetos perdidos, entrega de los servicios de equipaje, etc. Progresivamente esta información va teniendo relevancia en los gestores de la infraestructura lo que es una buena noticia para los viajeros. Durante esta fase del viaje también es importante proporcionar información para el desplazamiento desde la estación al lugar final del viaje. En este caso los medios de transporte disponibles desde la estación deberán ser tenidos en cuenta al igual que lo fue en la estación de origen. Tradicionalmente esta información no es proporcionada por los administradores de infraestructuras ferroviarias y sin embargo es una información útil para la mayoría de sus usuarios y mejoraría en gran medida la experiencia global del viaje.

Las estaciones de trenes han dejado de ser apenas un lugar de paso en la vida de los ciudadanos y cada vez más estos espacios ofrecen distintos servicios para los ciudadanos.

Las estaciones también son distintas entre sí, y pueden llegar a ofrecer en gran magnitud incluso acceso directo a otros nodos multimodales u ofrecer servicios de carácter comercial y de ocio.

Independiente de cuál sea la razón por la cual un usuario se dirige a una estación y cuáles sean las características de ésta misma, cada usuario desea optimizar sus tiempos de traslado, estar en un ambiente seguro, cómodo e higiénico y contar con información actualizada. Por lo tanto, es imprescindible utilizar en conjunto distintas fuentes de información para poder disponer de una estación de alta calidad.

### 3.2. Plataformas para la preparación de viaje y análisis del sentimiento del usuario

La plataforma debe ofrecer una robustez probada y una gran flexibilidad, capacidad de toma de decisiones y acciones online y reporting personalizado según especificaciones.

La interfaz gráfica debe permitir diseñar distintas acciones y formatos de interacción muy atractivos y totalmente personalizados en un brevísimo espacio de tiempo. Debe tener integrados en una única plataforma todos sus programas de medición de la experiencia ya sean mediciones a clientes, empleados, encuestas puntuales, etc.

Debe trabajar con orientación a los principios del Manifiesto Agile tanto en el área de desarrollo como en la gestión de proyectos.

#### Interacciones y mediciones Digitales Inteligentes

- Rápido y sencillo. Voz del Cliente, gestión de la experiencia, realización de encuestas, estudios de mercado, campañas, promociones, venta cruzada, programas de fidelización, clima laboral, etc.
- Atractiva, APPs (formatos de interacción) atractivos para el usuario y generados dinámicamente, que permitan una comunicación bidireccional dependiendo del contexto, canal, etc.
- Integración sencilla y rápida en cualquier proceso múltiples canales (web, apps móviles, email, SMS, redes sociales, IVR, chatbots, etc.).
- Inteligencia. Análisis prescriptivo, predictivo y de texto, junto con la gestión de casos y los tableros basados en roles le permitan actuar sobre la retroalimentación en tiempo real para atender a sus clientes y aumentar su satisfacción y lealtad.

#### Multicanalidad

Debe estar diseñado para recopilar datos en **múltiples puntos de contacto y a través de múltiples canales.**



Los **canales de encuestación** pueden tener lugar en un sitio web, email, SMS, WhatsApp, notificaciones push en aplicaciones, redes sociales (Facebook, Twitter, etc.), chatbots, presencia física como códigos QR, NFC, Dispositivos digitales Tabletas táctiles/sin contacto, sistemas IVR, etc.



Figura 2. Diferentes Canales y Dispositivos de comunicación

Los diferentes puntos de contacto permiten tener un feedback multicanal.

- Notificaciones push en apps
- Encuestas mediante canales de Whataspp
- Códigos QR/NFC en estaciones y trenes
- Notificaciones en Redes Sociales

### 3.2.1. Recogida de datos

Esta fase permite:

- Recolectar feedback de usuarios en tiempo real en las estaciones con terminales digitales
- Monitoreo de las opiniones en tiempo real desde la plataforma
- Comunicación 4G/5G o WiFi, proporcionando alta seguridad y estabilidad de red
- Posibilidad de cambiar la encuesta y la lógica de respuestas en tiempo real en cualquiera de los PIDs (Puntos de Información Digital)

### 3.2.2. Análisis de sentimiento

Las herramientas de análisis de texto permitirán identificar experiencias positivas o negativas, y categorizarlas relacionándolas con áreas, productos o servicios. Estas herramientas tienen capacidad de procesamiento de voz y análisis de emociones.



Figura 3. Flujo de análisis y procesamiento de textos

Una vez recolectado el audio y convertido en texto, la plataforma utiliza la analítica de texto para categorizar, y subcategorizar comentarios, extraer tópicos relevantes como personas y ubicaciones, realizar análisis de emoción, sentimiento y esfuerzo.

#### Analítica de texto

- OPINIONES DE TEXTO LIBRE recogidas en las apps (con calificador de texto libre) quedan guardadas en la plataforma.
- OPINIONES DE OTRAS FUENTES como transcripciones de voz desde archivos o sistemas de voz.
- CATEGORIZACIÓN. Debe diseñar diferentes Mapas de Categorías que permitan clasificar las opiniones en categorías raíz y subcategorías más específicas.
- TRAINING. Una vez que el Mapa de Categorías ha sido definido, se puede generar un diccionario totalmente personalizado según el cliente y la pregunta.

<b>Categorización &amp; Múltiples Cat.</b>	<b>Clasifica todas las opiniones</b> , teniendo en cuenta los principales temas de los que hablan los clientes y, al mismo tiempo, proporciona <b>información e impulso</b> .
<b>Nube de palabras</b>	Identifica <b>palabras clave y temas principales</b> dentro del texto analizado. Cuanto más grande y ancha se muestra una palabra, más importante parece ser para los clientes.
<b>Análisis de Sentimiento</b>	Una métrica de NLP (procesamiento del lenguaje natural) que ayuda a <b>identificar si un texto es positivo (+1), neutral (0) o negativo (-1)</b>
<b>Análisis de emociones</b>	Según un texto dado, <b>las emociones del cliente se pueden identificar y etiquetar según corresponda</b> (tanto las <b>diferentes emociones</b> mostradas en el texto como la <b>emoción promedio</b> )
<b>Análisis de Esfuerzo</b>	Ayuda a identificar <b>qué procesos se deben implementar</b> indicando el esfuerzo expresado por el cliente como: <b>-1 (alto) 0 (medio) +1 (bajo)</b>
<b>Extractor de tópicos</b>	<b>Identificar temas relevantes como personas, diferentes ubicaciones, empresas, fechas específicas, etc.</b>

Figura 4. Fases de la analítica de textos, palabras, sentimientos, emociones, etc.



## Analítica de datos y reporting

La plataforma debe estar diseñada para poder manejar datos sin necesidad de que se expongan datos identificativos de cliente (nombres, emails, teléfonos, direcciones, etcétera) permitiendo la recogida y el procesado de datos de manera anónima para la plataforma; sin embargo, permite asociarlos a metadatos para que las áreas de negocio usuarias puedan dotar de contexto a las interacciones.

**API de exportación de resultados.** Todas las APIs (interfaz de programación de aplicaciones) requieren credenciales de acceso y son securizadas mediante un token, timestamp y una firma temporal y la información siempre viajará encriptada.

Debe contar con análisis complejo que incluya una variedad de funciones de analítica estadística a través de agregación (promedio, volúmenes como número de interacciones, número de visitas, etc.) o widgets específicos como:

- Key Driver Análisis – Muestra como una selección de variables afecta una variable clave como NPS (medición de lealtad del cliente)
- Análisis Predictivo y Prescriptivo
- Análisis de Correlación y Regresión
- Análisis de significancia estadística de la muestra
- Análisis del Customer Journey

La analítica puede ser personalizada para combinar múltiples fuentes de datos y cálculos más complejos para KPIs (indicadores clave de desempeño) específicos, análisis *ad-hoc*, etc.

Existen otras analíticas relacionadas a módulos independientes como Close the Loop y Text Analytics como análisis de sentimiento, sentimiento promedio, análisis de emoción y esfuerzo, etc.

### 3.2.3. Visualización

La Plataforma contará con widgets especializados que muestran la información de manera fácilmente consumible.

- Emociones por Categoría
- Sentimiento por Categoría
- NPS por Categoría
- Categorización de Detractores

Los dashboards de la plataforma permitirán llevar a cabo un análisis detallado de la información que incluirá, entre otros:

- Key Driver Analysis
- Text Mining: análisis y categorización de texto libre
- Customer Journey Analysis
- Sentiment Score
- Customer Effort
- Generación de modelos de correlación y regresión
- Análisis predictivo
- Análisis complejo multivariable
- Capacidad de importar información y verbatims procedente de programas de escucha en redes sociales, como Facebook, Twitter, Google Reviews para su posterior tratamiento en la plataforma, como la catalogación de dichos verbatims en diferentes categorías y subcategorías
- Integración con soluciones de chatbots, tanto en entornos web como en Facebook

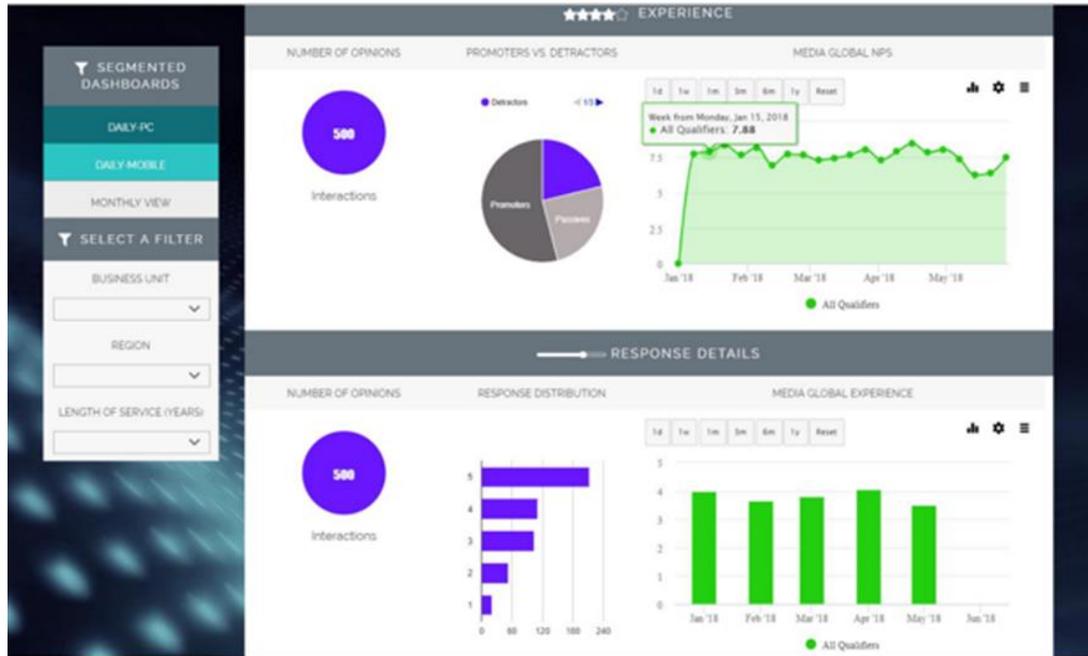
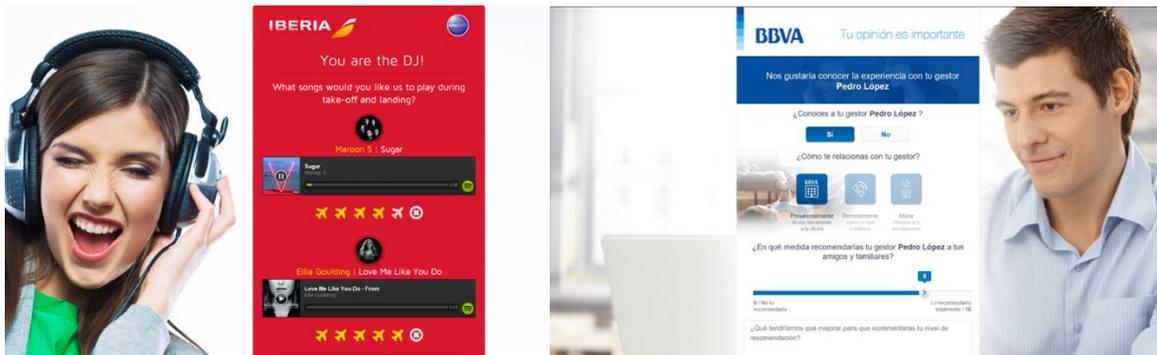


Figura 5. Ejemplo de Cuadro de Mando

### 3.2.4. Casos de uso

## Tecnología OPINATOR

Herramienta que permite recopilar información de los usuarios





## 4. Estancia en la estación, espera y embarque

### 4.1. Gestión de los activos mejorada

#### 4.1.1. Sistema de gestión integrada de la estación

Actualmente se está produciendo un cambio en la gestión de las instalaciones, en la medida que los administradores atribuyen gran importancia a factores como la salud, la seguridad en los espacios y la satisfacción de los clientes, así como la optimización en la sostenibilidad y costes de las infraestructuras. Puntos como la fluidez en el acceso a la estación, la disponibilidad y el buen funcionamiento de los diferentes equipamientos, la calidad de los servicios y la información al viajero, se han convertido en elementos clave para obtener una buena evaluación por parte de los usuarios.

Los viajeros esperan que, al llegar a la estación, esta tenga un acceso rápido sin esperas y unas condiciones adecuadas de climatización, iluminación y limpieza. Cualquier tipo de incidencia debe ser comunicada a través de los sistemas de información al viajero, o antes de acceder físicamente a la estación a través de aplicaciones móviles anticipando situaciones que pueden provocar un perjuicio en la calidad del servicio.

La sensación de seguridad es un punto clave a tener en cuenta en esta evaluación. Diferentes riesgos como robos, pérdidas de equipaje, presencia de objetos sospechosos, caídas o incendios deben ser mitigadas. Para ello, sistemas como las cámaras de seguridad de la estación no debe gestionarse como un sistema independiente y aislado, sino que debe ser integrado con el resto de los controles.

Por otro lado, el tiempo que el usuario pasa esperando a que salga su tren, no debe generar una sensación de malestar. Se debe disponer de una conectividad de calidad, y la información acerca de los servicios disponibles en la estación debe ser fácilmente accesible. El uso de los dispositivos inteligentes permite que esos tiempos de espera puedan ser empleados para enviar correos o visualizar contenido multimedia, aprovechando además la información de los movimientos de usuario para obtener patrones de uso de la estación.

Estos múltiples aspectos a considerar implican tener el mayor volumen de información, así como agrupar todos esos datos en una única plataforma, donde todos los sistemas se encuentren interconectados. La gestión de los diferentes subsistemas debe conformarse como un todo integrado, una plataforma centralizada que lleve a cabo la gestión de forma eficaz y monitorice en tiempo real el estado de todas las instalaciones y servicios. Gracias a la proliferación de los sensores IoT (Internet of Things) es posible monitorizar nuevos parámetros orientados al mantenimiento inteligente. Al recopilar datos de telemetría, se pueden comprender, tanto el estado, el comportamiento y las condiciones operativas actuales, así como las tendencias futuras. Por otro lado, la expansión del 5G y las plataformas en la nube, también hacen crecer la tendencia a implementar sistemas de control integral,

Para conseguir todo esto, es necesario además simplificar la operativa actual del personal que gestiona la estación, homogeneizando la forma de trabajar. La digitalización de la documentación, el empleo de dispositivos electrónicos por parte del personal de mantenimiento, o la posibilidad de centralizar y seguir la trazabilidad de una incidencia facilitan el día a día de los responsables gestión de la infraestructura.

Se debe garantizar además la escalabilidad de los sistemas de gestión, de forma que la integración de nuevos equipos y plataformas, o su renovación, no tenga impacto sobre la operativa ni requiera trabajos complejos. Es esencial de cara al futuro facilitar la conectividad e intercambio de información con otros “nodos inteligentes” para obtener una visión global de conjunto, y tener una perspectiva más amplia en el análisis.

Los objetivos generales de la solución son los siguientes:

- Implementar una plataforma de monitorización y control para la gestión centralizada de todos los elementos y subsistemas de estación
- Implantar e integrar sensores de diferente naturaleza, para obtener información de valor añadido que contextualice la toma de decisiones



- Reducir y optimizar el consumo de energía y el coste en las estaciones mediante la gestión inteligente de activos y espacios
- Emplear la analítica de datos para optimizar los servicios ofrecidos al viajero y el mantenimiento de la instalación

La normativa vigente en esta materia es:

- Ciberseguridad en infraestructura ferroviaria (IEC-62443)
  - Proveer un marco que facilite la identificación de vulnerabilidades actuales y futuras en entornos de sistemas de control y automatización industrial
- Normativa de protección de datos
  - La European Union's General Data Protection Regulation (GDPR) establece las bases para un marco común europeo en materia de protección de datos
  - Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales.
- Normativas en condiciones de iluminación (Norma Europea UNE 12464-I), climatización (Real Decreto-ley 14/2022, de 1 de agosto) o calidad del aire

#### 4.1.2. Soluciones tecnológicas

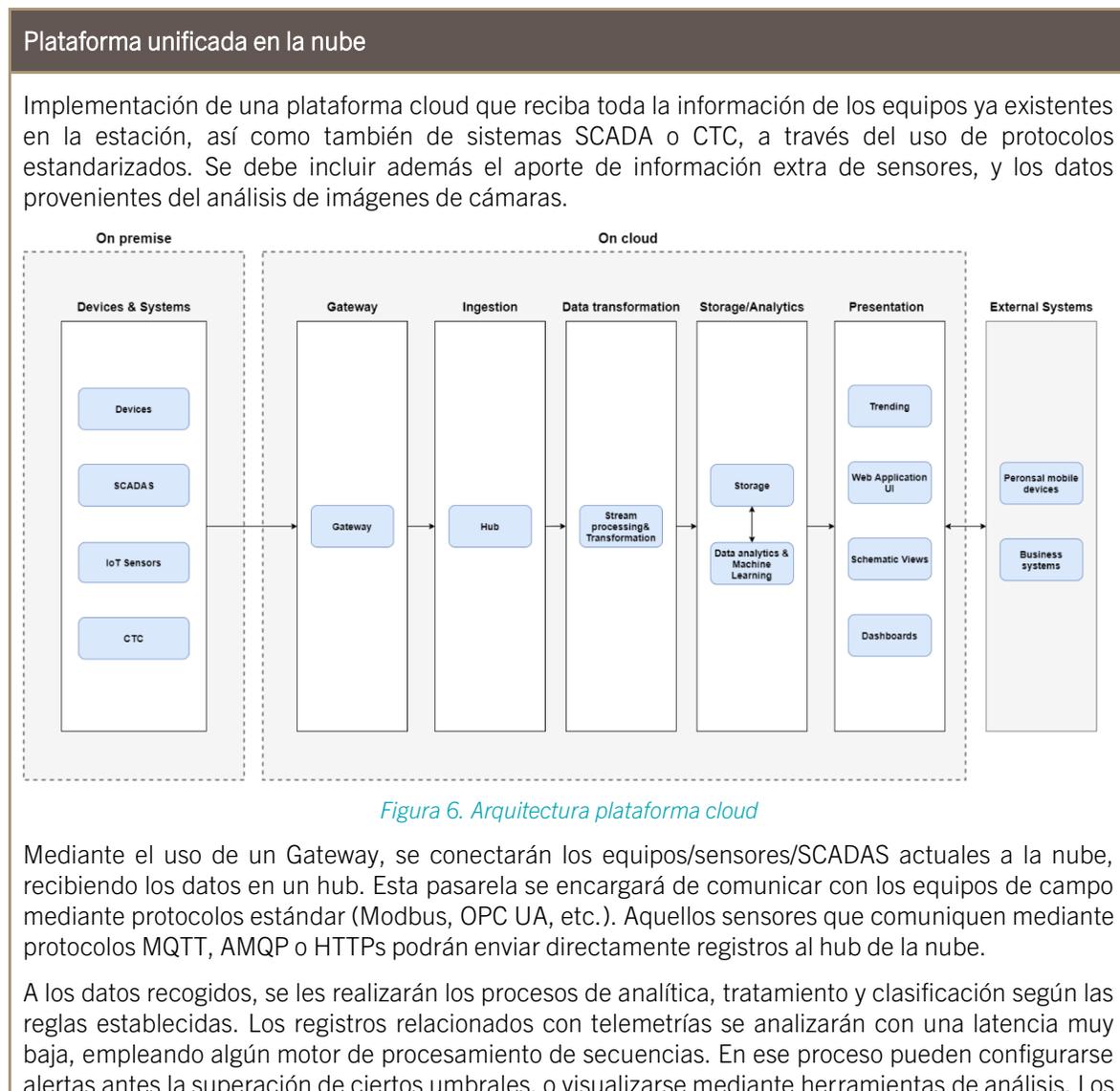


Figura 6. Arquitectura plataforma cloud

Mediante el uso de un Gateway, se conectarán los equipos/sensores/SCADAS actuales a la nube, recibiendo los datos en un hub. Esta pasarela se encargará de comunicar con los equipos de campo mediante protocolos estándar (Modbus, OPC UA, etc.). Aquellos sensores que comuniquen mediante protocolos MQTT, AMQP o HTTPs podrán enviar directamente registros al hub de la nube.

A los datos recogidos, se les realizarán los procesos de analítica, tratamiento y clasificación según las reglas establecidas. Los registros relacionados con telemetrías se analizarán con una latencia muy baja, empleando algún motor de procesamiento de secuencias. En ese proceso pueden configurarse alertas antes la superación de ciertos umbrales, o visualizarse mediante herramientas de análisis. Los



valores que no requieran un tratamiento instantáneo pueden analizarse mediante un procesamiento más detallado, siendo almacenados y analizados a posteriori.

En la capa de presentación de datos se configurarán interfaces donde se monitorizan el estado de los equipos de los diferentes subsistemas. Se generarán dashboards donde se muestren de forma resumida los datos más relevantes de toda la instalación.

Por otro lado, existirán una serie de interfaces para poder enviar y recibir información de la capa de negocio y las aplicaciones móviles de los usuarios.

### Sistemas de climatización/ventilación

Las consignas de climatización y ventilación se podrán establecer de forma automática en función de criterios como la temperatura interior y exterior, la humedad, la calidad del aire o la afluencia de pasajeros. Para ello se emplearán datos de estaciones meteorológicas y sensores de temperatura y humedad ubicados en los diferentes espacios de la infraestructura, así como los detectores de presencia y análisis de imágenes de las cámaras. Se podrá incluir la información de la llegada de trenes a la estación a través de interfaces con sistemas como los CTC's, para obtener un mejor ajuste en el control, evaluando si es necesario que los equipos se mantengan activos.

La optimización de los elementos de este subsistema es clave, ya que tiene un gran impacto en el gasto energético, así como la sensación de confort en los viajeros.

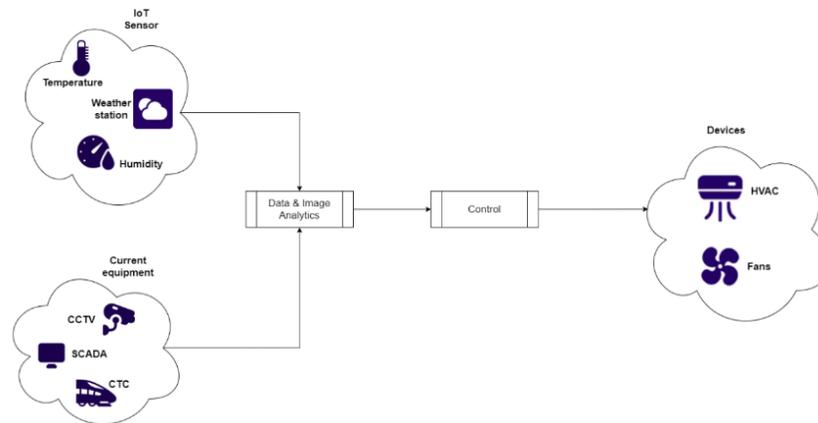


Figura 7. Sistema de climatización/ventilación

Mejoras:

- Optimización y automatización en la regulación de la climatización
- Eficiencia energética y ahorro en costes
- Mejora del mantenimiento, detectando de forma anticipada fallos en el funcionamiento de los equipos y reduciendo el impacto de estas situaciones degradadas sobre los viajeros

### Sistemas de iluminación

Los sistemas de iluminación podrán adaptar sus niveles y programación de horarios a través del uso de sensores de luminosidad ambiental y presencia. De esta forma se puede conseguir un control autónomo del sistema, adaptando diferentes niveles de iluminación en función de la presencia de viajeros y los pasos de tren como, por ejemplo:

- Espera sin pasajeros: nivel mínimo en horario de obertura.
- Espera con pasajeros: Nivel medio establecido.
- Circulación de tren: nivel máximo de la instalación
- Parada de tren: nivel máximo de la instalación

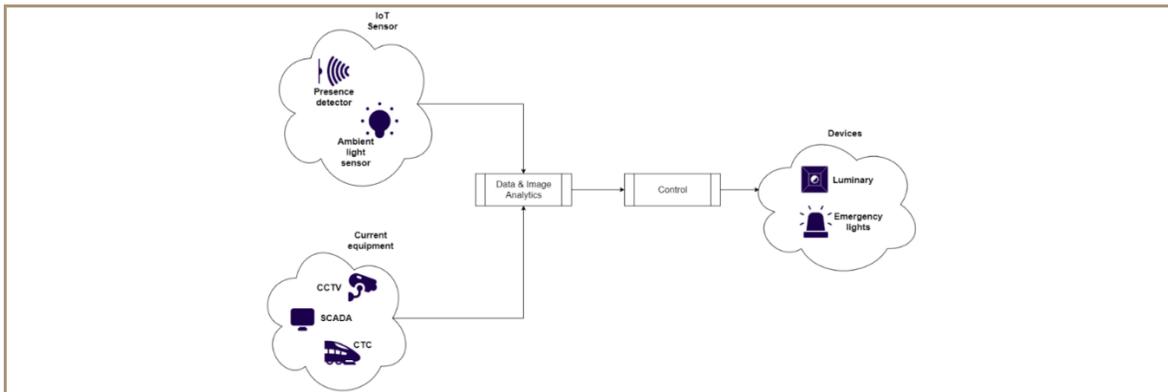


Figura 8. Sistema de iluminación

En caso de definir situaciones de emergencia a partir de la información de otros subsistemas, o detectarse situaciones degradadas, pueden realizarse programaciones para activar la iluminación de emergencia y chequear mediante las imágenes los niveles de luminosidad.

Mejoras:

- Automatización en las programaciones de activación de los sistemas de iluminación
- Reducir al máximo el consumo de la instalación
- Optimización del mantenimiento y detección precoz de niveles deficientes de iluminación
- Comprobación y control de la iluminación de emergencia a partir de situaciones de contingencia activadas por otros sistemas, como la protección contra incendios

### Elementos de movilidad

Haciendo uso de la información obtenida a partir de los sensores de presencia, detectores wifi y bluetooth y la analítica de imágenes de cámaras, podrá determinarse la afluencia de gente en cada zona. Sincronizando esta información con la llegada de trenes, se realizará una optimización en la regulación de los transportes verticales. Se permitirá la reprogramación de estos equipos para ofrecer más recursos en el acceso o salida de un determinado andén. También se podrán situar los ascensores en el nivel correspondiente para que en el momento de la llegada del tren no se produzcan esperas, evitando así posibles aglomeraciones.

En caso de que algunos de estos equipamientos se encuentren averiados, se podrá notificar al usuario dicha incidencia mediante los sistemas de megafonía y los teleindicadores en la estación, y de forma previa, mediante aplicación móvil. De esta forma, se ofrece una alternativa para llegar a la zona correspondiente, lo cual puede ser un punto crítico, especialmente para personas con movilidad reducida.

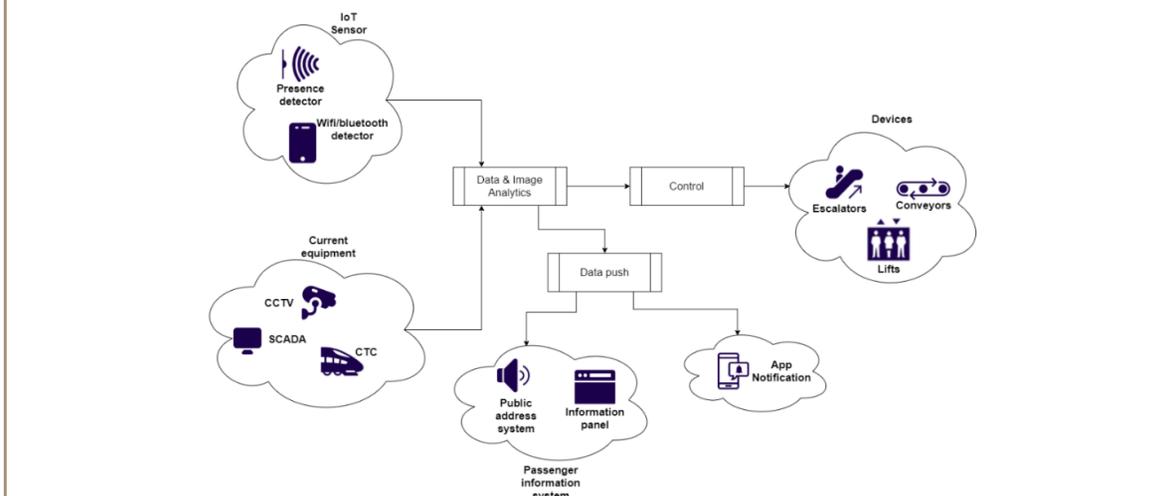


Figura 9. Sistema de transportes verticales y movilidad en estación



Mejoras:

- Optimización en los accesos a plataforma para evitar aglomeraciones
- Notificaciones a los viajeros de las posibles incidencias en los equipamientos
- Ahorro energético activando solamente los elementos necesarios en función de la afluencia de viajeros
- Mantenimiento preventivo y predictivo en función del análisis de los comportamientos de los diferentes elementos y su utilización

### Sistemas de información al pasajero

La integración de la información proveniente de otros sistemas permite al viajero tener un mayor conocimiento del estado actual de las instalaciones. Además de incluir información básica sobre las salidas y llegadas de trenes, se incluirán informaciones relevantes como los niveles de ocupación de los andenes o de los vagones del tren. A través de los datos de ocupación de cada coche se permitirá redistribuir a los viajeros a lo largo del andén, facilitando la entrada y salida de viajeros, y reduciendo así los tiempos de parada en estación. Considerando también la localización de cada número de coche en el andén, se hará un uso correcto de las escaleras y ascensores para el acceso a las plataformas.

Para optimizar la calidad de los avisos acústicos, se incluirán sensores para determinar el nivel de ruido en cada zona. Eso unido al análisis de imágenes de las cámaras, permitirá elegir un volumen adecuado para la información a transmitir por la megafonía.

Con la contextualización de la información por zona o servicio, se puede concretar los avisos emitidos, con el fin de que las notificaciones que llegan a cada zona sean relevantes a los usuarios que se encuentren allí.

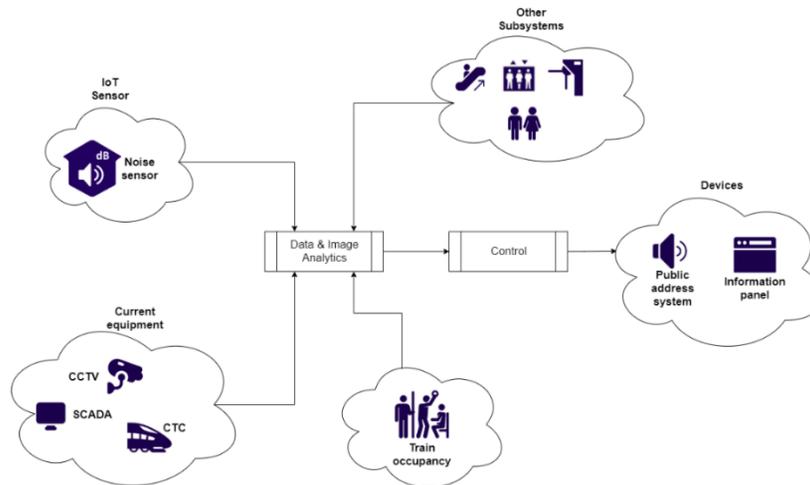


Figura 10. Sistema de información al pasajero

Mejoras:

- Aumento de información ofrecida en los teleindicadores
- Segmentación de la información en función de zona y servicio
- Optimización de la distribución de gente en los accesos a los andenes y a los trenes
- Control de volumen de la megafonía en función de las condiciones acústicas en cada momento

### Ticketing

A la hora de buscar la satisfacción del viajero, uno de los puntos a considerar es la facilidad para acceder a la estación. En este contexto se deberá tener en cuenta la relación entre afluencia de gente y los recursos disponibles para la compra de billetes y su validación en los tornos. A través del análisis de imagen, la monitorización de los dispositivos móviles y los detectores de presencia podrá realizarse una estimación del número de usuarios que están haciendo uso de estos elementos. Con la integración de la información de compra de billetes online, realizará una predicción de la afluencia de gente que



habrá en cada momento, estimando posibles horas punta y picos de viajeros con anticipación, dando flexibilidad para buscar soluciones, como la reprogramación de los tornos.

A través de los sistemas de información al viajero podrá advertirse a los usuarios de determinados problemas en alguno de los accesos, así como a través del uso de aplicaciones móviles en caso de que la persona aún no se encuentre físicamente en la estación.

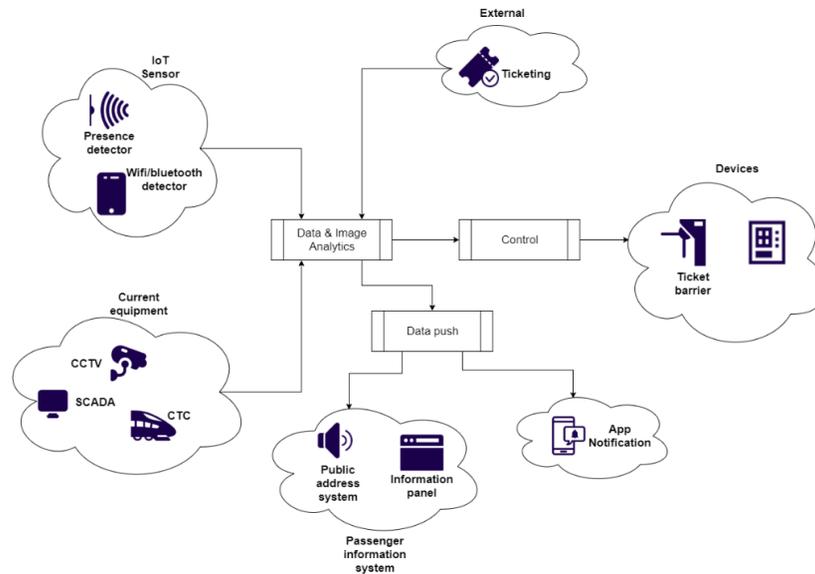


Figura 11. Sistema de ticketing

Mejoras:

- Previsión de picos de afluencia de viajeros a través del análisis de imagen y de la información recogida de la compra de billetes online
- Notificación de incidencias en los accesos a través de los sistemas de información al viajero y aplicaciones móviles
- Conteo de entrada y salida de viajeros para considerar esta información en el cálculo del número de personas por zona

### Conectividad

Para garantizar una calidad de conexión, es necesario monitorizar y evaluar el dimensionamiento de la conexión ofrecida a los viajeros en función del número de dispositivos conectados y los picos de tráfico en la red por una mayor afluencia en horas punta.

A través de sensores de detección de dispositivos móviles y la monitorización de los elementos de la red, se podrán obtener los datos necesarios para estas estimaciones, así como determinar la localización física de los viajeros para realizar sugerencias o anuncios más personalizados.

Además, mediante procesos de analítica se podrán obtener patrones de movimiento y uso de las instalaciones, así como medidas de fidelidad de los clientes, a la vez que se cruzan estos datos con los provenientes del uso de las aplicaciones móviles desplegadas en la propia plataforma.

### Sistemas contra incendios

La información actual de los sensores y alarmas del sistema contra incendios puede cruzarse con los datos obtenidos desde los sensores de temperatura o de calidad del aire. El análisis de imágenes provenientes de las cámaras permitirá además detectar patrones que puedan acabar provocando una situación de emergencia. De esta forma, también resultará más fácil poder distinguir las falsas alarmas provocadas por un mal funcionamiento de alguno de los elementos de este subsistema.

En caso de detección de incendio, se podrá además automatizar el control de elementos como las escaleras y ascensores, a la vez que dar una información detallada de la emergencia a través de los sistemas de información al pasajero, para conseguir realizar la evacuación en el menor tiempo posible.

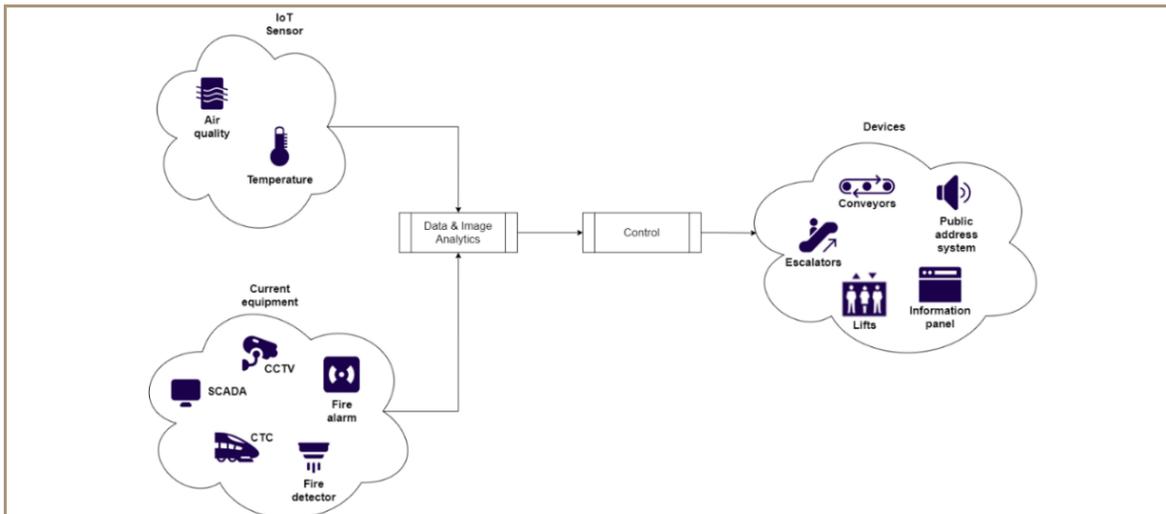


Figura 12. Sistema contra incendios

Mejoras:

- Optimización en la detección de emergencias reales y falsas alarmas de incendios
- Creación de secuencias de control para automatizar el comportamiento de los equipos en función del tipo de emergencia y zona en la que se produce
- Información más detallada a los viajeros con el objetivo de realizar una evacuación más rápida en los casos donde se precise

## Mapa de tecnologías

### Protocolos y tecnologías

Un aspecto importante del planeamiento de un proyecto con tecnología de IoT es determinar los protocolos y formato de datos de los dispositivos, es decir, cómo se conectan y se comunican.

### Formatos de comunicación

Según la fuente de los datos, el protocolo utilizado o el tipo de dispositivo, estos formatos de intercambio de datos pueden ser diferentes. Algunos de esos formatos son CSV, JSON, XML o Streams.

### Servicios web

Los servicios web son un marco para la creación de aplicaciones distribuidas que en su conjunto pueden funcionar entre clientes y servidores a través de HTTP. Existen dos formas diferentes de servicios web: Simple Object Access Protocol (SOAP) and Representational State Transfer (REST)

### Tecnologías de publicación-suscripción y mensajería

La suscripción a publicaciones es fundamental para Internet de las cosas. La mayoría de los sistemas y plataformas de IoT han adoptado este paradigma de comunicación para intercambiar información en forma de mensajes. Los protocolos de mensajería más relevantes de publicación-son MQTT, XMPP y AMQP.



### Tecnologías de comunicación

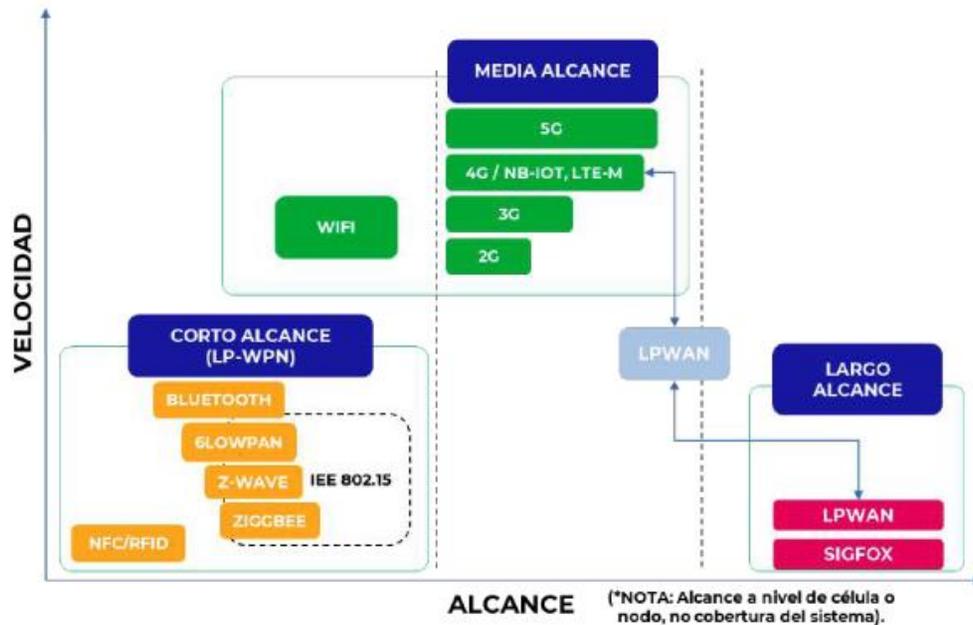


Figura 13. Tecnologías de comunicación IoT

#### Comunicaciones dispositivo-dispositivo

En este tipo de comunicación los dispositivos IoT se comunican entre sí sin la intervención de un tercero. Destaca por su bajo consumo de energía y un largo alcance.

#### Comunicaciones dispositivo-nodo de enlace

Los nodos IoT usan un Gateway para enviar datos a la nube. Existe un nodo que actúa como intermediario entre el dispositivo y el servicio en la nube.

#### Comunicaciones dispositivo-nube

En este tipo de comunicación los nodos IoT tienen la capacidad de enviar datos directamente hacia la nube. Se tienen las tecnologías LoRa y Sigfox, como estándares de LPWAN.

#### Tecnología 5G

La aplicación de la tecnología 5G en IoT permite tiempos de respuesta más cortos y transmitir datos en tiempo real ya que puede alcanzar hasta 20 gigabits por segundo.

#### IPv6

En la actualidad, Internet y las redes corporativas están migrando a IPv6, que incorpora mejoras fundamentales para la extensión de soluciones IoT a través de Internet, aumentando el rendimiento y la disponibilidad de direcciones, junto con una mayor seguridad.

#### Modelo de intercambio de datos a través del back-end

Una arquitectura de intercambio de back-end permite que los datos recogidos de dispositivos de IoT se agreguen y analicen y propone un enfoque de servicios de nube asociados para lograr la interoperabilidad de los datos de dispositivos inteligentes empleando protocolo como AMQP, CoAP, HTTP o MQTT.

#### Redes definidas por Software

Nuevo paradigma de gestión de red donde el control no reside ya en la configuración distribuida de los diferentes dispositivos que componen la red, si no en un controlador central, ofreciendo un gran potencial para el IoT.



## Plataformas IoT

Una plataforma de IoT es una arquitectura multicapa, que puede conllevar diferentes tecnologías, y que permite la gestión, el aprovisionamiento directo y la automatización de los dispositivos conectados dentro del campo de actuación de Internet de las Cosas.

Las capacidades más importantes que aporta una plataforma IoT son:

- Desarrollo de aplicaciones.
- Gestión y analítica de dispositivos y datos
- Interoperabilidad e integración
- Seguridad

Entre los principales criterios a la hora de elegir una plataforma se debe contemplar el tipo de servicio, la escalabilidad, su interoperabilidad, las soluciones de ciberseguridad y los protocolos de comunicación soportados.

Los proveedores de servicio en la nube deben de poseer un conjunto de capacidades funcionales, procesos y niveles de madurez técnica que permitan definir la capacidad de los servicios ofrecidos.



Source: Gartner (October 2021)

Figura 14. Cuadrante de Gartner de plataformas IoT





### 4.2. Seguimiento del viajero en la estación

Actualmente existen distintas tecnologías para poder identificar, trackear y analizar cómo las personas se mueven dentro y entre espacios.

Tener la figura real de afluencia de visitantes según días, horas y eventos especiales permite adaptar y modificar los servicios de manera eficiente y, si además se cuenta con una herramienta analítica que recopile constantemente los datos, también permite predecir y actuar anticipadamente ante ciertas situaciones (feriados, grandes eventos en la ciudad, estacionalidad etc.).

También a nivel comercial y de marketing es importante reconocer patrones de visitas, tasas de fidelidad, tiempos de espera y correlación entre distintos espacios.

Existen diferentes tecnologías.

**Tecnologías PCS:** Sensores de cámara infrarroja técnicamente avanzados que captan los flujos de visitantes mediante mediciones estereoscópicas en 3D.

- 98% de precisión
- Distintas áreas de recuento
- Identificación de género

Instaladas en lugares estratégicos, es posible obtener en tiempo real y con un 98% de fiabilidad la cantidad de visitantes total y por áreas. Instaladas en cadena, también es posible contar con gestión de colas y tener los minutos de espera en áreas problemáticas.

El sistema permite enviar alarmas en tiempo real cuando se llegue a niveles de aforo muy alto para indicar a personal de seguridad.

**Tracking Wifi:** Complementario al sistema PCS, con el tracking se puede además agregar información para tener mapas de calor, conocer tasas de retorno de visitantes y comportamientos de visita cruzada

Adicionalmente si los trenes que llegan a los andenes cuentan con algún sistema de conteo automático de pasajeros, este se puede integrar a los paneles de información de los andenes y así conocer en base a la ocupación de vagones, como distribuir a los pasajeros.



Figura 16. Panel con información sobre ocupación

Al conocer aforos en tiempo real o predicción de aforos es posible tomar medidas para permitir que el viajero se desplace de manera cómoda. Conociendo patrones de dirección y movimiento también es posible ofrecer la información y servicios adecuados en los lugares correctos.

Al obtener:

- Perfilamiento de clientes (género)
- Tasas de fidelidad
- Lugares más concurridos en qué momento
- Fechas especiales (vacaciones de colegio, festividades, eventos puntuales)

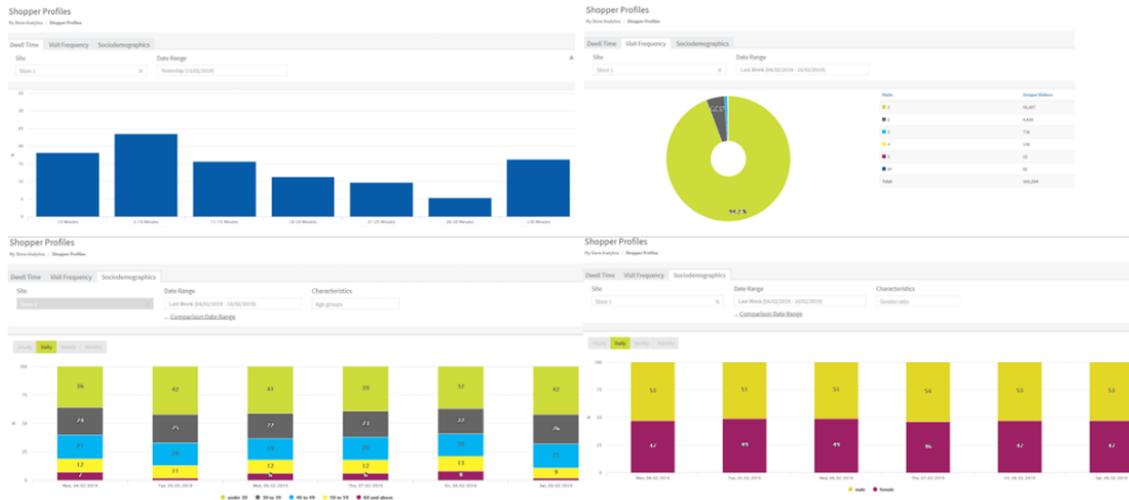


Figura 17. Ilustrativo de cuadro de mando con información de pasajeros

### 4.3. Señalética y wayfinding

Actualmente las estrategias de transporte han posicionado al viajero en el núcleo central del sistema. En este contexto, el análisis de la experiencia del viajero, como la suma de percepciones que experimenta el mismo al interactuar con la estación durante su viaje, es de vital importancia. Siempre se ha tenido en cuenta al viajero al diseñar y planificar cualquier infraestructura o servicio de transporte, pero generalmente se limitaba a una obtención de datos de referencia, lo cual ya no es suficiente, y es imprescindible integrar la experiencia del viajero en la planificación, diseño, mantenimiento y operación de los servicios de transporte, lo que significa evolucionar en su concepción.

El uso de ciertas tecnologías permite que las estaciones y terminales estén conectadas al usuario en toda la cadena de viaje, contribuyendo a mejorar el servicio prestado y la calidad percibida por el viajero.

Un correcto dimensionado acorde con el nivel de servicio deseado, la configuración espacial de las zonas de espera y de tránsito, la disposición y gestión de los flujos y el wayfinding, son algunas de las herramientas empleadas en el diseño de las estaciones para favorecer su comprensión, usabilidad y navegabilidad. Cuanto más fácil de entender y usar sea una estación, menor será el nivel de estrés experimentado por parte del viajero durante su estancia o su paso por ella y mejor será la percepción que se obtenga de la infraestructura en particular y del servicio en general.

Una planificación temprana desde fases iniciales permite introducir en el diseño el concepto de Wayfinding intuitivo asegurando la proximidad, eficiencia y facilidad de uso de la estación, así como sus conexiones con otros modos de transporte. Un diseño centrado en la orientación intuitiva permite a los pasajeros y visitantes encontrar su camino de manera exitosa y autónoma. Para proporcionar la mejor experiencia de navegación es necesario combinar los siguientes elementos:

- Wayfinding natural (diseño de procesos, planificación espacial y arquitectura). Idealmente, la concepción espacial de la terminal debería proporcionar la suficiente comprensión y claridad del espacio.
- Señalética. Las señales mostrarán lo que el edificio no puede explicar a sus usuarios por sí mismo.
- Provisión de información. En último lugar, se proporcionará información de forma directa mediante asistencia personal o remota (soporte tecnológico)

La digitalización y las nuevas tecnologías ayudan a crear un servicio de transporte que sea más fácil de usar y más inclusivo que en el pasado, permitiendo orientar al viajero para llegar de la forma más óptima a todas las zonas importantes tales como los controles de acceso, check-in, aseos, etc.; informándole del tiempo necesario para llegar a cada punto; ofreciéndole información detallada y actualizada en tiempo real, incluso durante posibles escenarios de contingencia o periodos de operación irregular. De esta manera el viajero tiene mucha más información, se siente menos perdido y más seguro dentro de la estación.



#### 4.3.1. Señalética digital

##### Señalética en soportes digitales

Servicio que permite ofrecer diferentes alternativas de presentación de las imágenes gracias a su gran versatilidad. Pantallas de grandes dimensiones que llegarán a sustituir a los sistemas tradicionales, permitiendo cubrir funcionalidades tanto informativas como publicitarias.

La señalización digital frente a la señalización tradicional permite la integración con un sistema de monitorización de la estación pudiendo reconfigurarse en tiempo real a las circunstancias particulares de cada momento.

##### Señalética proyectada

Señalización inteligente proyectada sobre superficies, con contenido itinerante, pudiendo ser los mismos un simple elemento arquitectónico en ocasiones y en otras un elemento audiovisual. Los proyectores son fácilmente instalables y permiten la proyección de imágenes en todas las superficies de la estación (suelos, paredes y techos). Usan la tecnología LED lo cual permite la reducción del consumo y aumentar la durabilidad.

Esta señalización digital mediante proyectores permite mejorar el sistema de información estática y dinámica a los viajeros, pudiendo reconfigurarse en tiempo real a las circunstancias particulares de cada momento. Así se pueden optimizar los flujos de viajeros dentro de la estación y adaptarlos a cada situación. Este sistema de señalización facilita la orientación de los usuarios reemplazando el uso de vinilos y paneles informativos.

#### 4.3.2. Navegación/guía indoor con dispositivos

##### Localización en interiores

Herramienta de ayuda, que permite mejorar la experiencia de los viajeros y facilitar el flujo en el interior de las estaciones, a modo de GPS personal que sirve para localizar y guiar al pasajero hasta cualquier punto de interés de la estación. Permite orientar al viajero para llegar de la forma óptima a todas las zonas importantes, también ofreciéndole información detallada de los diferentes servicios que alberga la estación: tiendas, cafeterías, aseos, y cómo llegar de la manera más rápida desde cualquier punto de la misma. De esta manera el viajero tiene mucha más información, se siente menos perdido y más seguro dentro de la estación y puede disfrutar más de su estancia en la misma. Estos sistemas permiten navegar por el interior de las estaciones como quien usa el navegador para sus viajes en carretera.

##### Realidad Aumentada

Encontrar el camino rápidamente en una estación no es siempre una tarea fácil, pero esta tecnología permite a las estaciones guiar a sus pasajeros a través de realidad aumentada para facilitar sus viajes. Esta tecnología permite que las estaciones se comuniquen con los teléfonos móviles para guiarnos hacia un destino. Pero en lugar de las imágenes clásicas de una aplicación de mapas, los viajeros podrán ser guiados de una manera personalizada, con ayuda de la realidad aumentada en sus smartphones. Utilizando la cámara, se superpondrán las direcciones en una vista en tiempo real de la estación y los lugares a su alrededor. El sistema guía a los pasajeros a través de la cámara del móvil para localizar las áreas de control, los puntos de acceso, las puertas de salida, tiendas, etc. Este sistema facilita que los pasajeros encuentren su camino alrededor de la estación y eviten retrasarse. Los comercios de las estaciones también pueden ser una oportunidad en este sistema enviando ofertas relevantes o mensajes promocionales a los pasajeros que se encuentran cerca del local, si así lo desean, gracias a los sensores de proximidad.



### 4.3.3. Señalética adaptativa antes escenarios de contingencia

#### Señalética de evacuación dinámica

En todos los espacios interiores de las estaciones existen rutas prefijadas para la evacuación en caso de emergencia. La manera de señalar tradicionalmente estas rutas y las puertas de evacuación que existen en su recorrido es a través de señales fotoluminiscentes, que se distribuyen a lo largo del edificio de una manera ordenada para que desde cualquier punto de evacuación se logre llegar a una salida del edificio o a un espacio seguro. Sin embargo, en el caso de que el origen de la emergencia se encuentre en mitad de una de estas rutas de evacuación, es interesante el empleo de una señalización dinámica y autónoma para el guiado de personas que oriente a los viajeros en caso de emergencia hacia la puerta de evacuación más adecuada dependiendo del lugar y alcance del siniestro. Esta señalética se conecta directamente con el sistema de alarmas de la estación o centro de control, desde donde se da la orden para su activación. Es decir, identificar, no solo una ruta de salida, sino la ruta de evacuación óptima en tiempo real ante una emergencia determinada, guiando a las personas hacia un lugar seguro y lejos de peligro. Sus mensajes pueden ser fijos o variables, de modo que, dependiendo del punto donde se encuentra la emergencia, éstos puedan emitir mensajes personalizados para cada posición.

Aplicando, por tanto, la tecnología a funciones que hasta ahora daban informaciones fijas o estáticas, se pueden crear sistemas dinámicos e inteligentes que aporten información en tiempo real y personalizada a la situación, ayudando a una evacuación más eficaz y, con seguridad, a salvar vidas.

#### Señalética adaptativa ante posibles interrupciones/modificaciones del servicio de la estación (obras, etc.).

Durante las fases de construcción y posterior mantenimiento de las estaciones se analizarán las posibles interrupciones de la operación, proponiendo distintas soluciones para su mitigación basadas en los siguientes tres principios:

- Disminución del impacto en la calidad del servicio. Implementación de las medidas necesarias para reducir el impacto negativo de los trabajos en la percepción de los clientes.
- Mitigación de los inconvenientes de las obras. Flujos alternativos temporales, señalización provisional adicional, rutas alternativas, cercas provisionales, encuestas de satisfacción del cliente, etc.
- Garantía del correcto funcionamiento en interferencias de la infraestructura.

Las estaciones podrán reconfigurar la señalética estática y dinámica según las diferentes situaciones que permitan controlar los flujos de movimiento de los viajeros. La señalización digital frente a la señalización tradicional permite reconfiguración en tiempo real a las circunstancias particulares de cada estación. Así se pueden optimizar los flujos de viajeros dentro de la estación y adaptarlos a cada situación: grandes afluencias de viajeros en campañas de vacaciones (tanto para llegadas como salidas), adaptabilidad a las situaciones de contorno de la ciudad (exceso de tráfico en ciertas calles del entorno, obras, etc.), del interior del edificio (reformas, mantenimiento, etc.), en andenes (distribución en los andenes que permita a los viajeros situarse a lo largo del mismo y así optimizar la subida y bajada de viajeros, etc.). Y de esta forma, permitir que los ocupantes de las estaciones sean redirigidos a la ruta más adecuada en caso de que ocurra tal evento.



#### 4.4. Medidas tecnológicas innovadoras en los espacios y procesos de atención al cliente e información

La atención al pasajero es otro aspecto fundamental y transversal a todas las etapas del viaje. Desde el proceso de compra del billete, pasando por la atención a bordo o en la propia estación y hasta en los servicios post-viaje, los espacios y procesos de atención al pasajero condicionan en gran medida la experiencia de éste. En la estación del futuro se centralizarán de manera moderna, eficiente y sostenible los servicios de información y atención proporcionados a los viajeros. Se facilitará y extenderá la atención a los usuarios de una manera dinámica y personalizada, apoyándose en las nuevas tecnologías.

Algunas de estas nuevas tecnologías que ofrecen un servicio de atención e información personalizado a cada viajero, son las que se exponen a continuación.

##### 4.4.1. Asistencia virtual

###### Puntos de información interactiva

Las estaciones podrán contar con puntos de información autoservicio interactivos que, sin la necesidad de tener que contar con la presencia de un asistente de forma presencial, permitan a los viajeros buscar información (de trenes, horarios, mapas, servicios de la estación, destino del viaje, etc.), escanear o comprar su billete, así como solicitar ayuda contactando en tiempo real con un empleado mediante una videollamada.

Estos puntos de información estarán dotados, entre otros, de pantalla táctil, escáner de código de barras/QR, micrófono, altavoces, una cámara web que facilite las videollamadas, etc., permitiendo interactuar y contactar con el personal en tiempo real en cualquier momento del día. Se trata de un producto híbrido entre oficina de atención al público, información, venta de billetes, puesto de auto información y call center, permitiendo a los operadores responder a una gran variedad modos de atención al cliente.

Actualmente ha aumentado el número de pasajeros que elige comprar sus billetes por internet, pero la demanda por la interacción personal sigue siendo grande, ya que los viajeros se sienten más cómodos contando con el asesoramiento de algún miembro del personal más que con una sencilla máquina. Estos puntos de atención integran audio y vídeo en tiempo real, a la vez que todas las características de una máquina de venta, proporcionando un servicio personalizado durante todo el día. Los agentes virtuales ofrecen todas las funciones de una oficina de atención tradicional, además de otros beneficios añadidos, como la utilización de nuevos sistemas de escaneado de documentos tales como e-ticketing, etc. Los viajeros pueden hablar con el agente exactamente igual que lo haría en una oficina de tradicional. Permite a los operadores de transporte beneficiarse de otros modelos de negocio provenientes de otras industrias, permitiendo la externalización y centralización de personal experto en centros concretos, reduciendo así el coste del personal que debería estar fijo en las oficinas de venta tradicionales.

###### Nuevos canales de comunicación

La utilización de nuevos canales de comunicación contribuye también a una mejora de la experiencia de viajero, de forma que los viajeros puedan contactar desde cualquier sitio y las 24 horas del día, ya sea correo electrónico, chat, redes sociales, etc. A esta estrategia de atención al cliente omnicanal, se añaden las aplicaciones para dispositivos móviles y aplicaciones web de los gestores de la estación, que permiten la interacción con los usuarios. En la actualidad esta interacción se limita a proporcionar información estática de las estaciones y sus servicios o información de la puntualidad o incidencias en los trenes. Las nuevas aplicaciones, integradas con la plataforma de la estación inteligente permiten un intercambio de información bidireccional. La aplicación realiza las funciones de recopilación de la información para el gestor como pueden ser los motivos del viaje, seguimiento en el interior de la estación, movilidad fuera de la estación o tiempo de llegada y espera en la estación. Por otro lado, la aplicación realiza las funciones de interacción con el usuario, aportando funcionalidades como la reserva de plaza de aparcamiento o la reserva de taxi/vehículo con conductor a la vez que se aporta información personalizada de utilidad para el motivo de su desplazamiento como puede ser información turística o tiempos de desplazamiento a destino final. Esta personalización de información aporta al viajero una experiencia de usuario diferenciadora haciendo sentir único al usuario ya que la información que se suministra está enfocada a sus necesidades de viaje y gustos.



#### 4.4.2. Robots asistenciales

Con la finalidad de mejorar la experiencia a del viajero y dar un mejor servicio de atención al mismo, la estación del futuro hará uso de la robótica, así como de la inteligencia artificial, lo que permite la incorporación de robots que presten atención y asistencia a los usuarios de una manera autónoma. Los servicios que prestarán serán cada vez más amplios, empezando por las funciones informativas y de guía, hasta la prestación de servicios asistenciales. Basados en inteligencia artificial pueden aprender del comportamiento del personal humano y de los datos recolectados de sus propias experiencias.

Su presencia incrementa la afluencia de público y atrae la atención del viajero. Además, pueden informar, conversar o entretener al mismo tiempo que ofrecen información. Asimismo, pueden facilitar datos al pasajero sobre ubicaciones y servicios, y al identificar a su interlocutor, pueden informar de promociones personalizadas o recomendarle productos. Además, pueden escanear cupones, tarjetas, códigos QR, etc. Podrán utilizar numerosos idiomas para ayudar a los viajeros (castellano, inglés, alemán, chino, etc.), detallando toda la información necesaria.

Su tecnología les permite detectar tanto el lenguaje verbal como el no verbal, la posición de la cabeza y el tono de voz, para reconocer el estado emocional e individualizar cada interacción, y provocar un sentimiento de empatía y una conexión entre robot-viajero que favorecen una comunicación eficaz. Además, los mismos con sistemas de reconocimiento facial implementados pueden detectar cualquier persona no autorizada dentro de la estación, con el objetivo de aumentar la sensación de seguridad en la estación y por tanto mejorar así también la experiencia del viajero.

#### 4.5. Nuevas estrategias comerciales

En seguimiento con el apartado “Seguimiento del viajero en la estación” donde se mencionan las tecnologías de conteo de visitantes y tracking de móviles, equipadas en toda la estación, se pueden obtener algunos indicadores importantes para la gestión comercial, por ejemplo:

<p><b>Tasa de conversión</b></p> <p>Integrando datos de venta y ticketing es posible identificar los puntos de venta con mayor éxito y reconocer aquellos que tienen ámbito de mejora y activar un plan de acción.</p>
<p><b>Comportamiento de venta cruzada</b></p> <p>Es posible identificar patrones de compra entre bienes y servicios complementarios y así mejorar campañas de marketing y marketing cruzado.</p>
<p><b>Gestión de colas</b></p> <p>Identificando puntos donde los tiempos medios de espera son mayores es posible mejorar la gestión y así no perder compradores.</p>
<p><b>Tasa de retorno</b></p> <p>Reconocer los índices de fidelidad de visitantes</p>

En resumen, mientras más datos de los visitantes se tengan, en cuanto a cómo, dónde y con qué frecuencia se mueven y cómo es su comportamiento de compra dentro de la estación, se podrá entregar un mix de servicios mejorados y eficientes, ya que los tiempos de desplazamiento juegan un punto crucial en estas dependencias.

#### 4.6. Nuevos servicios de entretenimiento

Los viajeros en el entorno ferroviario pasan cierto tiempo en la propia estación y en el viaje en sí dentro del tren. La duración del viaje es diversa y depende del tipo de tren (cercanías vs. larga y media distancia) pero, en general, supone un tiempo amplio si se considera el periodo en la propia estación y del viaje. Asimismo, la recurrencia de los viajes tampoco es homogénea, aunque por lo general, los viajes de cercanías suelen ser recurrentes y predecibles semanalmente mientras que los viajes de larga y media distancia se puede asumir que no existe ningún patrón en la recurrencia. El resultado es que existe una



oportunidad por parte de los administradores y operadores ferroviarios para explotar y poner en valor la infraestructura y los datos ferroviarios para complementar los servicios comerciales y de transporte con nuevas formas y servicios de entretenimiento que convierta al tren en una forma más atractiva de transporte que sus alternativas, que los operadores se puedan distinguir por su oferta de ocio y, en general, se ofrezca una experiencia al viajero mejorada.

Una vez que se ha identificado la oportunidad y la ventana de tiempo donde se pueden aplicar estos servicios de entretenimiento y ocio, cabe preguntarse cuál debe ser el enfoque a seguir. Actualmente en estaciones de tamaño medio/grande ya se ofrecen servicios de entretenimiento muy diverso. Estos servicios son ofrecidos por terceras empresas y la única relación con el entorno ferroviario es la ubicación de los negocios y los administradores ferroviarios únicamente aportan el espacio físico donde se desarrolla la actividad. En las estaciones de reciente creación es más patente la importancia que van adquiriendo estos servicios donde la estación está adherida a un centro comercial para ofrecer una solución integral que, en ciertos casos, complementa el viaje, pero en otros casos, son totalmente independientes. Esta tendencia demuestra la importancia que los servicios de entretenimiento y ocio, entre otros, van adquiriendo progresivamente en el entorno ferroviario.

El siguiente aspecto que se debe analizar es la tipología y la aproximación en cuanto a la oferta que se debe y puede ofrecer por parte de los administradores y operadores ferroviarios. Si se analiza la oferta actual en las estaciones se puede deducir que la oferta de ocio es muy heterogénea y diversa, además de cambiante para adaptarse a los gustos y tendencias. Y se trata de servicios totalmente alejados de los objetivos del entorno ferroviario. Por tanto, resulta claro que este tipo de servicios deben ser ofrecidos por terceras empresas cuyo objetivo y negocio estén alineados con esta temática del ocio.

Entonces, ¿cuál es el enfoque que se debe seguir para ofrecer estos servicios? Para responder a esta pregunta se debe analizar cómo debe ser la interacción con los usuarios. Tradicionalmente se han realizado desarrollos complejos y caros, que requerían de hardware especializado para las tareas de ocio, y que quedaban obsoletos o inutilizados por diferentes motivos de forma temprana.

Si se tiene en cuenta el análisis general expuesto previamente, el enfoque que se debe seguir para ofrecer nuevos servicios de entretenimiento y ocio debe ser el siguiente:

- Delegado: los administradores y operadores deben delegar en terceras empresas el desarrollo y la disponibilidad de estos servicios.
- Datos: los administradores y operadores deben proporcionar datos e infraestructura (HW) a estas terceras empresas para que puedan ofrecer estos servicios. Estos datos estarán relacionados con la operativa ferroviaria para permitir el desarrollo de soluciones en el contexto de la estación y de los trenes.
- Hardware de propósito general: los dispositivos hardware que se pudieran ofrecer a estas terceras empresas deben ser genéricos, es decir, debe ser HW utilizado para diversos objetivos y utilidades, y que sean compartidos con estos servicios para llevar a cabo su función.
- Bring your own device: por último, el enfoque en el entorno empresarial de hacer uso de su propio terminal (típicamente un terminal móvil) para usos corporativos se puede aplicar en estos servicios ya que reduce el costo en hardware y prácticamente todos los usuarios disponen de un terminal móvil (y/o portátil) que puede integrarse en el sistema que ofrece el servicio.

#### 4.7. Gestión de escenarios de contingencia

De manera simple y con datos de alta precisión, con los accesos controlados con tecnología de cuenta personas es posible obtener en tiempo real los aforos, tanto de manera agregada, es decir, toda la estación, como también de cada subzona.

Los administradores de la estación definen los niveles de ocupación como baja, media y alta. Al sobrepasar los niveles medios se envía automáticamente vía SMS y/o e-mail a la central de control y equipos de seguridad para estar alerta y activar los distintos protocolos según los niveles de aforo, y así mantener los estándares de seguridad y confort de pasajeros.

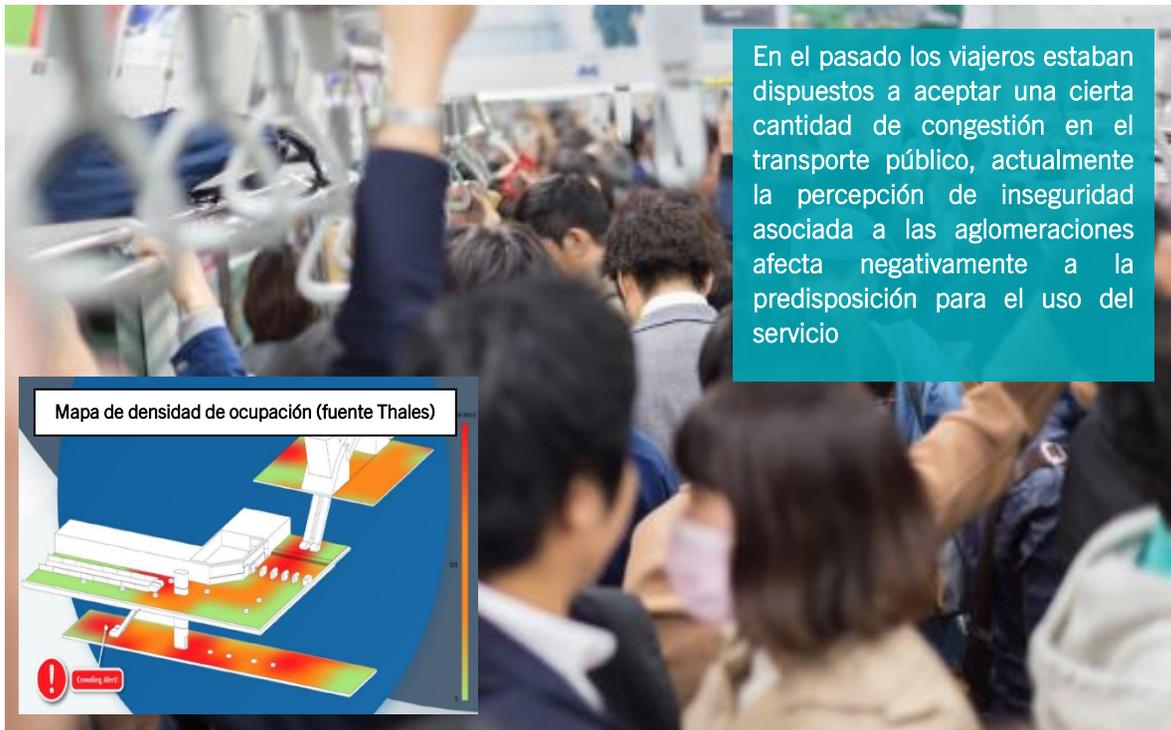


#### 4.8. Análisis de estado de las infraestructuras

Alinear la oferta de servicios de transporte con la demanda de viajeros representa uno de los retos principales en cuanto al dimensionamiento y operación de las infraestructuras. Un desequilibrio en los términos anteriores conlleva ineficiencias en el uso de los recursos disponibles, las cuales se ven amplificadas por la creciente demanda de viajeros.

En la víspera de la crisis COVID-19, el número de viajeros anuales en redes Metro en todo el mundo era de más de 62 000 millones, representando este volumen un incremento del del 40% respecto a los siete años anteriores, y aumentando a un ritmo superior al 5% anual. Las medidas sanitarias derivadas del COVID-19 han revertido la tendencia anterior, al menos temporalmente y, al mismo tiempo, han puesto de manifiesto **la preocupación por el desarrollo de aglomeraciones y el hacinamiento de viajeros** que comprometen las medidas de distanciamiento físico.

**Recuperar la confianza de los viajeros en cuanto al uso del transporte público por parte de los operadores de las infraestructuras se convierte en una prioridad actualmente en línea a los objetivos de desarrollo sostenible impulsados por las agencias gubernamentales y los nuevos desafíos resultado de la crisis energética.**



En línea con lo anterior, un estudio [1] realizado en 2019 reveló que el hecho de disponer de información en vivo sobre los niveles de ocupación en los trenes y estaciones es uno de los aspectos que más valorarían los viajeros, siendo esta una de sus cuatro prioridades en el ámbito de las “Smart Stations”.

El objetivo es presentar un conjunto de **soluciones tecnológicas para el análisis y monitorización en tiempo real del estado de la ocupación de infraestructuras de transporte** en el ámbito de las estaciones del futuro, **dotadas de capacidad para guiar a los viajeros hacia áreas desocupadas, generar alertas e indicadores que permitan activar protocolos de seguridad en caso de aglomeraciones y mejorar la percepción de los usuarios**, permitiendo su anticipación y configuración de trayectos confortables incluso en condiciones de transporte intermodalidad. Además, el hecho de contar con información sobre el estado de ocupación de las estaciones permitirá ajustar de forma dinámica y eficiente los recursos de la infraestructura (climatización, iluminación, servicios de limpieza, seguridad, etc.).



#### 4.8.1. Retos de la tecnología

Evitar las aglomeraciones se convierte en un aspecto clave en la operación de las infraestructuras. Los viajeros deben poder **moverse libremente en las estaciones y andenes. De igual importancia es la capacidad para embarcar y desembarcar de los trenes de forma segura y rápida.** Estos son requisitos fundamentales para el buen funcionamiento de una red ferroviaria. El hacinamiento hace que todo esto sea más difícil introduciendo una serie de efectos indeseables que generan impactos sobre la puntualidad del servicio, la seguridad, la accesibilidad y la satisfacción de los pasajeros.

##### Mejorar tiempos de permanencia

Un tren de Metro suele pasar aproximadamente una cuarta parte de su tiempo detenido en las estaciones. A nivel teórico, el tiempo que pasa un tren en cada estación (tiempo de permanencia) se rige por el horario. Sin embargo, a nivel práctico, el tiempo de permanencia puede verse afectado por el hacinamiento. La congestión en los andenes impide el flujo del pasajero que embarcan en los trenes. Por otra parte, la congestión a bordo del tren impide que los pasajeros embarquen con facilidad, lo que prolonga la aglomeración en los andenes. Como resultado los tiempos de permanencia serán más prolongados lo que conlleva a una disminución de la puntualidad y una reducción en la capacidad de transporte efectiva de la infraestructura.

##### Seguridad del viajero

La interfaz plataforma-tren (PTI) refiere al punto donde los pasajeros embarcan y desembarcan de los trenes. Además de ser un foco de aglomeraciones, en los puntos de embarque la seguridad puede verse comprometida aumentando el riesgo de accidentes (tropezones, arrollamientos, etc.). Asimismo, otras áreas de la estación como por ejemplo la parte superior e inferior de las escaleras de acceso al área de andenes y los accesos a los ascensores también requiere un control cuidadoso para garantizar que los pasajeros puedan fluir libremente en todo momento sin riesgo a retroceder.

##### Accesibilidad y satisfacción del pasajero

Las aglomeraciones reducen la accesibilidad de varias maneras:

- Reduce el atractivo del transporte público y aumenta la probabilidad de que la gente viaje en coche.
- Actúa como un disuasorio para ciertos grupos de pasajeros, entre ellos usuarios de sillas de ruedas, personas con niños pequeños en cochecitos y personas con problemas de visión.
- Genera inseguridad, exponiendo a los pasajeros al riesgo de hurtos.

En estos términos no resulta sorprendente que una encuesta realizada por una importante autoridad europea de transporte público descubrió que los servicios abarrotados eran la barrera número uno para usar el transporte público, por delante de los precios de los títulos y la confiabilidad del servicio.

#### 4.8.2. Estado del arte

El desarrollo de sistemas que permitan la monitorización en tiempo real del grado de ocupación de las infraestructuras suele contemplar los siguientes bloques funcionales:

##### SISTEMA DE CAPTACIÓN

Compuesto por un conjunto de sensores desplegados tanto en ubicaciones estratégicas de la Línea como embarcadas en los trenes y que operan como fuentes de información del sistema de análisis.

Para los sistemas de captación, existe una variedad de sensores que permiten evaluar de forma dinámica la densidad de personas que ocupan determinadas áreas de la estación o los trenes como, por ejemplo:



- **Sensores TOF (Time of Flight), LIDAR:** pueden medir la distancia entre objetos en movimiento dentro del alcance del sensor, recreando los volúmenes y discriminando los objetos según su tipología, velocidad, dirección, etc. A través de esta información permiten inferir el número de personas que en un determinado momento transita por una determinada área

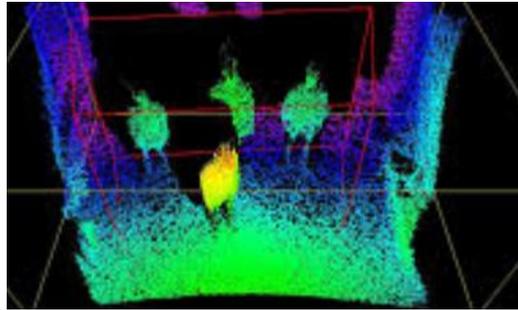


Figura 18. Imagen sensor Lidar

Estos sensores aportan una elevada precisión, requiriendo un despliegue específico y una infraestructura asociada de comunicaciones

- **Sensores de peso:** Este tipo de sensores suelen instalarse en los coches de tren y proporcionan una estimación de la densidad de ocupación de éste basada en el peso de los viajeros, siendo su precisión de estos sensores moderada.
- **Algoritmos avanzados de análisis de contenido de vídeo:** trabajan sobre la información proporcionada por cámaras CCTV de la estación o en los trenes proporcionando capacidad para extraer las características morfológicas de los individuos en tiempo real y presentar sus patrones básicos (“esqueletos”) permitiendo un seguimiento preciso.

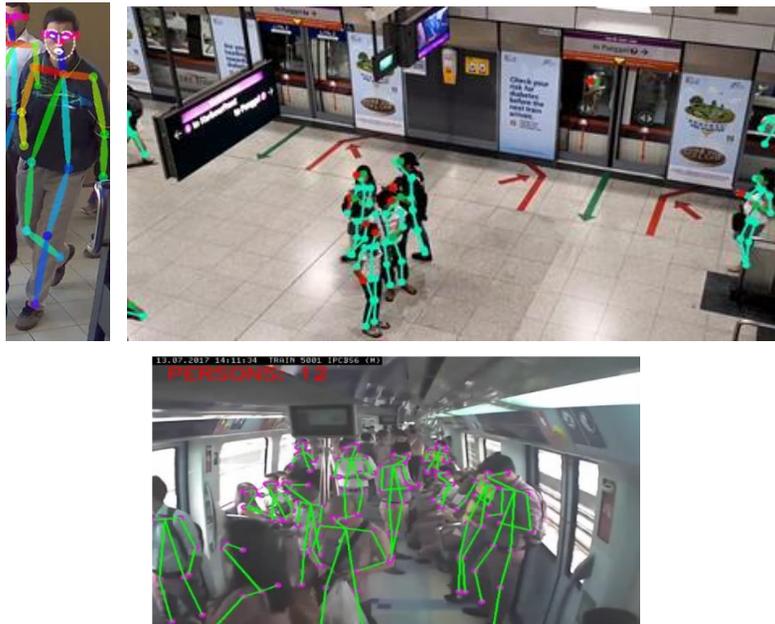


Figura 19. Algoritmos de análisis de imagen para estimación de densidad (fuentes Thales)

Los algoritmos de detección de tipo “Skeleton”, a diferencia de otras propuestas de mercado, **no requieren ajustes complejos de calibración**, ya que sólo precisa que una parte del cuerpo sea vista por la cámara para realizar la correcta detección, resultando prácticamente inmune a situaciones de aglomeración (bloqueo del campo visual por obstrucción de varios cuerpos) o variaciones de iluminación.

La ventaja principal de esta tecnología está asociada a la reutilización de la infraestructura CCTV ya disponible en la estación, no resultando necesaria la implantación de sensores adicionales y sus costes asociados.



### PLATAFORMA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Sistema dotado de algoritmos avanzados que proporcionan los indicadores de ocupación en tiempo real a partir de la información suministradas por la red de sensores, incluyendo los aplicativos de procesamiento y gestión necesarios para estructurar y presentar la información de forma adecuada para la operación, administración e integración del sistema.

Estas plataformas procesan la información provista por los sensores y la correlaciona con otros parámetros de la estación (arquitectura, horarios, áreas, datos meteorológicos, etc.) permitiendo establecer indicadores (KPI) de alto valor añadido para la operación y gestión de la infraestructura, así como la evaluación y predicción de tendencias de comportamiento. En secciones posteriores del documento se abordarán los distintos casos de uso asociados.

### PLATAFORMA DE INTEGRACIÓN DE PUESTO DE MANDO

Responde a soluciones avanzadas para la gestión integrada de la infraestructura en los Puestos de Mando (Centro de Control) y que permite relacionar los eventos generados en el sistema de monitorización de aforo con variables propias de la supervisión y operación integral de las estaciones como, por ejemplo:

Para sacar el máximo beneficio a este tipo de soluciones, la infraestructura ferroviaria debe estar dotada de un puesto de mando plenamente integrado, es decir, que proporcione mecanismos y herramientas para interrelacionar el conjunto de subsistemas que trabajan en conjunto facilitando una gestión armonizada de los recursos del administrador ferroviario como, por ejemplo:

- Sistemas de señalización, CBTC
- Sistemas de Supervisión SCADA (activos electromecánicos, telemandos de energía, sensorización IoT, etc.)
- Sistemas de información al viajero (Megafonía, Teleindicadores)
- Sistemas de Protección y Seguridad (CCTV, Control de Accesos, Anti-intrusión, PCI, etc.).
- Sistemas de distribución de contenidos multimedia
- Sistemas embarcados en trenes

La integración del sistema de análisis de densidad de ocupación en una plataforma OCC integrada proporciona un conjunto de casos de uso de alto valor añadido, entre otros:

- Guiado de viajeros en andenes mediante integración del sistema con la solución de teleindicadores
- Regulación automática de los sistemas de climatización e iluminación en estación en base al grado de ocupación de las áreas bajo análisis

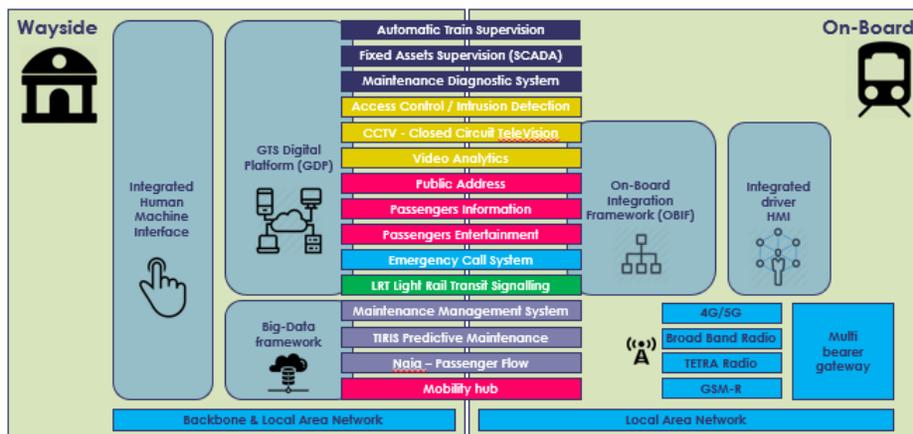


Figura 20. Componentes de Puesto de Mando Integrado (fuente Thales)



### 4.8.3. Normativa aplicable

UNE 178109:2018. Ciudades Inteligentes. Estación inteligente y conexión con la plataforma de ciudad inteligente.

### 4.8.4. Soluciones tecnológicas (incluida su integración)

Según se ha indicado en las secciones anteriores, para lograr un flujo óptimo de pasajeros, los operadores necesitan mecanismos para monitorizar, administrar y predecir la congestión en estaciones y trenes en tiempo real. A continuación, se describen soluciones tecnológicas que proporcionan estas funcionalidades.

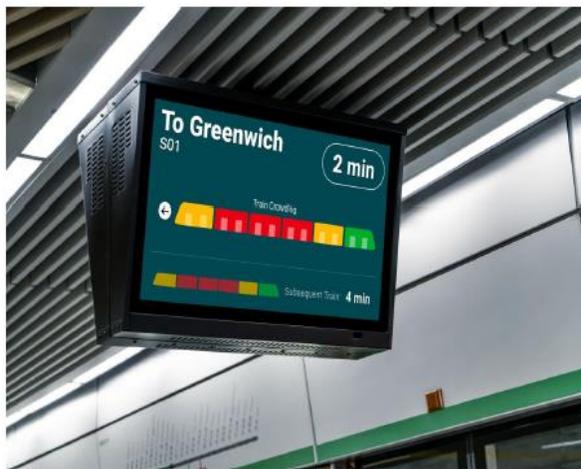
La **solución DIVA (Distributed Intelligent Video Analytics) desarrollada por Thales está diseñada para satisfacer estas necesidades**. El sistema funciona extrayendo datos de densidad de pasajeros en tiempo real de las cámaras de CCTV utilizando algoritmos de visión por computadora. Estos datos se utilizan para generar mapas de calor e indicadores (KPI) para brindar información a diferentes usuarios, incluidos los viajeros.

Una de las ventajas principales de la solución DIVA resulta de la **reutilización de la infraestructura CCTV existente en trenes, andenes y estaciones, no resultando necesario adaptar las cámaras ni la introducción de nuevos sensores**. Además, los aplicativos softwares que soportan la solución pueden entregarse como **un servicio digital, alojado en los servidores del operador, o bien, implementado en Cloud**.

La solución DIVA ofrece una gran cantidad de características, funciones y herramientas, entre ellas:

#### GUIADO DE PASAJEROS

Las aglomeraciones en los trenes a menudo se deben a la falta de información sobre su estado de ocupación conforme éstos se aproximan al andén. Si se proporcionara a los viajeros información sobre los coches menos ocupados y cómo acceder a los mismos, la ocupación se realizaría de forma homogénea, mejorando, además, los tiempos de espera y evitando el hacinamiento en los andenes.



Passenger

#### Meet User Expectations

- > Guide passenger towards less crowded coaches
- > Can be interfaced to passenger apps

#### Improve Operations & Increase capacity

- > Reduce dwell time
- > Avoid train delays

Figura 21. Ocupación en tren (fuente Thales)

La solución DIVA resuelve este problema. Las mediciones de densidad de cada vagón se utilizan para generar un mapa de calor del tren que se aproxima y se presenta en las pantallas teleindicadoras distribuidas en los andenes. Los coches están codificados por colores según densidad: verde para baja, amarillo para media, rojo para alta. Los viajeros que esperan en los andenes pueden ver de forma anticipada qué coches están menos ocupados y moverse a la zona de andén más adecuada para embarcar. El sistema puede mostrar los niveles de densidad tanto del tren que se aproxima como del siguiente, proporcionando a los usuarios el tiempo suficiente para cambiar de posición, lo que resulta clave teniendo en cuenta que se tarda aproximadamente un minuto y medio en recorrer toda la longitud de una plataforma de metro típica.

Los beneficios de este enfoque incluyen una mayor satisfacción de los pasajeros, un embarque y desembarque más rápido y seguro, tiempos de permanencia reducidos y las consiguientes mejoras en



la regulación de trenes. También existe la posibilidad de que los datos de densidad de pasajeros estén disponibles para su uso en aplicaciones de planificación de viajes, para que los viajeros puedan averiguar el grado de ocupación de los trenes antes de que inicien sus viajes

### MAPAS DE DENSIDAD DE RED EN VIVO

El personal del Centro de control de operaciones (OCC) necesita conocer de forma efectiva qué estaciones tienen un problema de aglomeraciones y cuáles no. Normalmente, la única forma de evaluar esto es visualizando las imágenes de las cámaras de CCTV, lo que consume bastante tiempo ya que los operadores tienen que hacer un juicio subjetivo sobre el nivel de afluencia en cada estación.

Los mapas de densidad de red en vivo eliminan la subjetividad y brindan una visión instantánea y de un vistazo del estado de ocupación a lo largo de la línea. El nivel de densidad de pasajeros de cada estación se muestra en un mapa, con una indicación codificada por colores para cada estación (verde, amarillo o rojo). Todos estos datos se extraen del video en vivo. Las plataformas y estaciones se monitorean permanentemente y los umbrales de densidad se pueden personalizar y preconfigurar fácilmente.

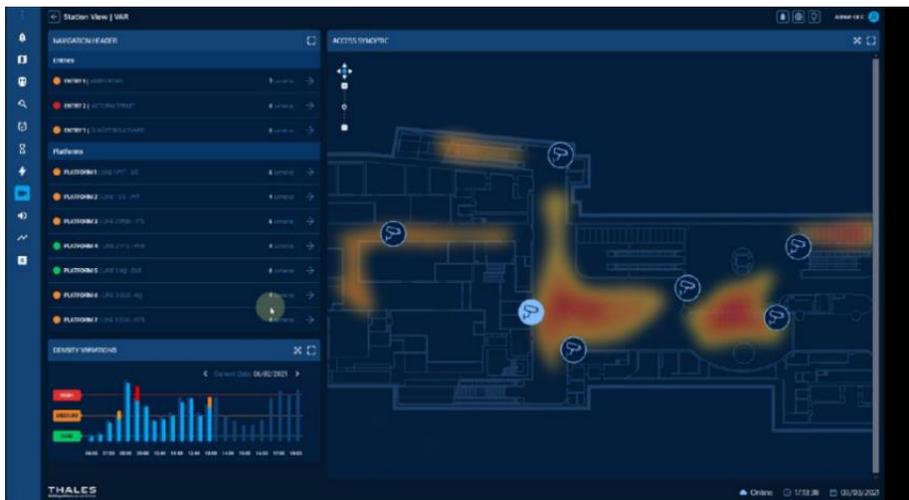


Figura 22. Mapas de densidad de red en vivo (fuente Thales)

### KPI DE OCUPACIÓN

¿Qué porcentaje de la red está ocupado por pasajeros en este momento? ¿Hay más o menos pasajeros de lo habitual? La capacidad de responder estas preguntas tiene un enorme valor para los operadores. Pero obtener respuestas no es fácil.

¿Cómo obtiene exactamente una instantánea global de su red, en tiempo real? El tablero de densidad de pasajeros proporciona una forma sencilla de mostrar los KPI de ocupación, de modo que el personal de OCC pueda ver exactamente qué proporción de la red está ocupada actualmente y permite mostrar esta información como un porcentaje de la capacidad total de la red. Además, puede comparar la situación actual con datos históricos para ver si es parte de un patrón normal o algo fuera de lo común.

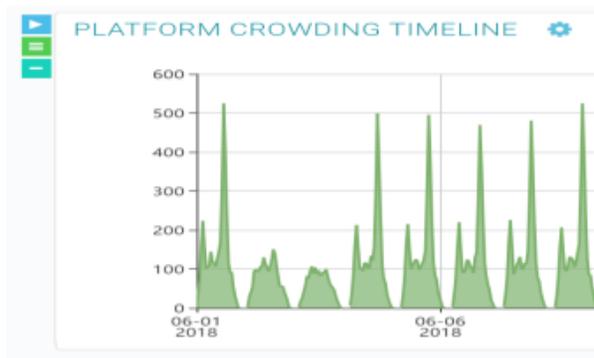


Figura 23. Indicadores de ocupación en andenes (fuente Thales)



### INFORMACIÓN DE HISTÓRICOS

Los patrones de demanda pasados pueden proporcionar una guía para el futuro. Los datos sobre el pasado inmediato son de particular interés en este momento porque los patrones de viaje siguen siendo inusualmente dinámicos. Las visualizaciones de datos pueden ayudar a los operadores a identificar nuevos patrones de demanda a medida que surgen.

De esta forma, los encargados de la administración y los administradores de tráfico y los programadores de trenes pueden comparar datos históricos y ocupación de la red para identificar tendencias emergentes, comprender la cantidad de pasajeros y responder preguntas operativas complejas.

### EFICIENCIA EN GESTIÓN DE LOS RECURSOS

La integración del sistema en la plataforma de OCC permite un ajuste dinámico de los recursos asociados en las estaciones del futuro. Una regulación efectiva de las condiciones de climatización e iluminación efectiva puede realizarse en virtud del estado de ocupación de los trenes o distintas áreas de la estación. Asimismo, permitirá una planificación más efectiva de los recursos de limpieza, seguridad, etc.



Figura 24. Integración solución de análisis en plataforma OCC integrada (fuente Thales)

#### 4.8.5. Casos de uso

### Thales y SBS Transit colaboran para ofrecer una mejor experiencia de viaje a los pasajeros de metro (MRT) en Singapur

La Tecnología de Densidad de Pasajeros proporcionará información en tiempo real sobre la densidad de pasajeros.

La solución digital permitirá una gestión eficaz de las multitudes en las estaciones de metro, mejorando la comodidad general de los pasajeros y su experiencia de viaje.

<https://www.sbstransit.com.sg/news/thales-and-sbs-transit-collaborate-to-deliver-better-travel-experience-for-mrt-passengers-in-singapore>

<https://www.railjournal.com/technology/thales-unveils-diva-passenger-congestion-monitoring-system/>  
<https://www.railway-technology.com/news/thales-real-time-crowd-management/>



## 4.9. Sistema de localización y gestión de activos

Para mejorar la experiencia del viajero en las estaciones ferroviarias se le ha de proveer de servicios que faciliten la localización y el desplazamiento, así como información que contribuya a una estancia satisfactoria y de utilidad durante el tránsito [2]. Entre los servicios comentados cabe destacar: localización de puertas de embarque, andenes y trenes; distribución de puntos de información (paneles, stands, etc.); ubicación de tiendas, zonas de restauración y ocio; identificación de zonas con diferentes niveles de aglomeración (espacios de espera, de transición, etc.), así como salidas de emergencia; zonas con inhabilitación temporal por obras, mantenimiento o reparación; seguimiento de equipajes, en curso o extraviados; etc.

Entre los principales pilares de una estación inteligente está el de la movilidad [3], orientada a facilitar el flujo de usuarios, proporcionándoles información espacial y en tiempo, independientemente de las diferencias y particularidades de cada uno. Por otra parte, la estación ha de tener la capacidad de reducir el impacto negativo de la movilidad: contaminación, accidentes, congestión, etc.

La estación del futuro ha de contar con tecnologías que garanticen, además, la trazabilidad de activos, tanto dentro del recinto como en las proximidades (accesos, aparcamientos, etc.).

Existen antecedentes de aplicación de estas tecnologías en estaciones de tren, como Leningradsky Railway Station [4] o Zürich Main Train Station [5], donde se utilizan soluciones basadas en estos sistemas para mejorar la experiencia de sus usuarios.

Russian Railways implementó en 2018 un sistema de posicionamiento (con error máximo de 1 metro) y guiado para viajeros en la estación de Leningradsky, servicio que incluye otras aplicaciones de información para el usuario.

Swiss Federal Railways tiene disponible la app “My Train Station” que facilita el desplazamiento de viajeros dentro de la estación y parking de vehículo y bicicletas, mediante rutas balizadas. Además, la aplicación “Fiend fiender” permite compartir ubicación e información entre personas concretas. La Zürich Main Train Station tiene digitalizado el correspondiente mapa y cuenta con 1200 puntos balizados.

### 4.9.1. Estado del arte

El seguimiento y control de personas y equipajes, desplazándose o no, en interiores sigue siendo objeto de estudio en el ámbito de investigación, desarrollo e innovación. Además de la posición (coordenadas), es importante saber la localización (ubicación respecto al sistema de referencia elegido).

Los sistemas de navegación por satélite (GNSS) han democratizado las aplicaciones basadas en localización y son el pilar de los servicios derivados, como los basados en localización (LBS) y sistemas de recomendación basados en el contexto (CARS). Los espacios inteligentes están dotados de tecnologías que, de forma no intrusiva, permiten la interacción con el usuario.

Proyectos europeos como el *i-Locate* [6] o conferencias anuales como International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation son algunos ejemplos del interés científico por la localización y navegación en interiores [7].

A diferencia del caso de GNSS, para aplicaciones de posicionamiento en interiores coexisten una diversidad de técnicas y tecnologías que dependen de un mapa de base para localizar el elemento y poder ofrecer navegación por el mismo [8] [9].

Para afrontar este reto se plantean dos aproximaciones. Una intrínseca en la que el propio elemento a posicionar (pasajero o equipaje) incorpora la tecnología de posicionamiento, tal es el caso de navegación inercial y la basada en campo magnético. Y otra extrínseca en la que se requiere de infraestructura desplegada en el entorno para la localización, y cabe diferenciar dos tipos:

Las que utilizan algoritmos de triangulación o trilateración para determinar la posición del nodo móvil, conocidas las posiciones de los nodos de referencia.

Los que utilizan la medida de la intensidad de señal recibida de varios nodos de referencia para estimar directamente la posición del nodo receptor (Fingerprinting).



Entre las tecnologías utilizadas en sistemas de posicionamiento en interiores (IPS) cabe destacar [10]: cámaras, infrarrojos, técnicas de luz visual (VLC), ultrasonidos, radiofrecuencia y GNSS de alta sensibilidad (HSGNSS).

Independientemente de la tecnología, estos sistemas de posicionamiento se enfrentan a retos relacionados con la calidad de la señal, el despliegue de antenas (emisores, receptores), los entornos sin visión directa, la localización dinámica, la interferencia entre dispositivos y, especialmente, los efectos de multicamino o multitrayecto de señal. Los ampliamente conocidos sistemas de navegación inercial (acelerómetros y giróscopos) ubicados en el objeto móvil, cuentan con la limitación de la acumulación de error a lo largo del tiempo.

Las principales estrategias utilizadas en posicionamiento requieren el registro de: tiempo de llegada/tiempo de vuelo (ToA/ToF); diferencia de tiempos de llegada diferencial (TDoA) o diferencia de fases de llegada (PDoA); ángulo de llegada (AoA); e intensidad de la señal recibida (RSS).

En la Tabla 1 y Figura 25 [10] se muestran aspectos cualitativos que ayudan a comparar las diferentes tecnologías usadas en IPS. Todas estas tecnologías, y especialmente la combinación de varias, siguen estando en fase de exploración y sentando las bases de lo que será el posicionamiento en interiores en el futuro.

*Tabla 1. Comparación entre tecnologías de posicionamiento en interiores*

Tecnología	Fortalezas	Debilidades
Infrarrojos	Bajo coste	Luz solar fuente de interferencia. Multicamino
Comunicación por luz visible (VLC)	No intrusivo	Coste de instalación
Ultrasonidos	Buena precisión	Eliminación de interferencias. Multicamino
Sonido audible	Bajo coste	Baja exactitud y precisión
Wi-Fi	Bajo coste	Vulnerable a cambio de puntos de acceso
Bluetooth / ZigBee	Bajo coste	Especial equipamiento de usuario
RFID	Muy bajo coste	Muy baja exactitud y precisión
UWB	Alta exactitud	Alto coste
Campo geomagnético	No requiere infraestructura	Requiere mapeado
Inercial	Bajo coste	Error acumulativo
Visión por computador	Bajo coste	Sensible a condiciones luminosas

Independientemente de la tecnología de medida, es fundamental el procesamiento de datos registrados, bien en bruto o con diferentes niveles de filtrado (Singular Spectral Analysis) [11]. Entre las técnicas de procesamiento cabe destacar: métodos probabilísticos, filtros de partículas, filtro de Kalman y sus derivados (EKF, UKF), máquinas de soporte vectorial, machine learning, etc.

Conocidas las coordenadas del elemento de interés, viajero y/o equipaje, es necesario conocer su localización, para lo que es imprescindible disponer de un mapa. En cuanto a la creación de mapas de interiores, indoorGML es una propuesta que está en fase de implementación, pero todavía se está lejos de un estándar universal [13] [14].

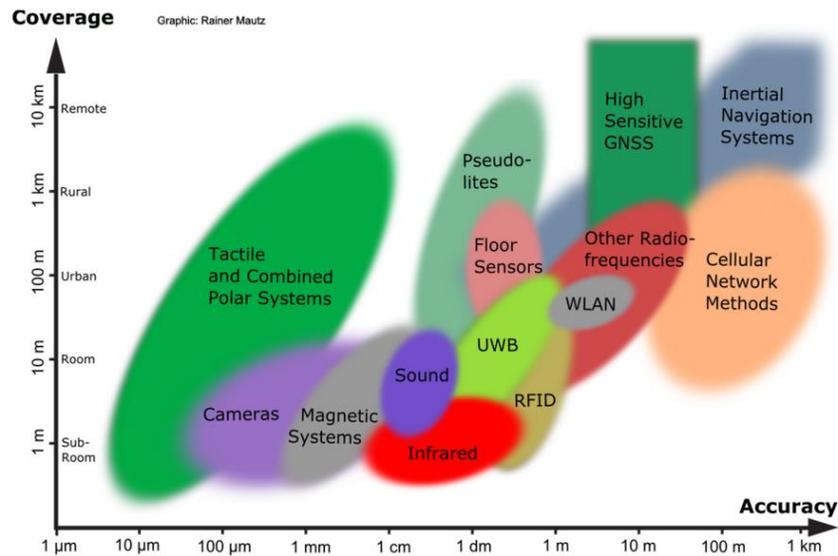


Figura 25. Revisión de tecnologías de posicionamiento en interiores

#### 4.9.2. Retos

Los principales retos y desafíos relacionados con el posicionamiento y navegación en interiores son tecnológicos, de estandarización y legislativos.

##### Tecnológicos

En este bloque se considera: utilidad del teléfono móvil como sensor, calibración de sensores y reducción de consumo de sensores, capacidad de procesamiento de la electrónica asociada, comunicaciones entre dispositivos, adaptación dinámica sensorial a entornos cambiantes, eficaz aprovechamiento de las señales de oportunidad, seguridad e integridad de la localización, interfaces hombre-máquina para apoyo a la navegación, etc.

##### Estandarización

La definición de estándares ha de dar soporte al desarrollo tecnológico en aspectos como: mapas de interiores, métricas de desempeño, protocolos y servicios de localización, etc. Se han de tener en cuenta aspectos como: integración de electrónica de localización en dispositivos móviles, estandarización de librerías (SDK), estandarización de mapas de interior, estándares para garantizar la escalabilidad de las soluciones, métricas de evaluación de desempeño consistentes y protocolos lógicos para descubrir y proporcionar servicios de localización.

##### Legislativos

Más allá del ámbito de la localización en interiores, se ha de encontrar un equilibrio entre la garantía de la privacidad sobre la información de las personas y el acceso legítimo a datos privados que contribuyan a la seguridad de la ciudadanía.

#### 4.9.3. Casos de uso

Existen diferentes referencias de casos de uso, como el implementado en la estación de Leningradsky gestionado por Russian Railways y en la estación de Zürich gestionado por Swiss Federal Railways.



### 4.10. Monitorización de ocupación de pasajeros en estaciones de tren

Las soluciones elegidas para el sector ‘Transporte Público’ deben permitir **analizar la información de flujo y comportamiento de los pasajeros de vehículos de transporte público** (autobuses, tranvías, trenes, trolebuses, ...), con el fin último de optimizar rutas y servicios de forma eficaz y profesional.

En el ámbito de las estaciones también deben permitir **analizar la información de conteo, flujo y comportamiento de los pasajeros y visitantes**, con el fin último de optimizar el servicio prestado, medir la eficiencia de los procesos y gestionar los espacios comerciales.

#### 4.10.1. Características generales esperadas

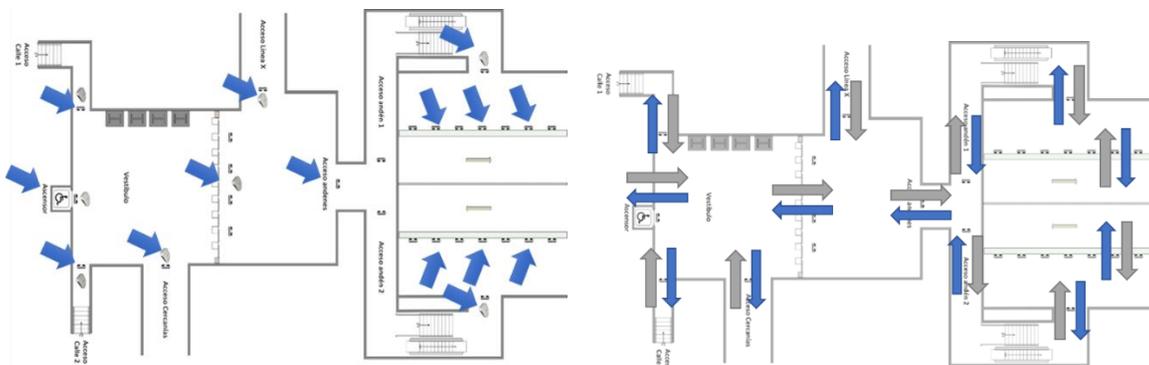
El sistema debe disponer de sensores de medida de flujo de personas en nodos o infraestructuras de transporte. Permite conocer con alta fiabilidad el flujo de personas, además de las pautas de circulación sin necesidad de ningún elemento mecánico de control de acceso, en los puntos dónde esté instalada la solución.

En el caso concreto de las estaciones de tren, permite monitorizar en tiempo real la presencia de pasajeros en los accesos, zona de influencia y andenes.

A continuación, se describen las características más importantes que debe tener la solución.

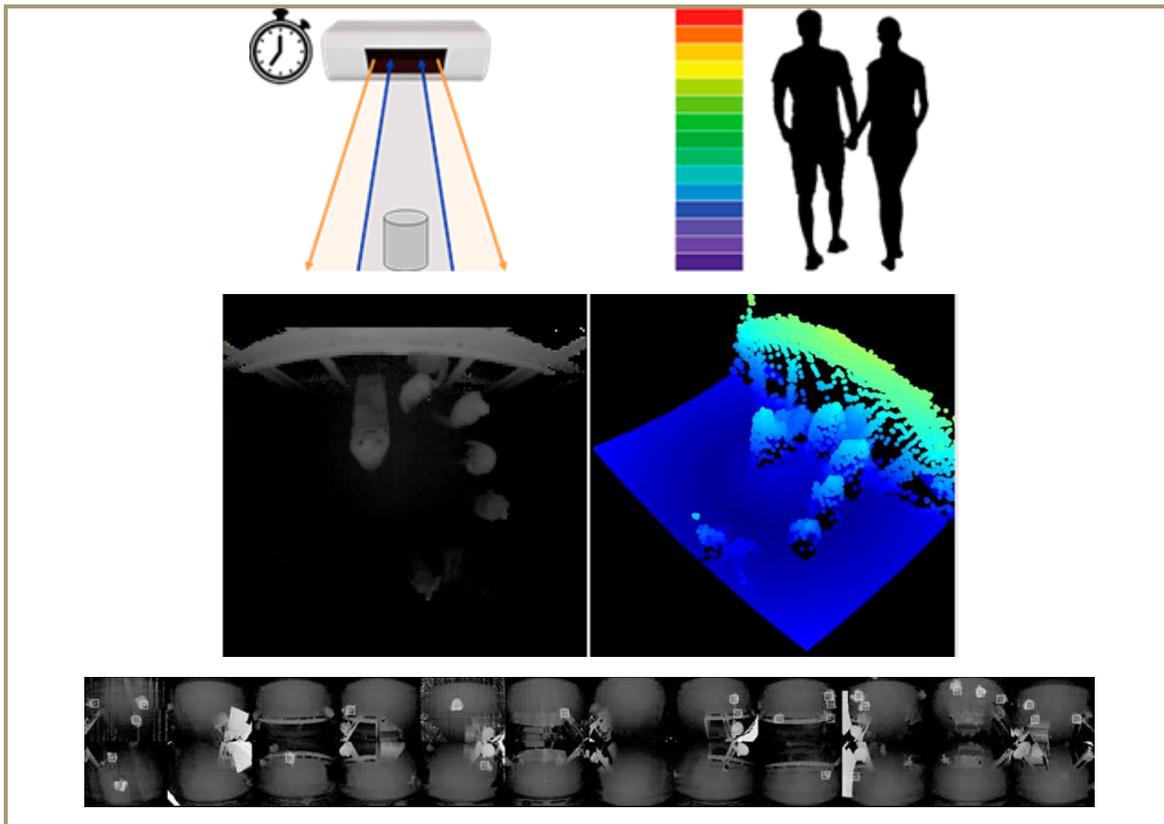
#### Analíticas y comparativas detalladas de los siguientes indicadores de flujo

- Viajeros que entran por los accesos desde calle
- Viajeros (y cuantos en sillas de ruedas) que entran por los ascensores
- Ocupación del vestíbulo y diferentes áreas de interés
- Viajeros que acceden por las zonas de validación (estimación de fraude)
- Analítica de viajeros en tránsito desde otras líneas u otros medios de transporte
- Movimiento de viajeros hacia los diferentes pasillos o bifurcaciones de líneas/andenes
- Acceso a los andenes y su ocupación
- Viajeros que entran/salen en los trenes
- Valor publicitario en cada uno de los puntos dentro de la estación
- Matriz de origen/destino de los viajeros dentro de la red de transporte y los tiempos de tránsito



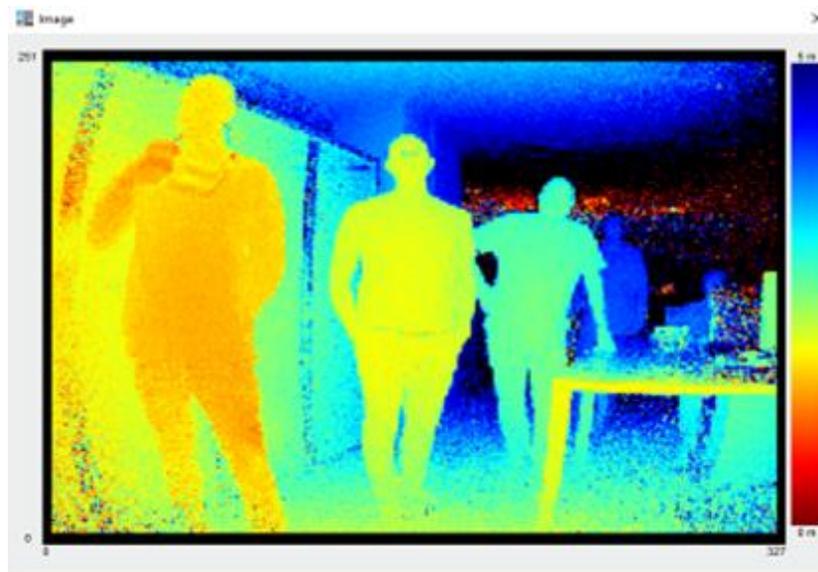
#### Tecnología ToF (Time of Flight) de última generación

El dispositivo debería incorporar un sensor de imagen con la innovadora tecnología de Tiempo de Vuelo (Time Of Flight), que crea una imagen 3D de máxima resolución y precisión a partir de los rayos infrarrojos reflejados del entorno (personas y entorno)



#### Sin impacto en privacidad (Reglamento General de Protección de Datos - GDPR)

Con la tecnología 'Tiempo de vuelo' las imágenes nativamente son en 3 dimensiones por lo que no tienen ningún impacto en la privacidad de los pasajeros. Todas las imágenes son procesadas internamente en los sensores para enviar datos de detección procesados, pero incluso existiría la posibilidad de grabar imágenes para mantenimiento o auditorías garantizando la privacidad tal y como exige el Reglamento Europeo 2016/679 General de Protección de datos personales y la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de datos personales y garantía derechos digitales.



#### Máxima precisión con algoritmos de visión artificial

Algoritmos de procesamiento basados en redes neuronales y lógica borrosa que lo convierten en un sistema de conteo de personas de los más precisos del mercado (>99%).



### Clasificación de objetos de interés y comportamiento de clientes

Opción de seguimiento de trayectorias del cliente y de identificación de objetos de especial interés para la red de transporte como sillas de ruedas, carritos de bebé y bicicletas, así como la posibilidad de incorporar nuevos objetos a futuro en el algoritmo de detección.

### Gestión de tiempos de espera

Monitorización de personas en el andén y su tiempo de espera estimado

### Arquitectura IoT con comunicaciones 4G/5G

El dispositivo se comportará como una fuente de información dentro de una arquitectura IoT, enviando datos periódicamente (configurable) a la nube mediante un modem 4G/5G o la tecnología de comunicaciones existente en la estación.

### Gestión cloud remota y centralizada

Gestión remota y analítica de datos en la nube para una red ilimitada de dispositivos

### Fácil integración de datos

Integración flexible de datos mediante API de servicios web REST con información en formato JSON u otros.

### Almacenamiento interno de datos históricos

Almacenamiento de datos históricos en el propio sensor de hasta un máximo de 400 días

### Carcasa *outdoor* antivandálica a medida

El dispositivo debe incorporar una carcasa industrial metálica de sencilla instalación preparada para zonas *outdoor* (IP55) y situaciones de anti-vandalismo.

La carcasa será diseñada a medida para su fijación y anclaje a los modelos de paradas en los que tenga que ser implantado.



Figura 26. Resumen de posibles funcionalidades analíticas



## 5. Cambio modal

### 5.1. Intermodalidad

El concepto de movilidad va más allá de los desplazamientos físicos de un lugar a otro, sin este no se puede entender la realidad actual, pues constituye el mayor desafío para la vida urbana contemporánea. El objetivo de los estudios y soluciones en materia de movilidad tiene como enfoques básicos mejorar la calidad de vida de los habitantes, lograr la eficiencia en el transporte y buscar la sostenibilidad de las ciudades.

Debido a la cada vez más amplia variedad de medios de transporte dentro de los núcleos urbanos, la intermodalidad se ha convertido en un punto estratégico de estudio. La intermodalidad supone combinaciones eficientes, integradas y coordinadas de modos de transporte. Este sistema aporta facilidades a los viajeros a través de combinación tarifaria, reducción de los tiempos de viaje y planificación de horarios de los distintos modos, de manera que sean compatibles entre sí. Junto a esto, el diseño de intercambiadores multimodales facilita los transbordos, para lograr desplazamientos de puerta a puerta sin interrupciones.

El elemento fundamental de la intermodalidad es la coordinación entre los modos de transporte, que se consigue gracias a una infraestructura intermodal y a los acuerdos entre operadores. Dichas infraestructuras deben ser inteligentes asegurando el seguimiento e interoperabilidad de las diferentes formas de transporte y facilitando la definición de planes de movilidad que garanticen la continuidad del servicio en caso de trastornos.

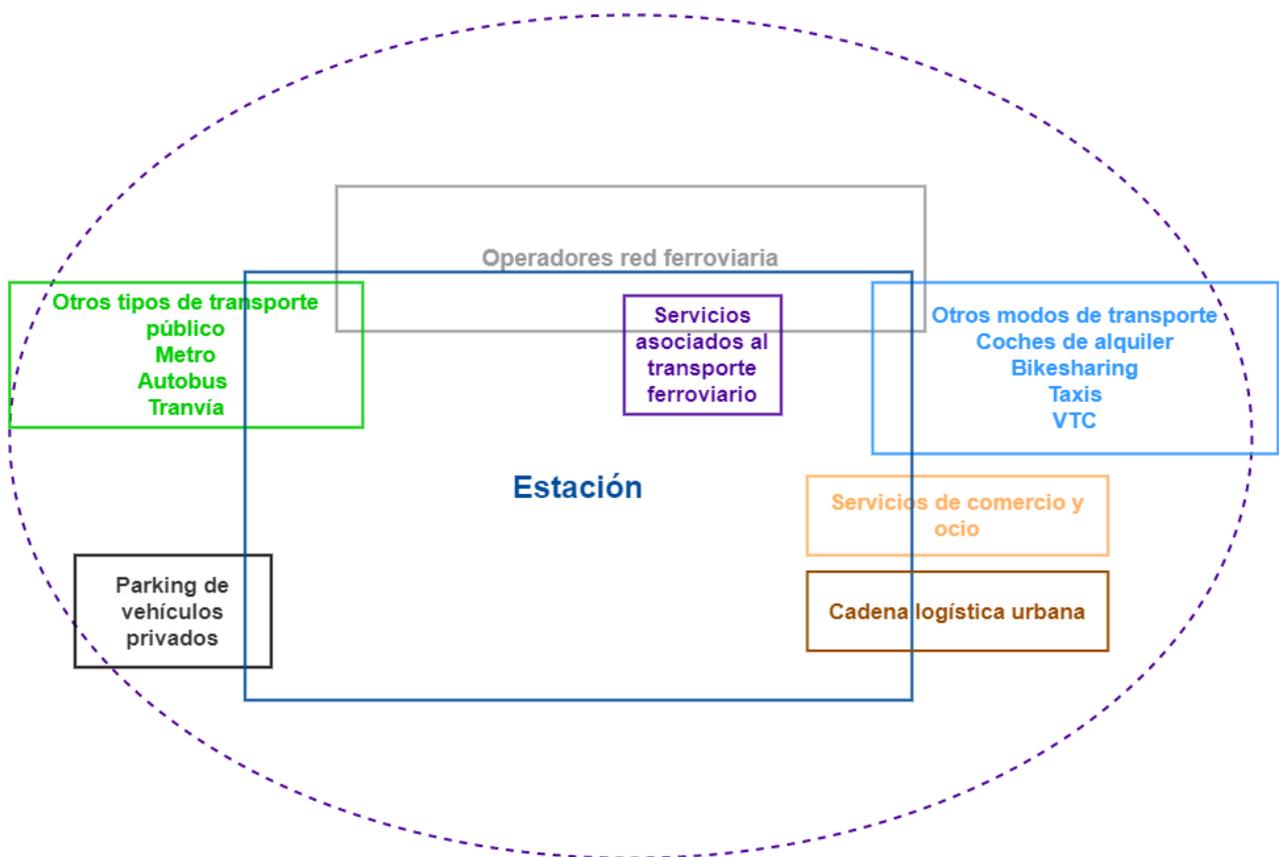


Figura 27. Elementos implicados en intermodalidad



### 5.1.1. Factores en la conexión

Antes de la reserva, la información sobre todos los modos de transporte, la posibilidad de su uso combinado y su impacto ambiental deben estar disponibles, para que el viajero diseñe su desplazamiento conociendo todas las opciones. Teniendo en cuenta que internet y los smartphones permiten proporcionar servicios altamente personalizados, la información intermodal se convierte en un factor crucial para conseguir desplazamientos inteligentes y sin interrupciones.

Tabla 2. Tipos de conexión y factores clave de cada uno

Tipo de conexión	Factores clave
Transporte público 	Integración completa de los diferentes servicios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Información e incidencias</li> <li>• Billetaje integrado</li> <li>• Horarios</li> <li>• Equilibrio de capacidades</li> </ul> Tránsito de un modo a otro de forma segura, fluida y guiada, garantizando distancias para conexiones a pie
Vehículo privado/taxi 	Monitorización de disponibilidad de aparcamiento Integración del coste del aparcamiento en el propio billete Integración con servicio de taxis/VTCs y alquiler de coches Estado de tráfico en los accesos Gestión de puntos de carga para automóviles eléctricos
Bicicleta/patinete 	Disponibilidad de aparcamiento próximo y seguro Posibilidad de llevarlo en el transporte colectivo Servicio de alquiler y reparación
Peatón 	Información específica antes y durante el viaje intermodal sobre los partes de desplazamiento que se realizan a pie Sistemas de orientación con caminos cortos, seguros y accesibles

Esta información a la hora de planificar el viaje debe ser común, en tiempo real y precisa, sobre horarios y modos de transporte disponibles para el trayecto que se quiera realizar. Una vez hecha la reserva del trayecto, la información ofrecida al usuario debe ser de puerta a puerta, incluyendo detalles desde el momento en el que sale de su hogar hasta llegar a su destino final.

Las nuevas tecnologías aplicadas al transporte pueden constituir un medio para el alcance del progreso en este sector, haciéndolo más efectivo y competitivo. Este proceso de evolución demanda, entre otros aspectos:

- Sistemas de comunicaciones que soporten cada vez mayores volúmenes de datos.
- Despliegue de dispositivos para la recolección de información.
- Gestión eficiente de gran volumen de datos.
- Interoperabilidad entre las soluciones utilizadas

### 5.1.2. Estado del arte

La movilidad urbana está pasando por importantes cambios. Existen varios problemas motivados por una mayor afluencia de personas en las ciudades, así como por el crecimiento del tráfico, lo que se traduce



en una mayor congestión, emisiones y contaminación. Por otro lado, cada vez hay más opciones de movilidad disponibles, como el coche compartido, el alquiler de bicicletas, patinetes o motos eléctricas, especialmente común en las áreas urbanas. Esta micro movilidad compartida en las ciudades, junto a los modos tradicionales, como el transporte público, conforman un entorno complejo. Además, existe una mayor conciencia medioambiental en la sociedad actual, hecho que los lleva a optar por modos más respetuosos con la naturaleza y con menos emisiones de CO<sub>2</sub>.

En la elección del modo de transporte intervienen diferentes factores, los más relevantes son el tiempo real del viaje, el precio, la autonomía, el confort, la seguridad y el impacto medioambiental. Los usuarios optan por un modo de transporte u otro, según estos factores, en función de sus preferencias, su nivel de renta o el objetivo de su viaje. Desde el punto de vista concreto de una estación ferroviaria, cabe destacar que, los viajes en tren se ven a menudo afectados por el problema de la primera/última milla, referido a la conectividad limitada y la accesibilidad a las líneas de pasajeros de alta capacidad.

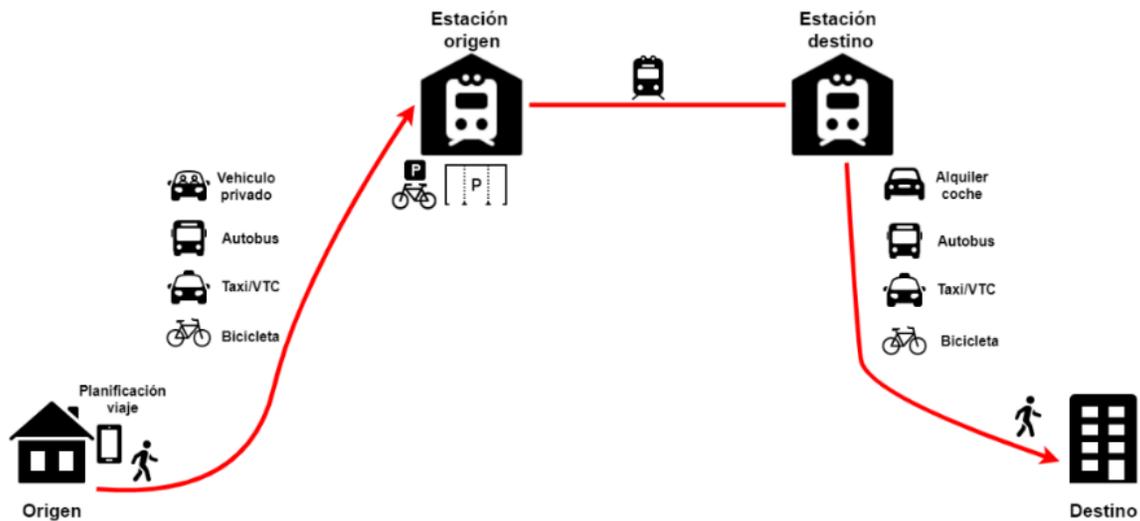


Figura 28. Conectividad en estaciones

Uno de los retos asociados a esta transformación de las grandes ciudades es la necesidad de dotar a los ciudadanos de una red de transporte completa y eficiente con la que puedan llegar a cualquier punto de la forma que mejor se ajuste a sus preferencias. La adopción de soluciones de infraestructura inteligente resulta fundamental para conseguir impulsar una gestión productiva, eficiente, sostenible y segura de la misma. Los análisis de datos de movilidad permiten determinar los patrones de viaje y su impacto en la red de transporte para apoyar la estrategia de movilidad y la planificación con una toma de decisiones acorde con los horarios, las actualizaciones de los servicios y otras demandas. De todo esto, nace un nuevo concepto denominado “Mobility as a Service” (MaaS), donde el pasajero hace uso del transporte reservándolo online, a través de Internet, desde un teléfono móvil y con un solo clic.

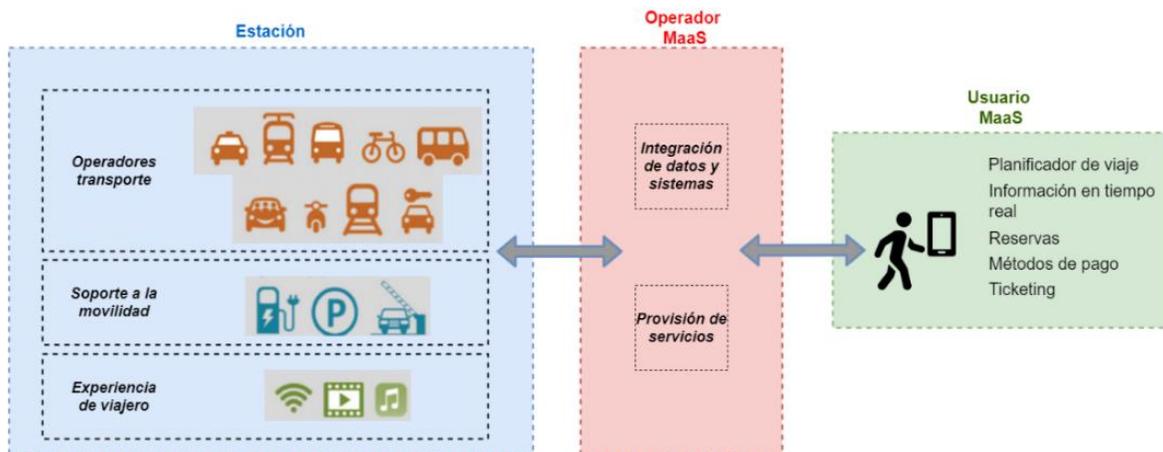


Figura 29. Mobility as a Service



Debido al gran intercambio de información necesaria entre los diferentes nodos, se están realizando contribuciones para desarrollar normas aplicadas a las infraestructuras de transporte. Aeropuertos, estaciones de tren y puertos son elementos generadores de gran cantidad de información útil para el entendimiento de la movilidad de los viajeros.

Es por ello por lo que, desde el Comité Técnico de Normalización (CTN178-AENOR), se identificó la necesidad de estandarización de este tipo de elementos, con el objetivo de favorecer la comunicación de estas infraestructuras de transporte entre sí y con otras infraestructuras adyacentes. Entre los diferentes estándares abiertos se encuentran los estándares para las **estaciones inteligentes (UNE 178109:2018)** y estándares para la gestión de los servicios básicos en las ciudades inteligentes (UNE 178402:2015). En el ámbito de la disponibilidad y economía de los datos, desde la Comisión Europea se publicó en mayo de 2017 el Reglamento Delegado (UE) 2017/1926, que complementa la Directiva 2010/40/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, en lo que se refiere al suministro de servicios de información sobre desplazamientos multimodales en toda la Unión. En dicho reglamento se establece la obligatoriedad de aportar datos estáticos e históricos de desplazamiento y tráfico a los distintos agentes intervinientes en el transporte.

Otro aspecto es la estandarización de la información que permita un intercambio fluido de datos. En el ámbito europeo se ha designado a **NeTEx** como estándar para el suministro de datos estáticos y a **DATEX II** para el suministro de dinámicos.

### 5.1.3. Retos

Los principales retos y desafíos son:

Un buen indicador de que la intermodalidad funciona correctamente sería que el usuario no percibiera en ningún momento que el trayecto lo gestionan diferentes operadores. El gran reto es **conseguir que todas las empresas y operadores de transporte operen como un único gran operador.**

La demanda en la mayoría de los casos es residual, en ocasiones porque el usuario no es consciente de que existen. **Para conseguir que la sociedad contemple las opciones intermodales, es preciso que estas se generalicen.**

La movilidad como servicio depende de la **existencia de una gama de soluciones de transporte que involucran infraestructura, gestión, servicios de usuario final, datos y acceso a sistemas relevantes** como la compra de billetes.

### 5.1.4. Soluciones tecnológicas

La implementación de sistemas intermodales de transporte no pasa necesariamente por la renovación de las redes y la infraestructura en el corto plazo. Se trata de gestionar los recursos actualmente disponibles, de forma que se pueda potenciar su uso, con herramientas que permitan al usuario elegir y combinar los modos de transporte.

Para que la estación y sus servicios queden integrados como un nodo más dentro de los recursos disponibles a la hora de planificar un viaje, se debe ofrecer e intercambiar en tiempo real información acerca del estado del servicio ferroviario, los horarios y tarifas, de la disponibilidad de los diferentes modos de transporte con los que se combina, junto con la facilidad en los accesos y salidas de la estación.

Además, los datos generados por teléfonos móviles, dispositivos de navegación a bordo o los sistemas de pago inteligentes, proporcionan un componente geoespacial y temporal para obtener una comprensión más detallada de dónde se encuentran los viajeros en cada momento, y, en algunos casos, el modo de transporte y el propósito. Otros factores como la previsión meteorológica, el calendario de festividades o de eventos reseñables debe ser considerados para crear patrones de comportamiento y predecir picos en la afluencia de viajeros.

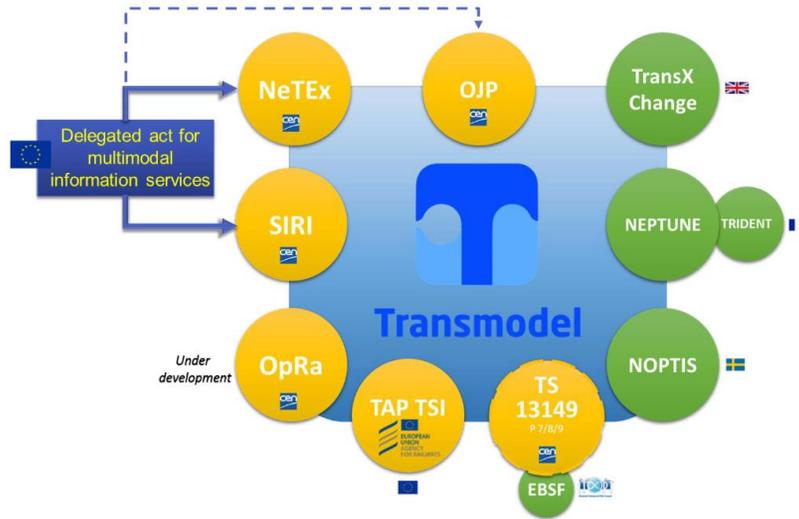


Figura 30. Diferentes estándares en el ecosistema Transmodel

Por otro lado, la falta de información sobre las instalaciones y los requisitos específicos de los viajeros puede considerarse una barrera importante para la planificación del viaje. El conocimiento de las infraestructuras involucradas y sus características físicas son necesarias para planificar los componentes a pie del viaje. Por ejemplo, la inaccesibilidad para sillas de ruedas puede ser un obstáculo insuperable. Por ello, la información detallada y fiable sobre los edificios y demás instalaciones que componen las infraestructuras, como las estaciones, es de suma importancia. Debido a esto, es necesario que la descripción de la infraestructura sea modelada e intercambiada como un conjunto de datos más.

Toda la información obtenida a partir del intercambio de datos con el resto de los nodos debe ser transmitida a los viajeros a través de aplicaciones móviles, páginas webs y en la propia estación empleando los sistemas de información al pasajero disponibles.

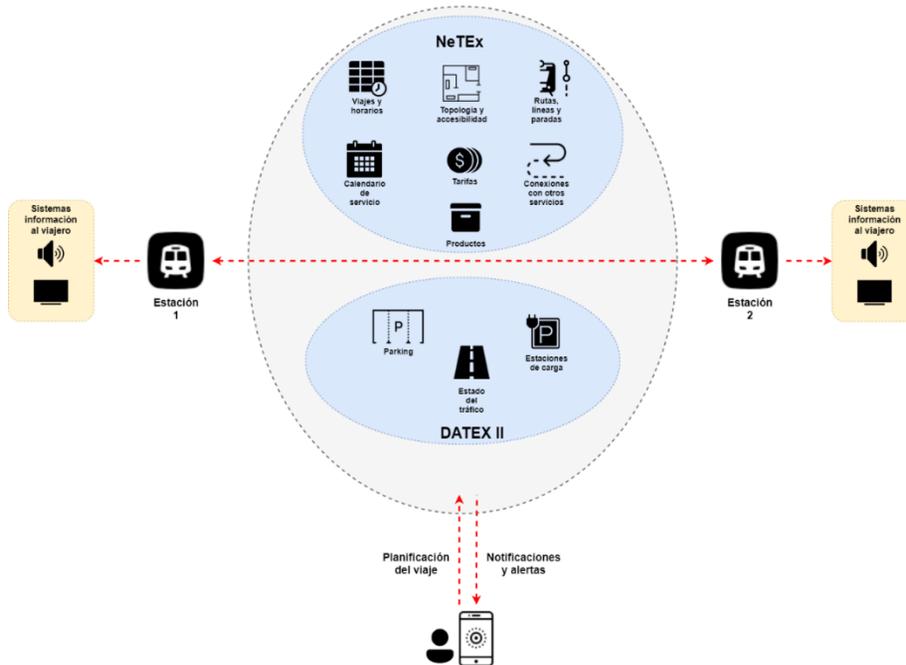


Figura 31. Intercambio de información entre nodos y usuarios

El estudio de los datos permite optimizar la oferta de movilidad y fortalecer la lealtad de los usuarios. Los análisis intermodales ofrecen una información detallada sobre las redes de transporte y los flujos de pasajeros. Se pueden emplear esos datos para generar una planificación basada en históricos y crear la base para una operativa de estación eficiente, una mejor experiencia para los pasajeros y el máximo rendimiento económico.



### SIRI

Es un estándar técnico de CEN que especifica un estándar de interfaz europeo para el intercambio de información sobre el rendimiento planificado, actual o proyectado de las operaciones de transporte público en tiempo real entre diferentes sistemas informáticos. Permite intercambiar información estructurada en tiempo real sobre horarios, vehículos y conexiones, junto con mensajes informativos generales relacionados con la operación de los servicios.

### IFOPT

Identificación de Objetos Fijos en el Transporte Público - es una Especificación Técnica CEN que define un modelo de referencia para la descripción de la infraestructura de transporte público y un modelo de datos de referencia que permite la descripción de los principales objetos fijos como aeropuertos, puertos, estaciones de tren y autobús y su estructura interna.

### IFC

Descripción digital estandarizada para el intercambio de datos de construcción. IFC proporciona un formato de datos estandarizado y una descripción semántica de activos para el intercambio de modelos de construcción.

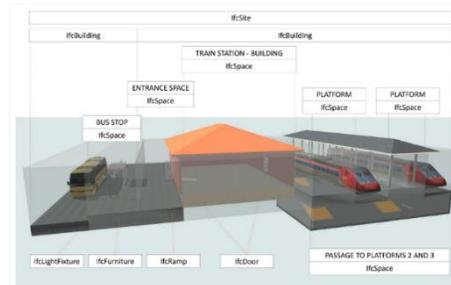
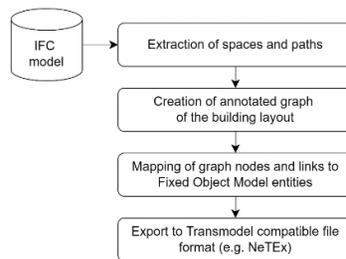


Figura 32. Identificación de elementos IFC

### TRANSMODEL

El modelo de datos de referencia del transporte público (EN 12896), “Transmodel”, es un estándar que proporciona un acuerdo común sobre la definición de conceptos utilizados en transporte público. Es un estándar de referencia que permite y mejora la interoperabilidad entre todos operadores. Se divide en partes que cubren diferente información, como la descripción de la red, la información de horarios y planificación de vehículos, monitoreo de operaciones, administración de tarifas, información de pasajeros, gestión de conductores y gestión de información.

### NeTEx

La especificación técnica NeTEx define el modelo de datos XML para implementar la parte central de Transmodel. Proporciona un medio para intercambiar datos para información de pasajeros (paradas, horarios de rutas, tarifas) entre diferentes sistemas, junto con datos operativos relacionados.

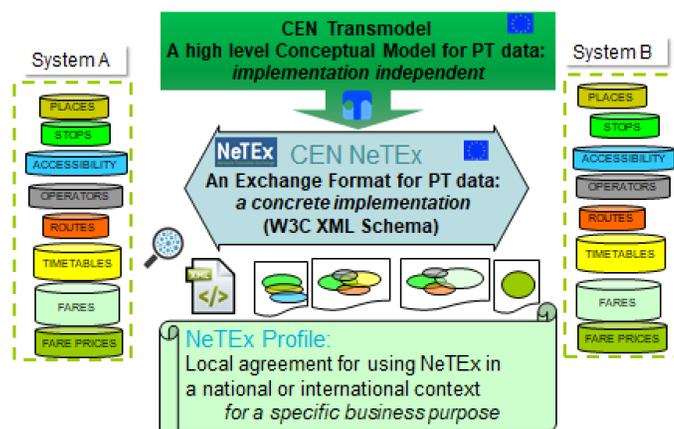


Figura 33. Intercambio de información entre sistemas



### 5.1.5. Casos de uso

#### **Transport for London**

El organismo de gobierno local “Transport for London” (TfL) monitoriza una red de autobuses, trenes, taxis, carreteras, bicis de alquiler, carriles bici, aceras e incluso ferris que utilizan millones de personas al año en una de las mayores ciudades del mundo. TfL es capaz de analizar datos de 1.400 millones de pasajeros anuales para dar servicio a una red de aproximadamente 400 Km.

La introducción en 2003 de un sistema de pago con tarjetas inteligentes (Oyster) ha permitido recoger una ingente cantidad de datos sobre los trayectos específicos buscando patrones en estos datos para comprender qué tipos personas usan la red, cuándo viajan, hacia dónde van y qué modo de transporte están utilizando.

#### **Proyecto piloto 'Smart Passenger Flow Pilot'**

Proyecto que pretende analizar y entender el flujo de pasajeros dentro de los aeropuertos mediante el uso de Big Data. En solo 6 meses de programa, el consorcio pudo presentar frente a representantes de la Comisión Europea un modelo descriptivo de los movimientos de los pasajeros.



## 6. Estudios de resultados

### 6.1. Mecanismos y metodologías para medir la satisfacción del viajero

Hoy en día la generación de un sistema de transporte eficiente es un problema de gran relevancia en el desarrollo urbano. Distintas estructuras de transporte conllevan diferentes resultados en cuanto a nivel de servicio percibido por los usuarios y el coste de funcionamiento del sistema.

Para que el transporte público sea un modo realmente competitivo es necesario, además de un buen diseño y de políticas adecuadas enfocadas hacia una movilidad sostenible, ofrecer un servicio de calidad.

En un área multimodal confluye un volumen importante de personas, usuarios de distintos modos de transporte, con distintas necesidades a la hora de hacer uso de dicho espacio. El tiempo necesario de espera entre dos etapas de un viaje, tiempo de trasbordo, es una variable o atributo fundamental a la hora de establecer las necesidades de los usuarios de un área multimodal. Además, existen otros atributos a tener en cuenta a la hora de mejorar los distintos servicios ofrecidos en un área multimodal [15] [16].

El facilitar la multimodalidad es fundamental para conseguir que las personas utilicen los modos de transporte público para realizar sus viajes. No sólo es necesario mejorar la calidad del servicio ofrecido por cada una de las compañías de transporte involucradas en sus viajes, sino la comodidad a la hora de utilizar distintos modos y líneas de transporte público.

El hecho de que exista un área multimodal donde confluyan los distintos modos de transporte necesarios para realizar un viaje ya aporta al tiempo de trasbordo cierta comodidad. Además, dentro de dicha área multimodal se puede mejorar los servicios ofrecidos a los viajeros tanto para facilitar el trasbordo entre un modo de transporte y el siguiente, así como para hacer ese tiempo de trasbordo más ameno.

Por todo lo anterior, es fundamental determinar los atributos fundamentales para los usuarios de un área multimodal, así como la disposición al pago por mejorar cada uno de esos atributos

#### 6.1.1. Estado del arte y retos

Por todo lo anterior, es fundamental determinar los atributos fundamentales para los usuarios de un área multimodal, así como la disposición al pago por mejorar cada uno de esos atributos.

Para conseguir dicho objetivo es necesario caracterizar a los usuarios de un área multimodal y establecer distintos valores de la disposición al pago de cada atributo fundamental en función de dicha caracterización.

La mayoría de los estudios se centran en el valor del tiempo de trasbordo en el área multimodal o en el valor del tiempo de espera (tiempo que suele englobar el tiempo de trasbordo, así como el tiempo de caminata del modo de transporte inicial al siguiente modo de transporte).

De esta manera, cabe destacar la existencia de literatura relacionada específicamente con estaciones multimodales y el estudio de la tarifa y tiempo de transbordo, la percepción de los viajeros frente a la calidad de información que reciben para realizar sus transbordos, así como la disponibilidad de servicios en las estaciones aplicando para dichos análisis modelos de elección discreta tipo logit mixto.

La mayor parte de los estudios consideran los tiempos (de viajes, espera y de acceso) y los costes (tarifas) como los elementos principales para los usuarios a la hora de tomar decisiones no considerando elementos cualitativos. Pocos estudios a nivel internacional se ocupan de estudiar la calidad de los servicios en estaciones multimodales concentrándose más sobre aspectos de los servicios “on board”.

Las metodologías más aplicadas para estudiar la calidad en estaciones intermodales emplean diseño de encuestas de preferencias reveladas y declaradas y el uso de modelos logit (multinomial, jerárquicos y mixto) para evaluar la disponibilidad al pago como consecuencia de las mejoras de aspectos cualitativos.

La Unión Europea ha adoptado una visión de la calidad del servicio orientada hacia el usuario, fomentando un enfoque centrado en las necesidades y expectativas de los pasajeros.



Además, en los últimos años se observa que la calidad se ha convertido en un factor crítico para las empresas, que consideran que pueden conseguir una ventaja diferencial sobre sus competidoras a partir de su calidad. De hecho, la calidad se ha convertido en un concepto clave en el marco de una estrategia de empresa competitiva [17].

Esta calidad dependerá en gran medida de las decisiones adoptadas por los gestores del sistema, dentro de los límites de su presupuesto, sobre la amplitud (territorial y horaria) del servicio, tipo de servicio, etc. Esta también puede ser un indicador del éxito que tiene un determinado gestor a la hora de proveer un servicio a sus clientes, ya que la calidad del servicio tiene implicaciones sobre la demanda.

Según el Handbook for Measuring Customer Satisfaction and Service Quality [18], se considera que para las agencias de transporte público un incremento en la satisfacción de los clientes se traduce en una retención de viajeros, incremento en el uso del sistema, nuevos clientes atraídos, y una mejora de la imagen pública.

Todo esto ha traído como consecuencia que se haya despertado un interés creciente por conocer y analizar la calidad de los sistemas de transporte público. Desde finales del siglo pasado el número de estudios que analizan la calidad en este sector está creciendo de forma significativa.

En los últimos años se han desarrollado una gran diversidad de enfoques sobre la calidad del servicio debido a la complejidad del concepto; al extenso rango de atributos requerido para evaluar la calidad [19]; y a la imprecisión, subjetividad y naturaleza heterogénea de los datos usados para analizarla. La mayoría de estos enfoques están basados en encuestas de satisfacción, aunque también existen otras tipologías de estudios basados en encuestas de preferencias declaradas [20][21]. Estos métodos se basan en la hipótesis de que la percepción global de la calidad del servicio por parte de un usuario se forma en base a un paquete de atributos en lugar de agregando las percepciones sobre aspectos específicos del servicio. No obstante, los modelos basados en encuestas de satisfacción siguen siendo los más empleados.

Además, hoy en día las nuevas tecnologías ofrecen numerosas ventajas tecnológicas para la captación de datos de los usuarios en diversas circunstancias como la que se plantea. Una de ellas es la captación de datos mediante dispositivos móviles [22]. Otra de las fuentes de datos a explotar en el planteamiento de una estación multimodal es la explotación de los datos captados, bien por dispositivos móviles de usuarios o mediante la simulación de escenarios que permiten entender los cambios de comportamiento de los usuarios en el planteamiento estas infraestructuras [23] [24].

Existen dos corrientes para analizar la calidad del servicio: enfoques que consideran las diferencias entre expectativas y percepciones; y enfoques que sólo consideran la percepción de la calidad o, en su caso, la satisfacción que, como se ha indicado anteriormente, son constructos que se han sido intercambiados en buena parte de la literatura.

Además, existen también dos tipos de enfoques metodológicos, dependiendo de si la calidad se mide de forma desagregada (es decir, los atributos del servicio se analizan individualmente) o de forma agregada (se utiliza un análisis agregado para obtener un índice de calidad o de satisfacción global). En un análisis agregado, para construir un índice de calidad, es esencial conocer la importancia (peso) de cada atributo respecto a la calidad global.

En algunos casos ambos enfoques son utilizados de forma conjunta para beneficiarse de las ventajas de ambos. Los modelos desagregados ayudan a establecer prioridades para realizar mejoras en el servicio y permiten a los gestores elegir entre una larga lista de atributos acerca de dónde invertir de forma óptima la atención y los recursos de su organización. Los modelos que proporcionan un indicador de calidad global permiten analizar el servicio en el tiempo y comparar diferentes tipos de servicios (p.e., diferente alcance territorial, proveedores, etc.).



### 6.1.2. Soluciones tecnológicas

En esta solución se pretende capturar y procesar en tiempo real la información procedente de las encuestas de satisfacción realizadas a los usuarios de un sistema de transporte público. Estas encuestas se realizarán mediante los propios smartphones de los usuarios o mediante equipos a bordo de los autobuses o vagones (y por extensión en las estaciones).

El objetivo es tener una percepción rápida y desagregada de lo bien o mal que funciona el servicio según los propios usuarios, por lo que la información disponible mientras el viaje mientras se realiza el viaje o, a lo sumo, acaba de finalizarlo.

En concreto se lanzan encuestas on-line a los usuarios que estén realizando un viaje en el modo de transporte público. Es importante saber en qué línea  $i$  se realiza la encuesta, pero también en qué momento para crear indicadores de calidad en diferentes momentos, ya que la oferta de transporte no es constante a lo largo del día, sino variable, algo que obviamente afecta a la calidad percibida y a la satisfacción del usuario. También interesa saber qué usuario está realizando la encuesta mediante un código de identificación para saber cómo evoluciona su percepción de la calidad en diferentes momentos (diferentes horas del día condicionadas por la oferta variable de servicios de transporte) y cómo cambia a medio plazo (en días, semanas, meses, años). El objetivo final es obtener un índice de calidad percibida  $Q_{i,tk,u}$ , para cada línea  $i$ , hora  $t$  y usuario  $u$ .

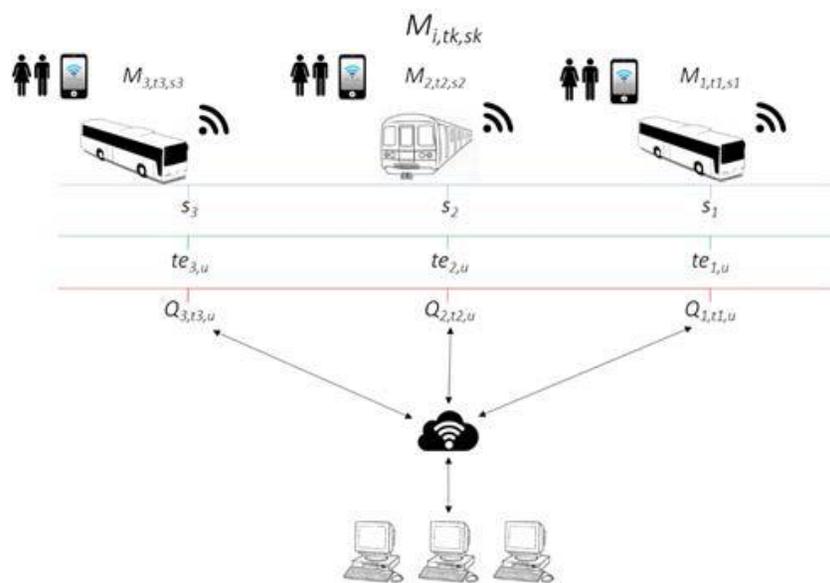


Figura 34. Recogida información usuarios

La forma más adecuada de llegar al usuario es darle la posibilidad de conectarse gratuitamente a la red Wi-Fi del autobús a cambio de realizar una encuesta de calidad e incluso dar incentivos como una reducción en el precio del billete o viajes gratuitos.

Pero también existe la posibilidad que el usuario tenga instalada una app de movilidad integral de la ciudad, que además de, dar información precisa del sistema de transporte público o incluir un planificador de viajes, tenga la capacidad de lanzar automáticamente encuestas en relación al viaje que está realizando el usuario en ese momento, a través de balizas bluetooth. Obviamente no se trata de lanzar encuestas a todos los usuarios, pero si tratar de tener muestras lo menos sesgadas posibles.

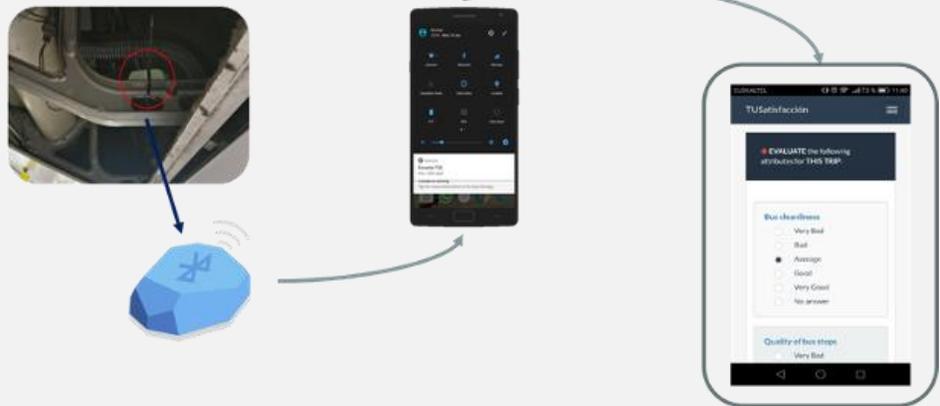
En las siguientes imágenes se esquematiza la idea desarrollada en la ciudad de Santander a través del proyecto SETA - An open, sustainable, ubiquitous data and service ecosystem for efficient, effective, safe, resilient mobility in metropolitan areas.



La infraestructura tecnológica a instalar se fundamenta en equipar los autobuses con una baliza bluetooth, de tal forma que el servicio móvil (app del usuario) detecta y responde a la presencia de la señal bluetooth, lanzando una encuesta de calidad de servicio personalizada (dado que en todo momento se tiene controlado en que línea y punto del recorrido está el bus con la citada baliza).



Adicionalmente el sistema se nutre con información sobre la ocupación de los vehículos a través de dispositivos de detección bluetooth/wifi que complementa otro tipo de fuentes como las cámaras instaladas en los propios vehículos.





### 6.1.3. Casos de uso

#### Proyecto SETA del Santander

An open, sustainable, ubiquitous data and service ecosystem for efficient, effective, safe, resilient mobility in metropolitan areas.

Se instalaron balizas Bluetooth en el 100% de la flota y se realizaron y analizaron un total de 808 encuestas que proporcionaron los siguientes resultados:

- El rendimiento global del servicio, así como cada uno de los atributos definidos.
- Utilizando los modelos probit ordenados se obtuvo la importancia que tiene cada atributo a la hora de definir la calidad global. Este resultado es utilizado para establecer políticas de marketing enfocadas a maximizar el número de usuarios.
- Mediante el uso del escalamiento Best-Worst se consigue un ranking de la importancia de las variables. Esta información ayuda a comprender mejor la visión del usuario en relación con la calidad del servicio.
- La realización de encuestas en diferentes momentos del día permite definir la calidad percibida del servicio en tiempo real. También se puede establecer la variación de la calidad durante el día

En definitiva, es un caso de éxito y fácilmente extensible su aplicación al caso de áreas de intercambio modal como son las Estaciones del Futuro.

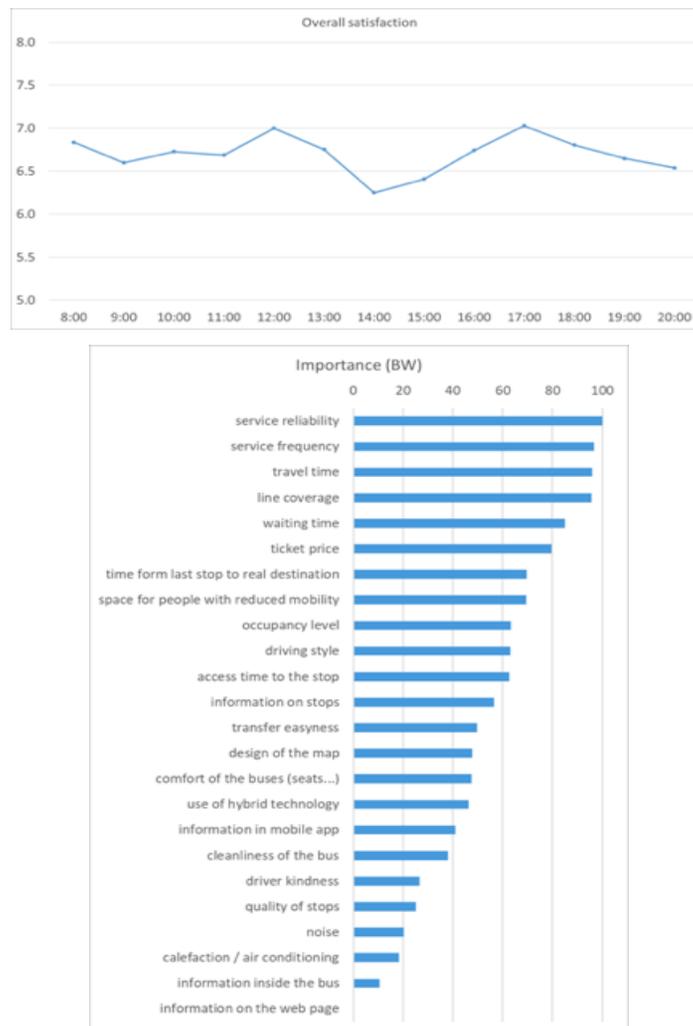


Figura 35. Satisfacción general reportada

El documento  
ha sido editado  
e impreso con  
el patrocinio  
de:





# ACCESIBILIDAD

1. Introducción y objetivos.....	64
2. Estado del arte y retos .....	65
3. Soluciones tecnológicas .....	69
4. Mapa de tecnologías .....	79
5. Casos de uso .....	80

## COORDINADORES



## OTRAS ENTIDADES PARTICIPANTES



En colaboración con:





## 1. Introducción y objetivos

Los desplazamientos en el transporte resultan esenciales para el desarrollo de todas las personas. Son una parte primordial en el desempeño de actividades cotidianas como estudiar, trabajar o disfrutar del ocio.

Para que el transporte no genere exclusión social, resulta esencial contemplar en su diseño y gestión las necesidades de colectivos vulnerables, como es el de las personas con discapacidad y los mayores.

Para garantizar que todas las personas puedan realizar desplazamientos en transporte público, es imprescindible contemplar la accesibilidad en los vehículos, pero también en las infraestructuras orientadas a su uso, como es el caso de las estaciones.

Esta propuesta se orienta a aportar soluciones tecnológicas e innovadoras de accesibilidad para el diseño de estaciones de tren accesibles e inclusivas, reduciendo o eliminando por completo las carencias o discontinuidades de la Cadena de accesibilidad.

Por ejemplo, en el entorno de las estaciones, los viajeros reciben este tipo de mensajes: *“Por un accidente en la vía, el tren estará parado unos instantes, gracias por su comprensión”, “La línea 21 está desviada por obras en la vía, excepcionalmente el tren no parará en las siguientes tres estaciones”, “el uso de mascarillas continúa siendo obligatorio en el interior del tren”*.

Todos estos mensajes, familiares para cualquier viajero, que se transmiten en las estaciones y en los transportes públicos son esenciales para garantizar la comodidad y seguridad de los viajeros, especialmente en caso de emergencia o alteración del servicio. Por lo tanto, la información del transporte público debe ser accesible a todo tipo de público al que se dirige.

La accesibilidad se ha convertido en un requisito básico para medir la calidad de los servicios en el transporte y tiene un gran potencial económico, como generador de empleo inclusivo y de rentabilidad para las empresas del sector.

Las personas con discapacidad, como cualquier otro viajero, deberían poder disfrutar de las mismas experiencias que el resto y en igualdad de condiciones, sin embargo, a día de hoy, continúan existiendo barreras. Principalmente, debido al gran desconocimiento sobre lo que significa ser una persona con discapacidad, los tipos de discapacidad que existen y las vías de comunicación que requiere cada perfil para recibir estos mensajes.

Por ejemplo, en el caso de personas sordas, en estaciones de tren la atención accesible a este colectivo es muy limitada, e incluso los servicios o soluciones que se ofrecen no son acordes con las necesidades reales. Sus limitaciones a la hora de desenvolverse con fluidez en el entorno tienen que ver principalmente con la comunicación. No hay más que imaginarse toda la información relevante que se emite de forma acústica: retrasos de trenes, cambios de andenes, últimos avisos para coger el tren, información general por megafonía o alarmas de incendios o emergencias.

Para no perderse toda esta información deben hacer un esfuerzo especial, estar continuamente atentos a una pantalla, hacer uso de diferentes apps o intentar entenderse con el personal de la estación, que en muchas ocasiones no reacciona de la forma correcta, porque la situación le resulta incómoda o no se le ha formado adecuadamente. Cabe recalcar que la accesibilidad y la inclusión son derechos contemplados por ley.

En el caso de las personas con discapacidad visual, las barreras de accesibilidad se encuentran principalmente a la hora de orientarse en el entorno de las estaciones, ya que la señalética está impresa para ser percibida mediante la vista. Además, existe mucha información mostrada en pantallas y la tendencia es reducir los mensajes sonoros para disminuir la contaminación acústica. Por tanto, las personas ciegas y con baja visión encuentran dificultades para detectar el área de compra de títulos de transporte, los vehículos a los que deben subir para realizar el viaje, etc.

Las personas con discapacidad física o movilidad reducida encuentran dificultades para subir y bajar de los vehículos, aunque los gestores de las estaciones trabajan en incorporar mejoras de accesibilidad al entorno construido y cuentan con servicios de ayuda para subir y bajar de los trenes, la meta última debería ser, poder garantizar la autonomía total de todas las personas a la hora de viajar en tren.



En el caso de la discapacidad intelectual, se identifican barreras de accesibilidad cognitiva: es decir, la orientación es complicada en los espacios de las estaciones, la señalética no siempre es clara y los mensajes emitidos en pantallas y mediante audio no siempre están formulados para ser fáciles de entender.

Por tanto, todas las medidas de accesibilidad propuestas para el diseño de la estación del futuro se orientan a la consecución de la cadena de viaje accesible e independiente, garantizando, a través del uso de la tecnología y del diseño inclusivo, estaciones no solo accesibles, sino que proporcionen el máximo nivel de autonomía posible a todos los viajeros.

Los objetivos específicos de las propuestas que se plantean son:

- Emplear las tecnologías emergentes para potenciar la accesibilidad (inteligencia artificial, robótica, etc.), evolucionando del prototipado al producto o servicio final, contando en todo momento con la experiencia de usuario.
- Resolver, tanto en el exterior como en el interior de las estaciones, la accesibilidad física de los itinerarios que conectan diferentes entornos relacionados con los viajes. Por ejemplo, proporcionar sistemas accesibles para pasar del andén al tren.
- Potenciar la interoperabilidad de los sistemas de información existentes en el transporte con los dispositivos de los usuarios, con el fin de proporcionar información actualizada en tiempo real sobre los viajes y el entorno, que se adapte a las capacidades de cada persona.
- Implementar medidas destinadas a la mejora de la accesibilidad cognitiva y sensorial.
- Diseñar protocolos y herramientas para la gestión de emergencias en los que no se excluya a colectivos vulnerables ante situaciones de evacuación.
- Sensibilizar y formar al personal vinculado con los viajes en la atención de las necesidades de colectivos vulnerables.

## 2. Estado del arte y retos

La movilidad es un derecho humano fundamental y un parámetro esencial a la hora de valorar cualitativamente el espacio urbano y la calidad de vida de sus ocupantes. La accesibilidad de las infraestructuras al servicio de la movilidad proporcionará la igualdad de oportunidades y la no discriminación de la ciudadanía.

La *Declaración Universal de Derechos Humanos*, en su artículo 13, incluye el derecho a la movilidad, estableciendo que *“toda persona tiene derecho a circular libremente”*. Esta máxima se traduce en el ámbito del transporte en el compromiso de avanzar hacia una movilidad cada vez más eficaz, sostenible e inclusiva. Para lograr situar en el centro a las personas y conseguir la plena inclusión social es necesario comprometerse con las ideas que fomentan y conducen a la igualdad de derechos, interiorizando ideas y conceptos encaminados a conseguir la **Accesibilidad Universal**.

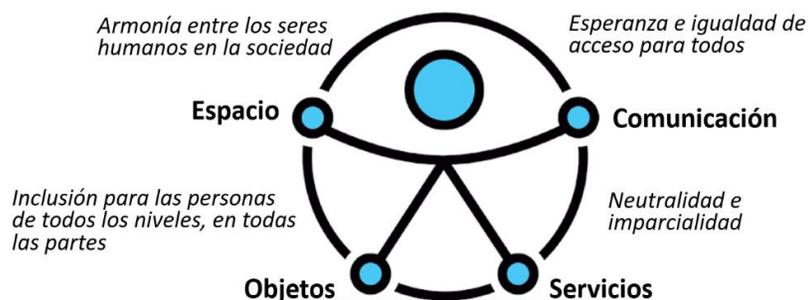


Figura 36. Símbolo de Accesibilidad Universal de la ONU

En el contexto europeo, se comienza a hablar de accesibilidad dentro del marco jurídico en 1950 con el Convenio Europeo para la protección de los Derechos Humanos y las libertades fundamentales. No es hasta diciembre de 2006, en “La Convención de las Naciones Unidas de los Derechos de las Personas



con Discapacidad” cuando se constituye el primer instrumento internacional jurídicamente vinculante, en el que se consagra la accesibilidad como uno de los principios generales.

Este tratado internacional de obligado cumplimiento forma parte del ordenamiento jurídico interno desde 2008. En él se contempla la Accesibilidad Universal como principio general en su artículo 3, como una obligación legal de los Estados en su artículo 4, y como derecho en su artículo 9, e interactuando, además, con cada uno de los derechos reconocidos a lo largo de su articulado.

Así, el citado artículo 9 estipula que, *“a fin de que las personas con discapacidad puedan vivir en forma independiente y participar plenamente en todos los aspectos de la vida, los Estados Partes adoptarán medidas pertinentes para asegurar el acceso de las personas con discapacidad, en igualdad de condiciones con las demás, al entorno físico, el transporte, la información y las comunicaciones, incluidos los sistemas y las tecnologías de la información y las comunicaciones, y a otros servicios e instalaciones abiertos al público o de uso público, tanto en zonas urbanas como rurales”*.

Como consecuencia, el marco jurídico desarrolla diferentes normativas legales, tanto a nivel nacional como europeo, en el ámbito de las infraestructuras ferroviarias y del material rodante, cuyo objetivo es dotar de accesibilidad al sistema ferroviario de la Unión para las personas con discapacidad y las personas de movilidad reducida.

El Reglamento (CE) Nº 1371/2007, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, determina los derechos y las obligaciones de los viajeros de ferrocarril en el ámbito de la Unión Europea. En él se recoge que las empresas ferroviarias y los administradores deben garantizar que sus instalaciones sean accesibles para las personas con discapacidad. El Reglamento (UE) No 1300/2014 de la Comisión de 18 de noviembre de 2014, establece la especificación técnica de interoperabilidad (ETI) relativa a la accesibilidad del sistema ferroviario de la Unión Europea para las personas con discapacidad y las personas con movilidad reducida.

En el ámbito nacional, y en línea con lo anterior, la Convención sirvió como referente principal en las labores que culminaron con la aprobación, por medio del Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, del Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad, en cuyo artículo 2 k) se define la accesibilidad universal como *“la condición que deben cumplir los entornos, procesos, bienes, productos y servicios, así como los objetos, instrumentos, herramientas y dispositivos, para ser comprensibles, utilizables y practicables por todas las personas en condiciones de seguridad y comodidad, todo ello de la forma más autónoma y natural posible. Presupone la estrategia de «diseño universal o diseño para todas las personas», y se entiende sin perjuicio de los ajustes razonables que deban adoptarse”*.

En concreto, en España, la accesibilidad en los medios de transporte viene regulado por el Real Decreto 1544/2007, de 23 de noviembre, por el que se regulan las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los modos de transporte para personas con discapacidad, estableciendo criterios y prioridades para la definición de condiciones de accesibilidad en los medios de transporte público.

Por último, la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible reclama, especialmente en el Objetivo nº 10: Reducción de la Desigualdad, a los países la movilización de esfuerzos para poner fin a todas las formas de pobreza, luchar contra las desigualdades y abordar el cambio climático, al tiempo de asegurar que nadie se quede atrás.

En el ámbito de la movilidad y el transporte, se encuentra el Objetivo 11 “Ciudades y comunidades sostenibles” que analiza y establece que *“En 2015, cerca de 4000 millones de personas vivía en ciudades y se prevé que ese número aumente hasta unos 5000 millones para 2030. Se necesita mejorar, por tanto, la planificación y la gestión urbana para que los espacios sean más inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.”* Dentro de este objetivo se plantea la meta 11.2 *“De aquí a 2030, proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad”*.



### 2.1. La cadena de viaje independiente

El uso del transporte público implica la concatenación de diferentes eventos en los que cada uno de ellos representa un eslabón de dicha cadena. Cada evento ha de ser accesible en sí mismo y también respecto al resto, para evitar que esta se rompa. El análisis de todos los factores que influyen en la movilidad urbana ha de realizarse teniendo en consideración toda la secuencia de acciones y verificar que cada parte de la cadena de viaje es accesible [25].

Se trata de considerar el proceso de viaje en su conjunto, es decir, desde un planteamiento global (todo el ciclo del viaje) e integrado (infraestructura-vehículos), con la finalidad última de garantizar un transporte basado en criterios de igualdad, dignidad, independencia, comodidad y seguridad. Además de satisfacer los requisitos mínimos recogidos por la normativa de aplicación vigente, los agentes responsables deberían trabajar en la incorporación de elementos novedosos y en dar soluciones técnicas a problemas de accesibilidad aún no resueltos, así como perseguir como fin último la autonomía total e independencia de la cadena de accesibilidad en el transporte.

Si se combinan los conceptos de **Accesibilidad, Independencia y Cadena de viaje**, se obtiene el concepto de La Cadena de Viaje Independiente, es decir, la posibilidad de viajar de una forma totalmente autónoma y auto determinativa.

La cadena de viaje independiente se concibe como el proceso o conjunto de etapas que un viajero puede realizar de manera totalmente autónoma, con independencia a sus capacidades funcionales, a la hora de viajar desde su lugar de origen hasta el punto de destino. En esta cadena de viaje se exige por lo tanto que la accesibilidad de cada uno de los pasos del proceso de viaje esté garantizada directamente por el diseño y la configuración de los propios elementos que usa el pasajero, infraestructura, vehículo e información, sin que esta se vea condicionada por la prestación de una asistencia complementaria.



Figura 37. Diagrama de la cadena de accesibilidad en el viaje en tren (fuente: Ineco)

La evolución lógica de la cadena de accesibilidad en el transporte debe por lo tanto avanzar hacia la concepción y adaptación de un servicio en el que, como en el resto de los ámbitos de la vida, el viajero pueda decidir y elegir un proceso de viaje independiente.

En la actualidad, la cadena de viaje en ferrocarril ofrece al viajero un nivel de autonomía medio en el caso de trayectos en Cercanías y bajo en el caso de viajes en AVE. Esto se debe principalmente a la falta de accesibilidad plena en el vínculo entre infraestructura y material rodante en el segundo caso, que debe ser contrarrestada con un servicio de asistencia previa solicitud.

En el siguiente diagrama se muestra a modo de “mapa de autonomía”, el nivel de independencia que experimenta el viajero en función del tipo de discapacidad analizado (física, sensorial o intelectual). Para ello se fijan tres niveles de accesibilidad a lo largo del proceso del viaje:



- Inaccesible: el proceso no es accesible o no reúne unas condiciones de dignidad, así como de comodidad y seguridad razonables
- Accesible: el proceso es accesible, pero es necesario prestar asistencia
- Independiente: el proceso es accesible y goza del mayor grado de autonomía, el pasajero puede realizarlo sin asistencia



Figura 38. Diagrama de Autonomía en la Cadena de Viaje en tren en España (fuente: Ineco)

Entrando en detalle, los puntos de la cadena de viaje independiente que quedan por resolver son:

Vínculo entre el andén y el tren en casos específicos de incompatibilidad de alturas, generando un hueco excesivo e inaccesible

Debido principalmente a la simultaneidad de servicios prestados en un mismo andén se da con frecuencia la parada de trenes no compatibles con la altura del andén en los que hacen parada. Siguiendo la recomendación del RD 1544/2007 que aboga por la especialización de andenes, la diferencia de altura desde el andén al peldaño de embarque del tren sería prácticamente mínima, al poder asignar un tipo específico de tren a la altura de andén correspondiente (68 o 76 cm en función de si es Cercanías, MD / LD o Alta velocidad).

Sin embargo, en la actualidad existen desfases entre el peldaño del tren y el borde del andén de hasta 60 cm en vertical y 18 cm en horizontal. Esta situación se ve claramente empeorada cuando se comparten distintos servicios en un mismo andén ya que las alturas de andenes y trenes son incompatibles entre sí.

Esta circunstancia por si sola determina la diferencia en términos de autonomía de los procesos de viaje dependiendo de si el trayecto es Cercanías (accesible, autónomo e independiente) u otro servicio (generalmente asistido).

Aunque esta discontinuidad repercute principalmente en los usuarios con algún tipo de discapacidad física y movilidad reducida, la existencia de un hueco excesivo entre el tren y el andén, el cual no queda convenientemente señalizado, afecta igualmente a personas con discapacidad sensorial y cognitiva.



Figura 39. Dispositivos y asistencia para el embarque al tren



Falta generalizada de medidas relacionadas con la accesibilidad sensorial y cognitiva que reduce la autonomía de los viajeros

El principal objetivo es conseguir la concepción y organización de las estaciones (accesos, áreas de circulación, cambios de nivel, organización espacial, etc.) de la manera más sencilla y lógica posible para que cualquier persona pueda comprenderlas, orientarse y, por lo tanto, utilizarlas, realizando los distintos recorridos con continuidad, efectividad y comodidad.

Para ello es necesario potenciar los siguientes aspectos:

- Provisión de información clara y precisa en un formato universal y adaptable en tiempo real a las posibles circunstancias de la estación o tren.
- Lectura clara de los espacios mediante estrategias de wayfinding inclusivo que faciliten la orientación y circulación por los espacios de la estación.
- Posición y señalización de los núcleos de comunicación vertical (ascensores y escaleras) que permitan salvar los desniveles físicos de la infraestructura.
- Empleo de señalética y pictogramas de significado claro e inequívoco que favorezcan la comprensión del proceso de viaje por parte de todas las personas, tanto en condiciones normales de funcionamiento de la estación como en escenarios de contingencia (modificaciones del servicio, obras de remodelación, emergencias, etc.).
- Reconocimiento de sonidos para mejorar la seguridad, usabilidad y accesibilidad en espacios de las áreas ferroviarias, no sólo en la atención al viajero.
- Sistemas que garanticen la información general y la comunicación con el personal de la estación a todos los usuarios a través de bucles magnéticos, lengua de signos y reconocimiento de voz.

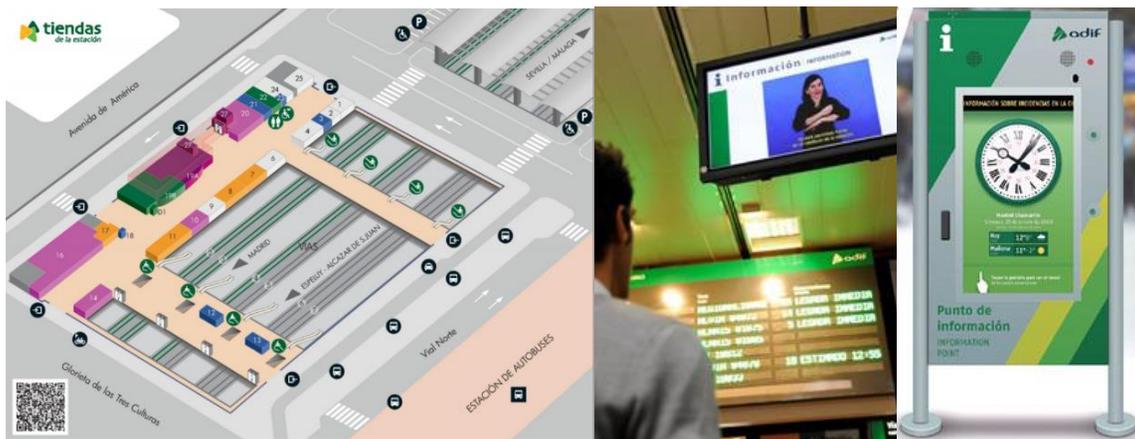


Figura 40. Provisión de información en las estaciones (fuente: Adif)

### 3. Soluciones tecnológicas

A continuación se proponen distintas soluciones innovadoras dirigidas a abordar las carencias detectadas en materia de accesibilidad para cada tipo de discapacidad.



### Visualfy Places

El reconocimiento de sonidos, que por su complejidad sigue siendo un reto abierto a nivel científico, abre la puerta a muchas más posibilidades. En concreto, en este campo se prevé alcanzar un crecimiento de más del 75% entre 2019 y 2025. El uso del reconocimiento de sonidos para mejorar la seguridad, usabilidad y accesibilidad en espacios públicos y privados como oficinas, hospitales y el sector turístico, entre otros, es una de las principales aplicaciones que está impulsando el mercado y para la que ya hay soluciones satisfactorias a día de hoy como el piloto instalado en RENFE y testado por usuarios con pérdida auditiva. Sin embargo, es necesario seguir investigando para alcanzar una solución que permita trabajar en entornos más abiertos y con alta contaminación acústica, así como poder ofrecer más valor en otras áreas ferroviarias, no sólo en la atención al viajero.

Se trata de un sistema de reconocimiento de sonidos, que recoge la información auditiva del entorno y la traduce en alertas luminosas en el espacio a través de luminaria inteligente, señalética de emergencia situada en rutas de evacuación y/o lugares estratégicos del espacio y directamente en cualquier dispositivo personal del usuario como el smartphone, la *smartband*, el *smartwatch*, etc.

Contribuyen a garantizar el cumplimiento de la legislación vigente en materia de igualdad de oportunidades y acceso a servicios y productos, y permite a las personas sordas o con pérdida auditiva, igualdad real de oportunidades.



Figura 41. Tecnologías para el reconocimiento de sonidos (fuente Visualfy)

Para garantizar una accesibilidad global, a las soluciones tecnológicas se le suman también soluciones de comunicación. Mediante bucles magnéticos se mejora la comunicación con personas usuarias de audífonos e implantes cocleares, y a través de *Visualfy Connect*, una nueva funcionalidad de reconocimiento de voz disponible en múltiples idiomas, se eliminan las nuevas barreras de comunicación creadas por la obligatoriedad del uso de mascarillas que imposibilitan la lectura labial.

Cabe recalcar que el reconocimiento de voz no sustituya a los bucles magnéticos o los servicios de interpretación de Lengua de Signos, sino que es una ayuda más pensada para situaciones puntuales en las que no se dispone de otras ayudas técnicas.

En el siguiente gráfico se puede observar el diagrama técnico de funcionamiento de la solución.

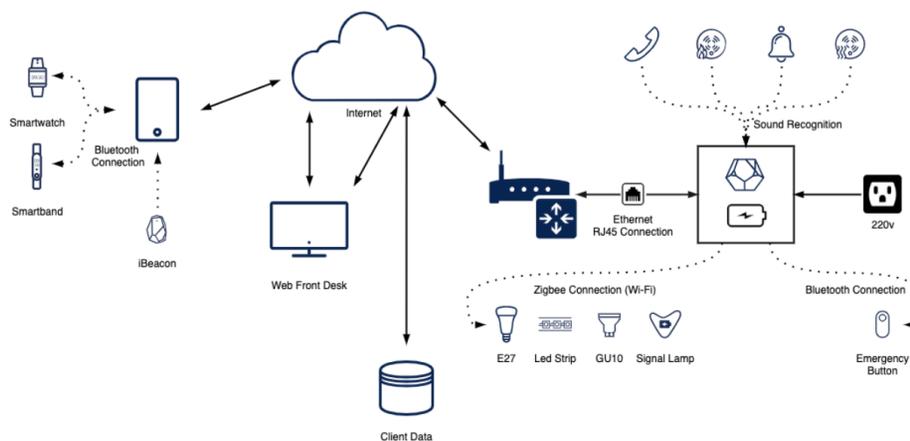


Figura 42. Solución Visualfy Connect (fuente Visualfy)

Por otro lado, es importante destacar que todos los datos se procesan en local para garantizar el cumplimiento de la LOPD, de este modo se asegura que el audio jamás pueda salir del edificio.



## Bucles magnéticos

Un bucle magnético o de inducción es un sistema de sonido que transforma la señal de audio que todos pueden oír, en un campo magnético captado por los audífonos dotados de posición "T". Estos audífonos tienen una bobina que transforma ese campo magnético nuevamente en sonido dentro de la oreja del usuario, aislado de reverberaciones y ruido ambiente. El resultado es que el usuario recibe un sonido limpio, nítido, perfectamente inteligible y con un volumen adecuado.

### Ventajas

Las personas sordas, incluso si usan audífono, no oyen correctamente. El portador de audífono con posición "T" puede escuchar gracias al bucle magnético, la megafonía de una estación de tren o una sala de espera; a la persona que le atiende tras el mostrador o al hacer una gestión en una de las máquinas expendedoras de billetes; mantener una conversación a través de un intercomunicador. En general cualquier situación donde sea necesario recibir mensajes sonoros.

El sonido se induce directamente en su audífono eliminando totalmente el ruido ambiente, reverberaciones, conversaciones cercanas por lo que no se necesita ningún receptor o sistema adicional.

### Normativa

Existe un estándar internacional IEC 60118-4 que regula y establece las especificaciones técnicas que debe cumplir un sistema de inducción magnética en cuanto a intensidad de campo, respuesta de frecuencia, etc.

Todos los lugares adaptados con esta tecnología deben estar señalizados con la imagen de la oreja y la letra "T" para que el usuario sepa de su existencia y proceda a elegir la posición "T" de su audífono y comenzar a recibir la señal auditiva a través del bucle.

### Tipos

- Perimetral: Es la instalación más sencilla, consiste en instalar el cable por el perímetro de la sala que se quiera adaptar. Se utiliza en zonas no muy amplias, en salas ya construidas en las que es complicado otro tipo de instalación, en salas en las que no hay problema de confidencialidad o en instalaciones en las que no hay otras salas cercanas que dispongan de bucle de inducción.
- Baja dispersión anti-desbordamiento, low spill, anti overspill son diferentes nombres para un tipo de bucle que en realidad consta de dos bucles superpuestos y que se alimentan con una misma señal desfasada. Las ventajas de este tipo de instalación son que la inducción se puede contener en el área a cubrir sin que se salga en exceso a zonas adyacentes, la cobertura de la zona es mucho más homogénea, y la corrección de frecuencias es más efectiva. Debido al diseño del bucle es muy recomendable proyectarlo antes de hacer el suelo de la sala para poder empotrarlo.
- Bucle Magnético Mostrador Portátil: El bucle portátil es una solución versátil que proporciona una asistencia móvil para sus clientes donde no puede haber un bucle fijo integrado. Se puede mover entre ubicaciones según sea necesario y se usa para conversaciones entre dos personas.
- Bucle Magnético Mostrador Fijo: El amplificador de bucle compacto está diseñado para sistemas de mostrador y pequeñas superficies de circuito perimetral. Mide solo 128 x 74 x 35 mm y con una corriente de salida de 2.4Arms, es el amplificador más pequeño y con el rendimiento más alto de los amplificadores de su clase. La calidad de audio está garantizada con la corrección de pérdida de metal (MLC) combinada con los altos estándares de diseño. Está diseñado para flexibilidad y conveniencia, con 2 entradas de micrófono separadas con controles de nivel independientes, uno de los cuales se puede configurar como entrada de línea.

### Certificación

Debe ser certificado después de la instalación. Para ello debe medirse la respuesta del sistema y comprobar que cumple las especificaciones de la norma internacional IEC 60118-4.

### Audición

Es recomendable que una vez terminada la instalación se requiera la presencia de varias personas portadoras de audífono con diferentes grados de hipoacusia de forma que puedan dar su opinión y se pueda retocar los ajustes del sistema para la máxima satisfacción de los usuarios.



### Video-Interpretación en Lengua de Signos

Permite la conexión de audio y video en tiempo real, a través de un video-intérprete que realiza las labores de interpretación solicitada por cada usuario con el fin de establecer una comunicación fluida con su interlocutor, ya se trate de personas sordas o con discapacidad auditiva o personas oyentes.



### Video-adaptaciones en Lengua de Signos

Permite a través de un código QR visualizar adaptaciones en Lengua de Signos para información estática como puede ser el uso de la máquina expendedora de billetes, o cualquier otra información que no suela cambiar de forma continuada.

### Guiado inteligente mediante señalética digital

La Implantación de códigos por medio de señalética digital leída con la cámara de los dispositivos móviles permite ofrecer información en realidad aumentada contextualizada de las estaciones. Asimismo, permite también orientar y guiar a los usuarios mediante sistema de flechas sobreimpresas digitalmente en los códigos para cualquier destino que se haya cargado en las mismas.

Adicionalmente estos códigos pueden ser leídos por personas con discapacidad visual a través de la correspondiente aplicación móvil, lo que les permite orientarse de forma autónoma.



Figura 43. Sistema de guiado Navilens Go (fuente Navilens)

### HaptiRead “Ultraleap”

Es un dispositivo con el que se puede leer Braille sin contacto. Esta tecnología, que emplea ondas ultrasónicas, permite a las personas con discapacidad visual interactuar con mayor privacidad, en dispositivos como, por ejemplo, un cajero automático.

Tiene la ventaja de que la información se proporciona directamente al usuario.

*El ultrasonido es cualquier sonido guardado con una frecuencia demasiado alta para que los humanos la escuchen, más de 20 kHz para la mayoría de las personas. Las ondas de ultrasonido se comportan como cualquier otra onda de sonido. Eso significa que las ondas de ultrasonido se pueden sentir a medida que mueven el aire, pero no se escuchan. Si coloca el dedo cerca de un transductor de ultrasonido activo, debería poder sentir un toque ligero similar a una brisa suave. Eso solo se puede sentir en la dirección a la que apunta el transductor, lo que significa que se puede enfocar.*



El dispositivo HaptiRead contiene un total de 256 transductores de ultrasonido dispuestos en una cuadrícula de 16 x 16 en su cara frontal. Se utiliza un sensor de gestos *Leap Motion Controller* para detectar cuando un usuario mueve la mano frente al dispositivo. Luego, los transductores de ultrasonido se activan en los patrones y secuencias correctos para producir la escritura.

### Platform Gap Filler

Se trata de plataformas metálicas extensibles instaladas en el borde de andén, las cuales se activan antes de la llegada del tren y así, poder salvar el hueco horizontal provocado en la interfaz entre el andén y el tren, especialmente en estaciones cuya configuración de andenes se produce en curva.

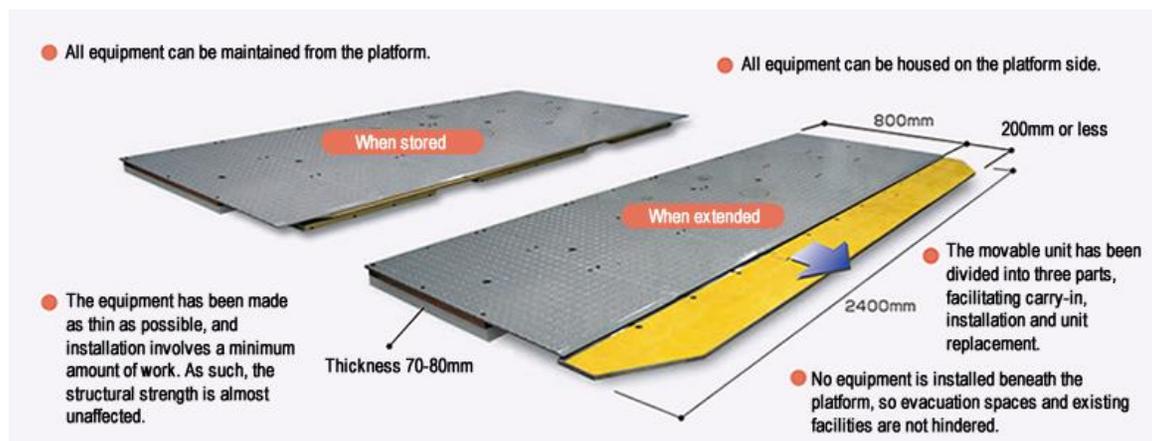
El funcionamiento de estos dispositivos se basa en el accionamiento eléctrico de la plataforma, la cual se extiende en el momento en el que el tren está estacionado en el andén reduciendo o eliminando el hueco entre el andén y el tren.



#### Características:

- Su instalación y mantenimiento se realiza íntegramente desde el andén y con la mínima mano de obra necesaria.
- Espesor reducido que no interfiere ni afecta a la seguridad estructural del andén.

- Dispositivo móvil dividido en tres secciones facilitando su transporte, instalación y reemplazo.
- No interfiere ni obstaculiza los espacios de evacuación e instalaciones existentes
- Ningún elemento se instala debajo del andén.
- Datos técnicos:
  - Longitud: 2400 mm
  - Ancho: 800 mm
  - Espesor: 70-80 mm
  - Distancia extensible: 200 mm





### Rubber GAP FILLER

Se trata de un perfil de caucho resistente instalado estratégicamente a lo largo del borde del andén o en el propio material rodante, que reduce el espacio resultante entre el tren y el andén, sin dañar el material rodante cuando estos contactan. La disposición de los peines se moverá a medida que el material rodante roce contra el dispositivo, siendo necesario dejar un espacio de margen de 10-20 mm.

El dispositivo es una pieza única formada por peines de caucho unidos a una estructura metálica mediante vulcanizado. El material de caucho empleado es natural de primera calidad resistente a UV, pudiéndose emplear tanto en exteriores como interiores. La disposición de los peines se moverá a medida que el material rodante roce contra el dispositivo, siendo necesario dejar un espacio de margen de 10-20 mm.

#### Características:

- Diversas soluciones disponibles en diferentes tamaños y configuraciones.
- Vida útil de 20 años
- Capaz de soportar hasta 300 kg.
- No tóxico, resistente al fuego y estabilizado a los rayos UV.
- Datos técnicos:
  - Longitud: 500-750 mm
  - Ancho: según diseño
  - Espesor: según diseño
  - Distancia extensible: 150 mm (máx.)



Figura 44. Rubber Gap Filler (fuente Acosta Ingenieros)

### Accessrobots

Se trata de un robot asistencial que está desarrollando Inserta Innovación (Fundación ONCE) que ayuda a personas con discapacidad y mayores a desenvolverse en entornos complejos, como es el caso de las estaciones.

El usuario, previo a su llegada a la estación, puede solicitar el acompañamiento de un robot mediante su dispositivo móvil y este le estará esperando. Para ello se ha desarrollado una aplicación móvil para los sistemas operativos iOS y Android. El robot puede guiarle al destino final, como sería el andén de salida de un tren, y realizar paradas intermedias, como sería ir al aseo.

El usuario puede decidir la velocidad del robot, así como dónde quiere ubicarse con respecto a este: izquierda o derecha. El robot guiará al usuario contemplando el tamaño de la persona y de sus productos de apoyo: por ejemplo, si la persona va acompañada de un perro de asistencia, contemplará su espacio para el guiado. El robot, además, dispone de una zona para trasladar el equipaje del usuario.

El robot tiene la capacidad de conectar con la plataforma de estación inteligente (tal y como se ha hecho en modo piloto en la estación Málaga María Zambrano) pudiendo interconectarse con el resto de las tecnologías que se desplieguen: balizamiento como Navilens, botoneras inteligentes, señalética inteligente y dinámica, etc.

Esta tecnología se encuentra en estado de prototipo y ha sido probada en las estaciones de Chamartín (Madrid) y María Zambrano (Málaga). Las pruebas realizadas con usuarios han resultado muy satisfactorias.



Figura 45. AccessRobots en las estaciones de Madrid Chamartín y Málaga María Zambrano (fuente Inserta Innovación)

### Señalética dinámica proyectada

Con el fin de señalar adecuadamente en los andenes la zona de parada del vagón accesible, se propone la instalación de señalética inteligente dinámica proyectada, capaz de indicar su ubicación exacta a lo largo de toda la longitud del andén.

La solución adoptada se realiza a través de la combinación de focos de luz LED fija multicolor (cubren el color blanco y la paleta RGB saturada) y proyectores gobo LED. Con ello, se proyectaría una luz de color y pictogramas normalizados del símbolo del SIA sobre el andén, para la correcta señalización del vagón accesible. Esta señalización digital mediante proyectores LED permite mejorar el sistema de información estática y dinámica a los viajeros, pudiendo reconfigurarse en tiempo real a las circunstancias particulares de cada momento adaptándose a las distintas composiciones y trenes, resolviendo la coexistencia de distintos servicios en un mismo andén.

A su vez, la señalización proyectada se complementa con tiras de luces LED en altura de techo (en la estructura de la marquesina), que permita ser identificada por los usuarios a mayor distancia. Es una forma de incorporar señalética inteligente que permita una orientación más rápida y sencilla dentro de los andenes.

Se incorpora, a modo de señalización posicional con una serie de luminarias LED lineales RGB (posibilidad de configurar y regular el color en cada una de ellas), para el guiado de los viajeros hasta el vagón exacto.

El conjunto descrito se instala a lo largo de los andenes dividiendo su longitud en distintas zonas de proyección. Se propone una solución de focos LED, gobo LED y luminaria de tira LED anclados sobre la parte inferior de la cubierta de la marquesina, a una altura de 3,5m respecto del suelo de andén.

Se propone la instalación de:

- Focos LED Miro cube™ 4C de ROSCO, con difusor de 60º.
- Proyector LED de gobos Image Spot Mini, de luz fría (3000k) con lente de 25º
- Luminaria de cinta LED RoscoLED Tape VariColor de ROSCO.

Los dispositivos se integran en las paredes de los andenes, en caso de estaciones soterradas, y en báculos o marquesinas en el caso de andenes exteriores. La proyección se realizará en vertical sobre el pavimento del andén, sin invadir la franja de pavimento señalizadora de borde de andén, cubriendo la longitud correspondiente a la dimensión del vagón.



Figura 46. Sistema dinámico de posicionamiento de vagones accesibles en andenes (fuente Ineco)



El funcionamiento de la señalización dinámica se realiza identificando el vagón accesible mediante la activación de proyección cromática en el suelo en un color contrastado e identificable de la zona donde hará parada el próximo vagón adaptado, propiciando al usuario una mayor fácil identificación y posicionamiento en el andén. El color correspondiente se indicará a través de la megafonía de la estación y en el billete, al igual que podrá ir acompañado en la posible aplicación del operador.



Figura 47. Distribución y disposición de dispositivos para señalética dinámica inteligente en Serie 730 (fuente Ineco)

La posibilidad de ir modificando la orientación de los proyectores o la zona iluminada permitirá operar con la flexibilidad necesaria para la coexistencia de distintas operadoras y materiales rodantes, permitiendo su modificación en cuestión de segundos a partir de una configuración programada con anterioridad.

Cuando el andén presenta un único servicio, con misma parada tanto en composición simple o doble, la instalación del conjunto de dispositivos se centra en la dimensión del vagón accesible, según el modelo de material rodante.



Figura 48. Esquema de distribución y disposición de dispositivos para señalética dinámica inteligente en andenes con diferente tipología de material rodante (fuente Ineco)

En el caso que coincidan varios servicios con diferentes modelos de material rodante tanto con distinta o misma parada en un mismo andén, la instalación de los diferentes dispositivos de señalización se realiza de forma que cubra la longitud total de aquellos vagones accesibles coincidentes. Estos dispositivos se instalan a lo largo de toda la longitud distribuidos uniformemente, para que presten servicio y señalicen el vagón determinado que esté estacionado en ese momento en el andén, en función de la tipología y composición de material rodante que corresponda. De esta manera, se configuran dos zonas en las que conviven distintas tipologías de material rodante.

### Tótem de información accesible

Se trata de un dispositivo informativo, señalizador y distribuidor, capaz de contener en un único elemento los dispositivos necesarios para poder suministrar toda la información en tiempo real y de forma accesible, para favorecer la autonomía a personas con alguna discapacidad.



Contribuye a garantizar la provisión de información accesible y actualizada en tiempo real y permite intervenir en el desarrollo habitual de una estación, o utilizarse como medida de resolución de situaciones temporales.

Presenta una forma ergonómica, accesible y visible a distancia. Se muestra como un elemento configurable con una serie de dispositivos integrados que facilitan la información y comunicación accesibles de ámbito físico, visual, auditivo, cognitivo e intelectual.

Cuenta con 4 puestos de interacción simultánea que pueden ser de dos tipos:

- Táctil: Interacción táctil y acústica
- Visual: Interacción visual y acústica, con botones accesibles

Esta configuración puede ser modificada según la necesidad del lugar de intervención, pudiéndose reducir el número de puestos hasta 2, manteniendo al menos un puesto táctil y otro visual. Los dispositivos se instalan en siete anillos funcionales, colocados en vertical según la altura recomendable para su utilización, siguiendo las directrices de las normativas nacionales, autonómicas y municipales existentes analizadas en el punto de Análisis normativo de esta Línea 2.

#### Características:

- Anillo 1:
  - SAI
  - Acceso a recarga y registro
- Anillo 2 (+0,80 m):
  - Señalización fija en Braille indicando la posición del dispositivo Haptiread en el anillo 3
  - Botones accesibles para accionamiento y utilización de la pantalla del anillo 3
- Anillo 3 (+1,00 m)
  - Pantalla flexible, ofrece información básica y personalizada. Puede facilitarse la conexión con un asistente, aportando trato humano a la comunicación. Posibilidad de validadora
  - HaptiRead. Sistema de información táctil sin contacto, mediante ultrasonidos
- Anillo 4 (+1,45 m):
  - Baliza información inteligente Beacon
  - Señal Auditiva
- Anillo 5 (+1,65 m):
  - Señalización dinámica proyectada sobre el Tótem desde el anillo 6
  - Señalización fija digital configurable tipo NaviLens
  - Otra posible señalización fija visual
- Anillo 6 (+2,30 m):
  - Proyector dirigible hacia el suelo o hacia el anillo 5 del Tótem, para indicación del área de interacción, dirección y avisador de contingencias
  - Señalización fija luminosa con nombre identificador del Tótem
- Anillo 7 (+2,70 m):
  - Iluminación para mejor localización e identificación del Tótem



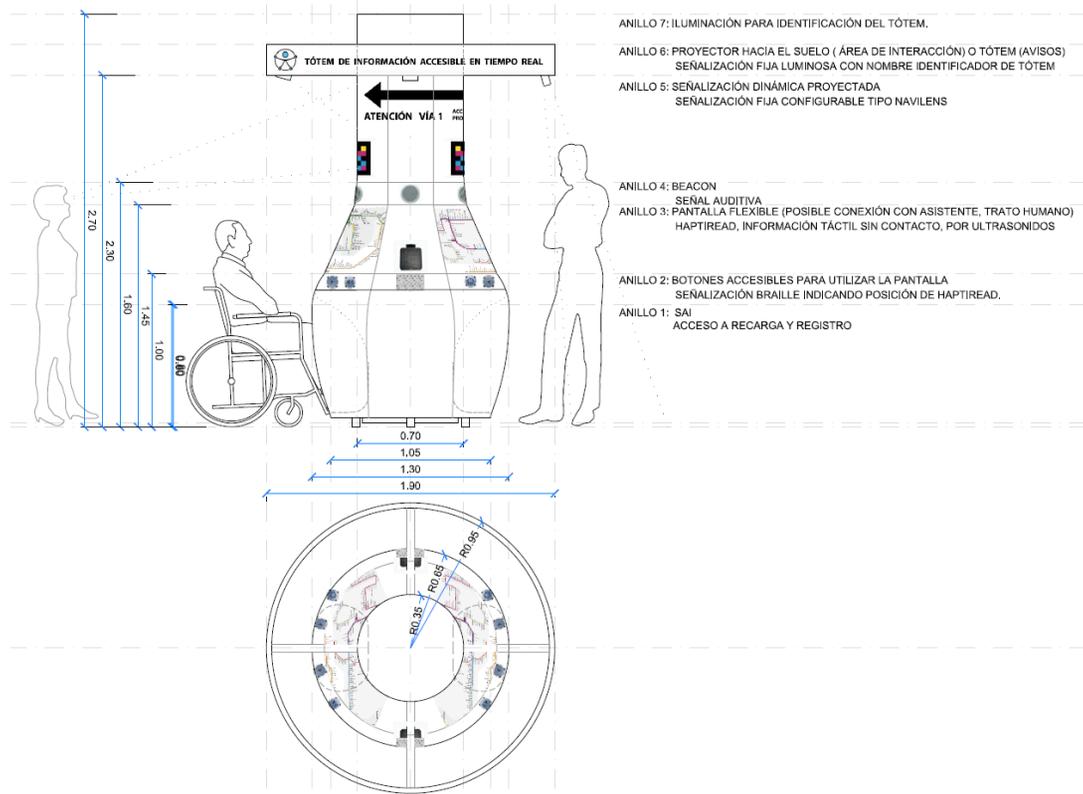


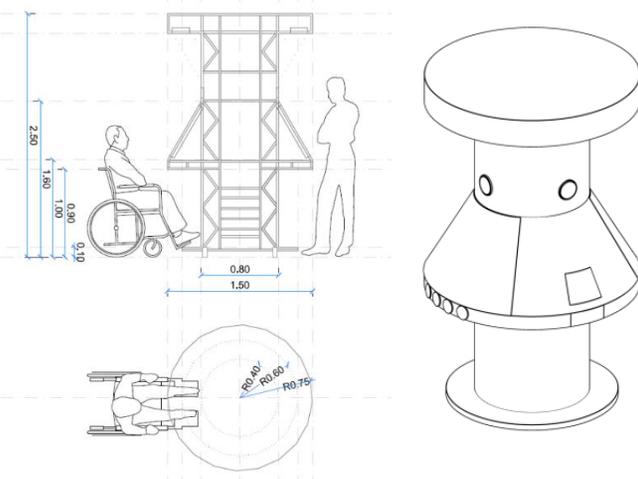
Figura 49. Tótem de información accesible (fuente Ineco)

**Situaciones provisionales**

Dentro de las necesidades de intervención con el Tótem se encuentran las relacionadas con situaciones de emergencia o de carácter eventual. En estos casos la implantación del Tótem tendría carácter de urgencia, por ello se ha estudiado la posibilidad de realizar una versión más sencilla en cuanto a dispositivos y rápida en cuanto a fabricación y montaje.

El material para este modelo es cartón 100% reciclable, incluyendo el armazón interior con acabado laminado mate que permite personalización exterior. La estructura de cartón permite un transporte fácil y ensamblaje sencillo y rápido.

El contenido de este Tótem se reduce a 2 puestos de interacción, donde las funciones pueden configurarse. Los dispositivos se instalan en cinco anillos funcionales, colocados en vertical según la altura recomendable para su utilización.



Ambos dispositivos, diseñados por Ineco, se encuentran registrados en la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM) como Modelo de Utilidad y Diseño Industrial Comunitario.

Actualmente se encuentra en desarrollo al amparo de la nueva iniciativa de innovación ferroviaria, *Europe's Rail Joint Undertaking* (ERJU), programa de investigación e innovación ferroviaria de Europa, en colaboración con Renfe y Adif.

Figura 50. Tótem de información accesible para situaciones provisionales (fuente Ineco)



## 4. Mapa de tecnologías

### Solución Visualfy Places

El sistema reconoce sonidos relevantes del entorno –como una alarma de incendios o el aviso de llegada de un tren a la estación- y los traduce en alertas visuales y sensoriales en cualquier dispositivo conectado, tanto común al espacio -iluminación inteligente que se instala en puntos estratégicos- como personal -móvil, smartwatch o smartband-

Cabe recalcar la importancia de la privacidad en la IA. El sistema trabaja en local, de este modo garantiza al 100% que ningún audio puede salir del edificio, ni ser escuchado por nadie. No se reconocen voces sino sonidos, y es el propio sistema el responsable de una vez ha reconocido el sonido, eliminarlo para que nadie tenga acceso al mismo, habiendo obtenido el visto bueno de la AEGPD y siendo elegido en la Guía de casos de éxito de uso ético de la IA en el sector turismo de la GVA.

La solución se encuentra en un estado de madurez TRL9 sin embargo, aún existe campo de mejora para seguir perfeccionando la tecnología y poder trabajar también en entornos abiertos con alta contaminación acústica, así como reconocer un mayor número de sonidos.

Actualmente no existe un competidor con tecnología de reconocimiento de sonidos operando en el mercado. Además, Visualfy Places es el único que no procesa el sonido en la nube sino en local, lo que permite instalar los dispositivos en cualquier edificio público. Cuando el hardware detecta un sonido, lo analiza y una vez ha sido reconocido, lo elimina para que nadie nunca pueda tener acceso al mismo, este cambio de paradigma hace que entidades bancarias o Administraciones Públicas no se nieguen a tener micrófonos instalados dentro de sus oficinas, ya que es posible demostrar que son completamente seguros y que respetan al 100% las normas de la RGPD.

Por ello no es posible mostrar el cuadrante de Gartner pero si una situación de la competencia a nivel de ayudas técnicas y reconocimiento de sonido.

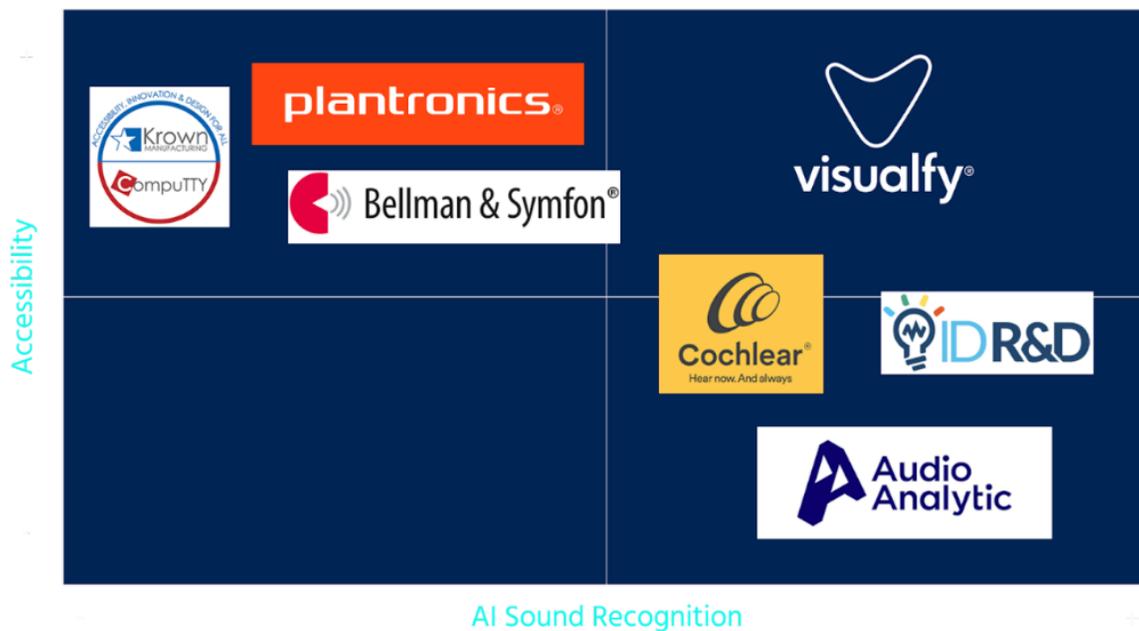


Figura 51. Solución Visualfy Places. Cuadrante de Gartner (fuente Visualfy)



## 5. Casos de uso

### Estación de cercanías Sol (Madrid)

El objetivo de esta instalación era mejorar la seguridad y autonomía personal de personas sordas o con pérdida auditiva dentro de la estación e incluso en el propio tren.

Renfe contó con 323 millones de pasajeros en el 2021. Si se tiene en cuenta que la OMS alerta que 1.500 millones de personas tienen pérdida auditiva, de los cuales, 466 sufren pérdida auditiva discapacitante, se ha estimado que, en el 2021, Renfe tuvo 48 millones de pasajeros con pérdida auditiva, de los cuales 16 millones necesitan rehabilitación.

Además, la mayoría de los usuarios del transporte público utilizan auriculares, van pendientes del smartphone y no atienden a los avisos de megafonía o alertas de emergencia.

A continuación, se detalla la tecnología instalada para cada caso de uso:

- En la entrada de la estación se han colocado unas cartelas informativas para que cualquier persona conozca la accesibilidad de la estación y a través de un código QR añadirse el edificio para recibir las alertas accesibles. Estas cartelas están realizadas también en braille para que, si algún usuario con baja visión accede a la estación, pueda saber que son las luces que parpadean en un momento determinado.



Figura 52. Entrada a la estación (fuente Visualfy)

- Durante todo el recorrido desde el acceso de la calle hasta el andén de cercanías situados 3 niveles más abajo, se han colocado una serie de lámparas de señalética que advierten al usuario de los eventos sonoros que suceden a su alrededor como puede ser la alarma de incendios o las llegadas y salidas de los trenes.

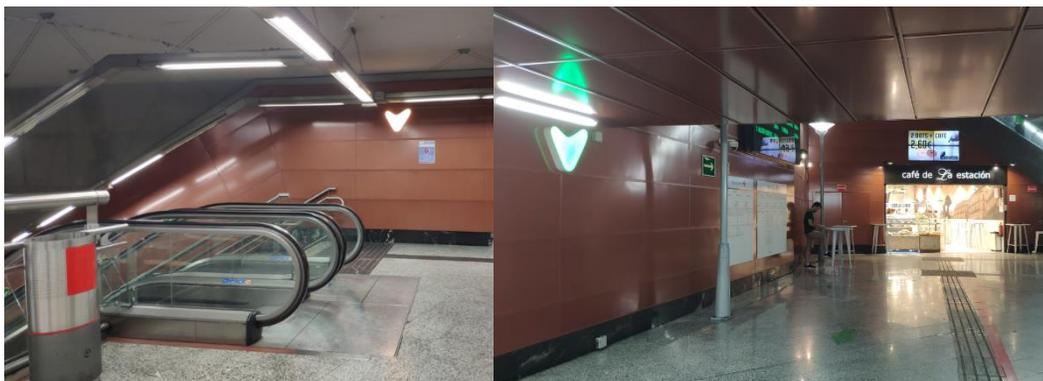


Figura 53. Lámparas instaladas a lo largo del recorrido por la estación (fuente Visualfy)

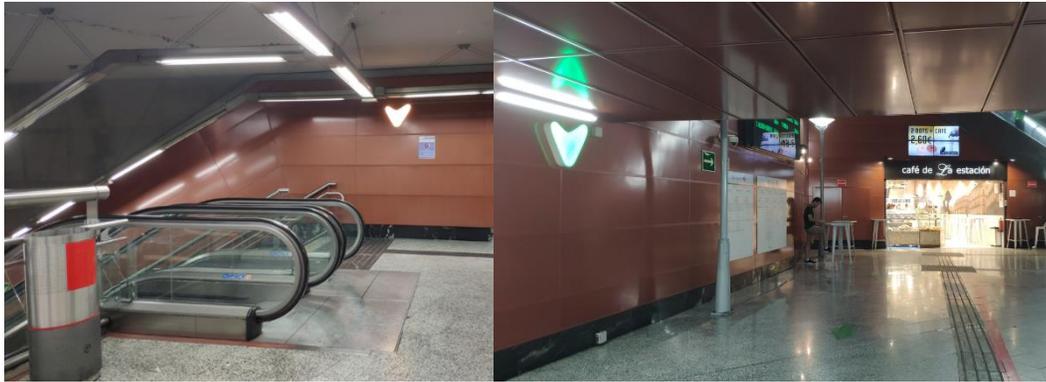


Figura 54. Lámparas instaladas a lo largo del recorrido por la estación (fuente Visualfy)

- En los mostradores de atención al público se han instalado bucles magnéticos para eliminar las barreras de comunicación de usuarios de audífono o implantes cocleares y, además, se refuerza con un sistema de reconocimiento de voz en tiempo real, que permite al usuario poder escribir cualquier consulta en la pantalla de su smartphone y en la misma, se irá transcribiendo en texto la respuesta que le dé el trabajador de la estación en tiempo real.

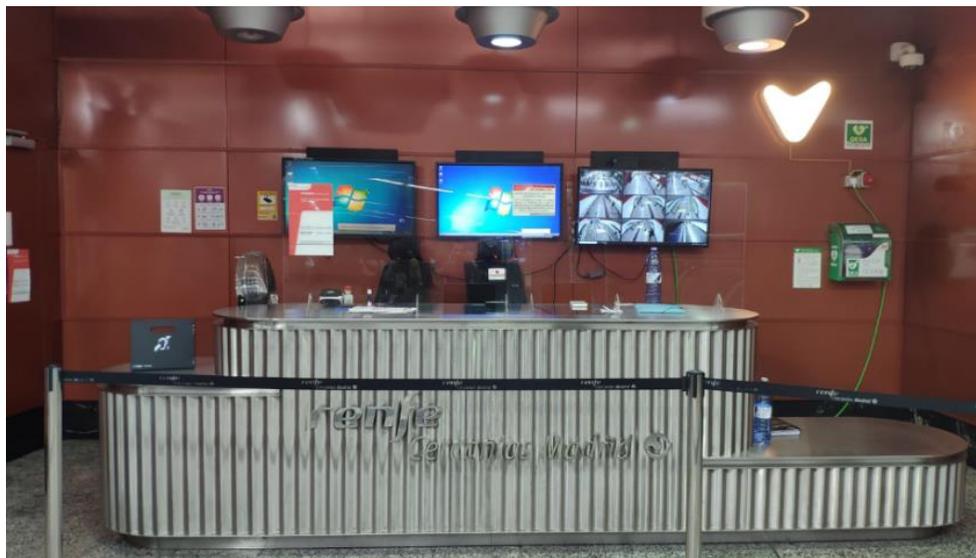


Figura 55. Mostradores de atención al viajero (fuente Visualfy)

Cabe recalcar, que el reconocimiento de voz no sustituye a los bucles magnéticos o intérpretes de Lengua de Signos, sino que es un complemento adicional para una situación puntual en la que no se disponga de bucle o servicio de interpretación, bien sea presencial o a través de videoconferencia.

- Por otro lado, en las máquinas expendedoras de billetes, además de la conexión con el servicio de atención al usuario a través del bucle magnético integrado en la misma, se ha añadido un código QR desde el que se puede acceder a un vídeo en Lengua de Signos, que explica el funcionamiento de la máquina expendedora.



Figura 56. Máquinas de venta automática de billetes (fuente Visualfy)

También se ha instalado en el centro de control un dispositivo de reconocimiento de voz, que permite en tiempo real pasar a texto los mensajes que se producen a través de la megafonía y mandarlo a los smartphones de los usuarios. Como se comenta anteriormente, esto no es solo útil para personas sordas o con pérdida auditiva, sino para la gran mayoría de usuarios que tal y como se puede apreciar en la imagen, llevan los auriculares puestos y no atienden los mensajes de megafonía. Un mensaje directo sobre la pantalla que están visualizando, y las luces parpadeando a su alrededor, les alertarían a tiempo para salir de la zona de peligro.

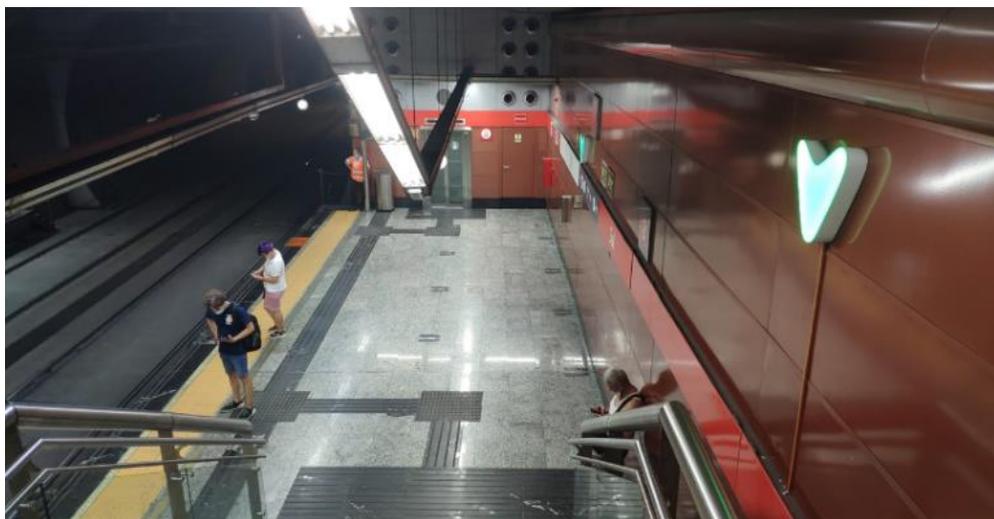


Figura 57. Actuación en los andenes (fuente Visualfy)

- Se han configurado alertas para avisar del cierre de puertas de la estación o de cualquier otro servicio como restauración o atención al usuario. 15 minutos antes del cierre, se lanzan avisos tanto a la luminaria instalada en la estación como a los dispositivos móviles de los usuarios; reloj, pulsera o teléfono inteligente.
- Cabe recalcar la importancia de la accesibilidad acústica en el andén. Que un mensaje se escuche por megafonía y se pueda leer en los paneles informativos, no significa que sea accesible. Si una persona sorda o con pérdida auditiva se encuentra esperando al tren en el andén, es necesario mandar el mensaje directamente al usuario para que sea 100% accesible.
- Por último, en el interior del tren también se debe de garantizar el acceso a la información por lo que los usuarios pueden utilizar el reconocimiento de voz en su smartphone para poder realizar cualquier consulta al personal de a bordo.



### Estación de cercanías Nuevos Ministerios (Madrid)

En la actualidad, el modo de explotación de la red ferroviaria no permite la definición exacta de una zona de andén más o menos fija para la parada de los vagones accesibles, requisito normativo en la Comunidad Autónoma de Madrid, por ejemplo.

Renfe Cercanías Madrid ha puesto en marcha un proyecto piloto en la Estación de Nuevos Ministerios para mejorar la accesibilidad a sus trenes:

- Los andenes se delimitan en diferentes sectores, los cuales se señalizan, de tal manera que sirve para identificar la zona de parada del vagón adaptado con piso bajo.

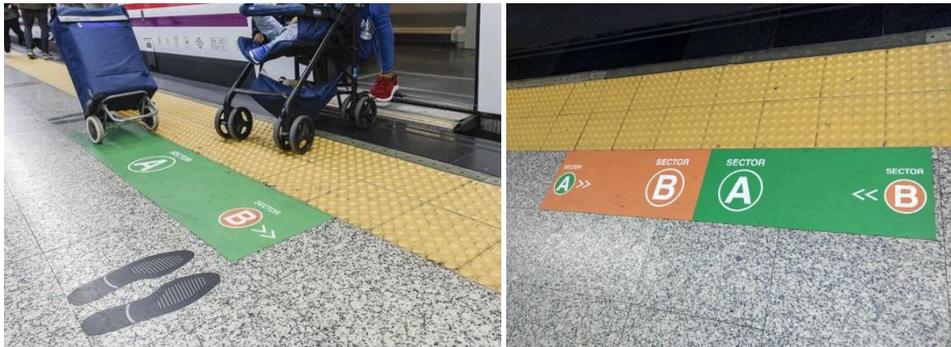


Figura 58. Identificación de los sectores del andén (fuente Ineco)

- Complementariamente a la señalización, se emplea la megafonía y los teleindicadores de la estación para informar de la llegada de aquellos trenes que son accesibles, y se anuncia el sector donde estacionará el vagón accesible.



Figura 59. Esquema con instrucciones de uso en los andenes (fuente Ineco)

La identificación del vagón accesible es una medida que ya se encontraba implantada en redes ferroviarias europeas, estableciendo una zonificación en los andenes que sirve para identificar la ubicación del coche accesible a través de señalización e información dinámica

Tal es el caso de la Estación Central de Viena (“Wien Hauptbahnhof”), con una zonificación de los andenes y una instalación de pantallas que determinan la posición de estacionamiento del tren y la ubicación del coche accesible dentro de la zonificación del propio andén.

Las pantallas indican adicionalmente las especificaciones de cada vagón, tal y como se muestra en las imágenes siguientes.



Figura 60. Panel informativo. Estación Central de Viena (fuente Ineco)



Figura 61. Panel informativo ubicación tren-andén Estación Central de Viena y Señalización de zona de andén, correspondiente a zona accesible (fuente Ineco)

No cabe duda de la importancia de identificar la zona de parada accesible del andén en función del servicio y tipo de tren, más allá del carácter normativo en algunas comunidades autónomas de España, por lo que se propone una posible mejora a los casos de éxitos actuales, para una de identificación de parada accesible.

Se propone la identificación de la zona de parada del vagón accesible para cada tipología de material rodante, mediante la instalación de una señalética dinámica a partir de iluminación orientativa wayfinding. La solución se consigue mediante la instalación de proyectores tipo Gobo y de emisión de luz RGB en la posición de la parada accesible. La identificación luminosa proyectada, se complementa con una iluminación suspendida de balizamiento.

Estos dispositivos, distribuidos a lo largo del andén (concertados específicamente en las zonas definidas) proyectarán pictogramas o directamente iluminarán en un color contrastado e identificable la zona donde hará parada el próximo vagón adaptado.

La posibilidad de ir modificando la orientación de los proyectores o la zona iluminada permitirá operar con la flexibilidad necesaria para la coexistencia de distintas operadoras y materiales rodantes, permitiendo su modificación en cuestión de segundos a partir de una configuración programada con anterioridad.

### Estación de cercanías Puerta de Atocha (Madrid)

En noviembre de 2019, Adif llevó a cabo en la sala de embarque de la estación de Madrid-Puerta de Atocha, una prueba de concepto para testear la tecnología de señalética digital para el guiado indoor. El objetivo de esta prueba era intentar dar contenido e información a los itinerarios y recorridos accesibles definidos en la estación e identificados habitualmente por medio de señalética fija y pavimentos tactovisuales. Estos elementos en ocasiones trazan itinerarios sin destino definido o se ven interrumpidos físicamente, lo que los hace confusos y poco eficaces.



Se propone la implantación de códigos de señalética digital que, leída con la cámara de los dispositivos móviles permita ofrecer información en realidad aumentada y contextualizada de los elementos y zonas de la estación. Al mismo tiempo será posible orientar y guiar a los usuarios mediante un sistema de flechas sobreimpresas digitalmente en los códigos para cualquier destino definido y configurado previamente.

Adicionalmente estos códigos pueden ser leídos por personas con discapacidad visual (a través de la app correspondiente) lo que les permitirá orientarse de forma autónoma a lo largo de la estación.

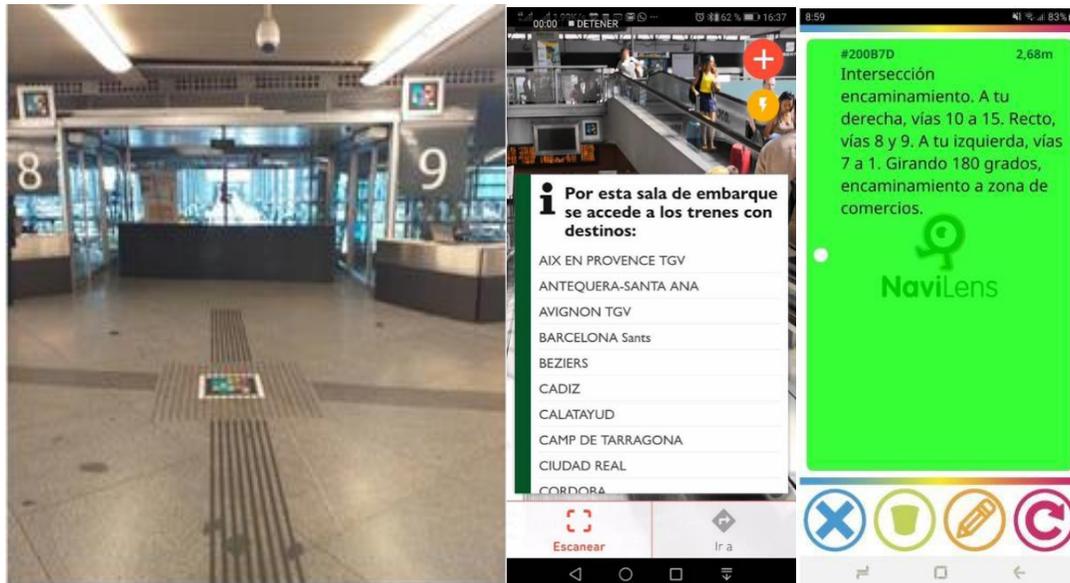


Figura 62. Señalética instalada y mensajes proporcionados durante la prueba (fuente Adif)

La prueba consistió en:

- Instalación de 91 etiquetas Guiado y Orientación accesible. Desde la entrada a la estación de la planta alta hasta las 2 salas de embarque (planta 1 y planta 0). Guiado y orientación en el interior de las 2 salas de embarque
- Información Servicio/Comercial. Identificación de cada servicio ferroviario / local comercial de las salas de embarque, para facilitar información general, ofertas o descripción del tipo de servicios/productos que se ofrecen
- Identificación de las puertas de embarque. Acceso a los horarios de salida de trenes
- Multi-idioma. Presentación de la información en el idioma del dispositivo (24 idiomas): castellano, catalán, euskera, alemán, francés, inglés, etc.
- Validación de la solución por personas con discapacidad visual
- Posibilidad de presentación de la información para otras diversidades funcionales: sillas de ruedas, lengua de signos, pictogramas, lectura fácil, contenido para niños
- Carteles informativos/Campaña comunicación/Encuesta on line en la aplicación

Mejoras implantadas en la prueba de Concepto para facilitar el tránsito y estancia en la estación: Instalación de marcadores digitales en los puntos de decisión (intersecciones) de los caminos tacto-visuales, de tal forma que las personas con discapacidad visual obtienen información sobre:

- Dónde se encuentra
- Áreas comerciales y servicios ferroviarios más cercanos
- Cómo alcanzar su destino utilizando los caminos podotáctiles

El documento  
ha sido editado  
e impreso con  
el patrocinio  
de:





# DISEÑO, GESTIÓN y MANTENIMIENTO

1. DISEÑO de estaciones orientadas al usuario final	87
2. DISEÑO de andenes y puertas de andén	92
3. DISEÑO estaciones multifunción, adaptativas y flexibles	96
4. DISEÑO Estación modular	98
5. DISEÑOS futuristas	100
6. GESTIÓN y MANTENIMIENTO_Tecnología Robótica	103
7. GESTIÓN de catástrofes	106
8. GESTIÓN de la información. IoT & open data	112
9. GESTIÓN de la información. Blockchain & MaaS	114
10. El Metroverso	117
11. Las operaciones de mantenimiento de Metro City	119
12. Conclusiones	120

## COORDINADORES



## OTRAS ENTIDADES PARTICIPANTES



En colaboración con:





## 1. DISEÑO de estaciones orientadas al usuario final

### 1. 1. Introducción y objetivos

En el diseño de las estaciones del futuro la experiencia de usuario será un aspecto clave que afectará al conjunto de todos sus elementos. En este capítulo se presentan aspectos como la percepción del usuario, la sensación de seguridad o el confort percibido que, sin duda, cobrarán cada vez más importancia en las generaciones venideras.

### 1. 2. Estado del arte y retos

La definición clásica de estación de ferrocarril es la que hace hincapié al lugar de intercambio en un proceso de transporte, ya sea de mercancías o de pasajeros. A lo largo del tiempo, el usuario se ha dado cuenta de que una estación ha de ser algo más que un mero lugar de paso o espera o de intercambio. Es decir, una estación es un lugar donde se pueden desarrollar un conjunto de actividades comerciales, un lugar de ocio y disfrute además de un lugar de intercambio o espera. La estación tradicional ha de abrirse al futuro rompiendo con la función básica y adquiriendo más funciones, que además le aportan valor.

Los nuevos diseños han de contener e incluir estas premisas y estar dispuestos a incluir nuevas características derivadas de una previsible demanda futura.

La estación es un entorno dirigido y orientado al usuario, donde se llevan a cabo las relaciones usuario/cliente-material móvil. Por ese motivo el diseño ha de incluir pautas dirigidas a la búsqueda de la satisfacción del usuario

El ciudadano usuario ha de estar involucrado en todo el proceso de planificación y diseño de la estación. La sensación de seguridad por parte del usuario es muy importante (el sentirse a salvo en todo momento). La percepción de inseguridad (por ejemplo, a ciertas horas y a ciertos días) obliga a las mujeres a decantarse por opciones de viaje no deseadas. Se identifican diferencias de género en la percepción de la seguridad en estaciones de tren (por ejemplo, las mujeres valoran más favorablemente el gentío, la presencia de comercios; y sienten inseguridad por la presencia de setos o árboles que pueden servir de escondrijo a maleantes), y propone medidas para corregir esta desigualdad detectada (como situar el acceso a otros modos junto a la entrada a la estación o mejorar la visibilidad).

En relación con la fluidez del movimiento de los usuarios en el interior de las estaciones, algunos autores esbozan un sistema mediante tótems que, combinando diferentes formas de identificar al usuario y su destino, le orientan sobre qué camino tomar; dirigiendo los flujos de viajeros por la estación de forma que se minimice la congestión generada.

Es importante identificar a los tipos de usuarios y sus necesidades. En muchos países, los pasajeros son fundamentales para los sistemas ferroviarios, porque son los consumidores cuyas necesidades y expectativas deben satisfacerse. Por lo tanto, es importante saber primero quiénes son estos viajeros y cuáles son sus deseos y demandas, antes de desarrollar una red ferroviaria y por ende una estación.

Se puede distinguir principalmente entre dos tipos de pasajeros fundamentalmente: aquellos que viajan por un motivo trabajo o escuela, con un horario predefinido, y aquellos que viajan por placer; como por ejemplo los turistas. Sin embargo, ambos tipos de viajeros se encuentran con un obstáculo común en la estación, y es el de cambiar a otra red.

La estación de tren tiene dos identidades:

- 1) La estación como nodo/punto de acceso a los trenes y transferencia a otras redes de transporte
- 2) Al mismo tiempo, es un lugar urbano, parte de una ciudad con infraestructura y un conjunto de edificios y espacios abiertos. Esto crea oportunidades para mejorar la experiencia de los viajeros que esperan su traslado

El modelo de pirámide, -abajo representada-, muestra los requisitos que se deben cumplir en las estaciones para satisfacer a los viajeros.



Figura 63. Modelo de pirámide con los requisitos genéricos de los usuarios (izqda.). DAFO (dcha.)

Si el estándar de uno de los niveles no es lo suficientemente alto para el pasajero, toda la experiencia en la estación se verá afectada.

La seguridad y la confiabilidad son la línea de base, que debe cumplir con un cierto estándar (según el país), de lo contrario, los viajeros evitarán la estación por completo. Estos requisitos forman la base de la pirámide y son fundamentales.

La velocidad y la facilidad de viajar a través de una estación son requisitos genéricos, pero son potencialmente más importantes para los viajeros habituales que para los que viajan por placer.

Si los pasajeros tienen que pasar tiempo en una estación (cuando van a hacer un transbordo, por ejemplo), entonces la comodidad y la experiencia, que se refiere a fundamentalmente áreas de espera protegidas y la disponibilidad de instalaciones y zonas de ocio, como tiendas, restaurantes, son mucho más importantes.

Es importante saber las necesidades del usuario del transporte ferroviario. La Universidad de Cantabria (UC) ha realizado estudios sobre las necesidades de los usuarios del ferrocarril. A través de Grupos focales y análisis DAFO (ver Figura 63), se puede ver las variables más importantes de cara al usuario y las Debilidades, Amenazas, Fortalezas, y Oportunidades del sistema.

Como conclusiones del estudio se obtuvieron las siguientes que abajo se desarrollan, siendo la premisa más importante la de preguntar al usuario, ya que el proyectista puede entender el problema, pero necesita una visión más amplia desde todos los puntos de vista y de todos los agentes intervinientes en el proceso.

- Los usuarios y expertos perciben que los servicios de alta velocidad en estaciones principales son fiables y presentan suficientes frecuencias, servicios auxiliares e información.
- En servicios locales o en estaciones no principales, la frecuencia y los servicios auxiliares son percibidos como deficientes.
- La notable automatización del servicio genera cierto nivel de desconfianza en los usuarios al percibirse el trato al cliente como demasiado impersonal.
- El sistema tarifario actual es percibido como demasiado rígido y poco sensible a las diferencias entre los tipos de usuarios y de viaje
- Una mejora en la flexibilidad de las tarifas, la posibilidad de comprar billetes para cubrir un viaje completo (incluidas las transferencias) y la combinación con servicios de bajo coste podría por lo tanto atraer a más usuarios.
- El tiempo total de viaje es un aspecto clave para escoger el transporte ferroviario.
- El precio y la frecuencia de los servicios deben acompañar a un buen tiempo de viaje.



- La accesibilidad al servicio ferroviario muestra a su vez una gran relevancia, centrándose en las conexiones que las estaciones tienen con otros servicios urbanos e interurbanos además de tener una buena localización dentro de las ciudades.
- Los servicios auxiliares durante el viaje muestran niveles de importancia muy variados.
- De acuerdo con los resultados obtenidos se demuestra que para impulsar un servicio de transporte ferroviario es necesario invertir principalmente en la infraestructura y actuar en la tarificación de los precios y la intermodalidad, dejando en un segundo plano todos esos servicios auxiliares que, aunque son muy apreciados por algunos usuarios no corresponden con la necesidad de un público general.

Este análisis preliminar ayuda a identificar los problemas y establecer unas pautas iniciales de actuación. De las conclusiones anteriores se extrae que en general el servicio es bien percibido por el usuario. Se observó también que el usuario es desconfiado ante la automatización y siempre prefiere un trato presencial. Esto es importante de cara a un diseño futuro (más impersonal). Es fundamental un servicio intermodal, por lo que es necesario conectar el ferrocarril con otros medios de transporte, y abrir este modo al resto. También es importante y preocupa el sistema tarifario, el usuario lo percibe de forma rígida, esto ha de cambiar, es decir, es necesario plantear un sistema tarifario más flexible y que premie al usuario continuado del servicio.

Como se puede ver ya existen ejemplos y se está trabajando sobre la estación del futuro. Es importante tener claros los elementos que interaccionan en el ferrocarril, material móvil, usuarios e infraestructura, así como las relaciones entre ellos para poder establecer un diseño económico, cómodo, seguro y lo más respetuoso desde el punto de vista medioambiental.

### 1. 3. Soluciones Tecnológicas

Viajar en tren es más que un viaje en tren, de hecho, es una experiencia que comienza y termina fuera de los límites de la estación y la red ferroviaria. Es el viaje puerta a puerta.

Hay muchas maneras diferentes de entrar o salir de la estación de tren. A través de un taxi, del uso del automóvil o mediante un trasbordo a otra red de transporte. Las empresas de transporte también pueden anticiparse al viaje del usuario. Un buen ejemplo de un servicio ofrecido por una empresa ferroviaria es la bicicleta en los Países Bajos. El usuario puede alquilar una bicicleta por una pequeña cantidad de dinero en muchas estaciones de tren y algunas paradas de metro, paradas de autobús y en los park and ride. Las bicicletas están siempre disponibles, lo que permite al viajero continuar su viaje. Estas bicicletas están disponibles para todos los pasajeros que tengan un abono de transporte público.



Figura 64. Bicicletas de alquiler en las estaciones en los Países Bajos. (fuente: NS)

Una estación no solo es un cruce en una red de vías de tren, sino que también influye en la ciudad y la estructura urbana. Además de eso, tiene un impacto en la experiencia del viajero.

Los pasajeros que llegan obtienen su primera impresión de una ciudad desde su estación. Este aspecto es fundamental para darse cuenta del concepto de “Estación” que va más allá del ámbito ferroviario.



Desde el punto de vista del diseño han de considerarse los siguientes aspectos:

- El aspecto político, relacionado con las decisiones políticas del gobierno en cada país.
- El aspecto económico, relacionado con la situación económica del país en el momento del proyecto y construcción.
- El aspecto sociocultural, en relación con las necesidades de los usuarios del servicio.
- Necesidades directas o indirectas con relación al servicio.

#### 1. 4. Casos de uso

##### Estación de Lille en Francia

Una estación pensada desde el punto de vista del usuario, donde la totalidad de la estación está orientada al usuario y sus necesidades. En la imagen siguiente, en la zona izquierda, se muestran las estaciones ferroviarias de media distancia y de suburbano en color rojo, un centro comercial en color azul claro, oficinas en azul oscuro, hoteles en amarillo y en color verde espacios de exposiciones, casino y un centro de congresos. A la derecha, los diferentes dominios, que se presentan desde el azul más oscuro al más claro mostrando los dominios de viaje: alojamiento, entrada y ambiental.

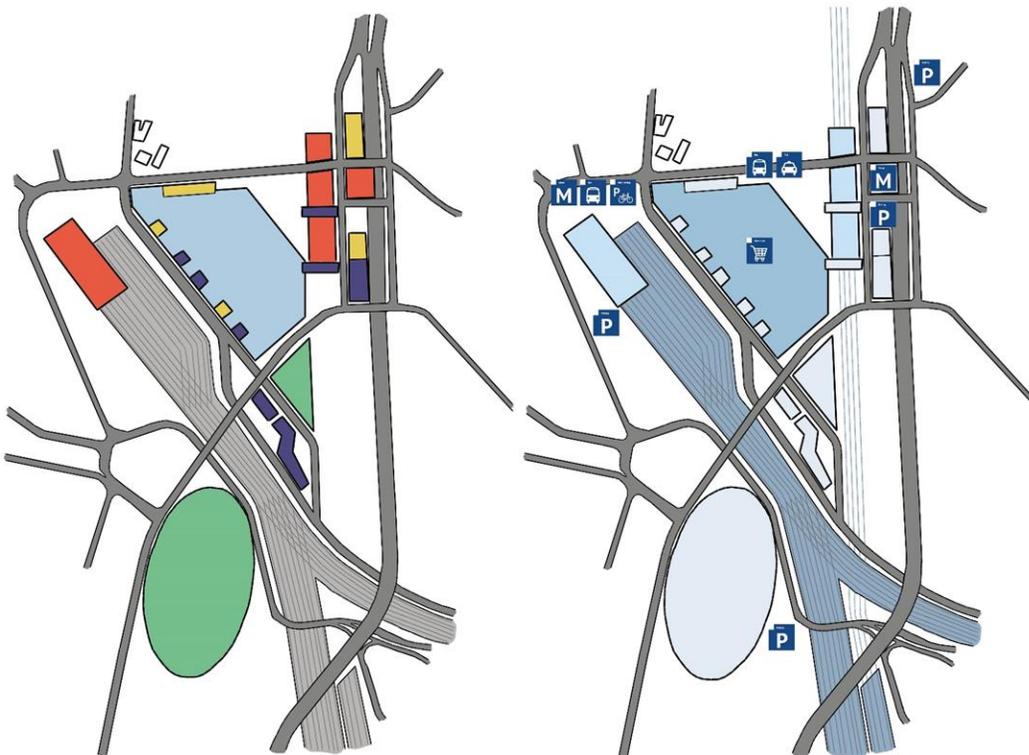


Figura 65. Diferentes dominios de la estación de Lille (Francia)



## 2. DISEÑO de andenes y puertas de andén

### 2.1. Introducción y objetivos

El objeto de este capítulo es establecer la tipología y/o disposición de los andenes con el fin de que preste la máxima funcionalidad, no sólo a la propia circulación del material móvil, sino también y fundamentalmente a los viajeros, usuarios de la estación.

### 2.2. Estado del arte y retos

Históricamente, las estaciones asociadas a líneas ferroviarias al situarse normalmente en las afueras de los núcleos de población -o aún situadas en pleno núcleo urbano no sufrían de la presión urbanística que se ha conocido las últimas décadas- se podían diseñar con bastante libertad, pues no había esa falta de espacio del que hoy en día adolecería la implantación de una nueva estación en un núcleo de población de cierta densidad.

Las estaciones disponían de multitud de anexos o instalaciones auxiliares directamente relacionadas sobre todo con el transporte de paquetería, talleres, etc., a veces sobredimensionadas y que permitían un diseño sin condicionantes geométricos -urbanísticos-. En ese contexto, asimismo la propia estación de ferrocarril tenía ese grado de libertad en su diseño; normalmente se situaba en superficie, de acceso inmediato para los usuarios, pero de accesibilidad sinuosa/tortuosa al tren. Así, es/era frecuente la disposición de andenes laterales, identificando cada andén con su vía, lo que permitía disponer un trazado de vías sensiblemente recto. El acceso a los andenes "contrarios" se resolvía bien mediante pasos inferiores bien mediante pasos superiores en el mejor de los casos, cuando no mediante un entarimado de madera sobre la propia banqueta de la vía con el consiguiente riesgo para los usuarios. Ya se sabe que se trata de situaciones cada vez menos habituales, pero la realidad evidencia que sigue siendo frecuente ver este tipo de soluciones que resuelven la mejor circulación para el material móvil, prestando poca atención a los flujos de viajeros, a su confort y/o seguridad.

Si se echa un vistazo a las estaciones históricas de ferrocarril metropolitano, se observa una casuística muy parecida a las tradicionales estaciones de ferrocarril pesado. En estos casos lo más habitual es encontrarnos con estaciones soterradas a dos niveles; un primer nivel soterrado destinado al vestíbulo al que se accede desde el nivel calle y un segundo nivel donde se sitúa el plano de vías y los andenes separados por las propias vías.

Este esquema funcional presenta las siguientes características:

- Posibilidad de equivocación a la hora de elegir el andén correcto. Significa en el mejor de los casos que, en caso de equivocación, el usuario tenga que volver al vestíbulo para acceder a su andén correcto. Implica incomodidad, pérdida de tiempo y posible pérdida del tren
- En los casos de plataformas de trenes de piso bajo, esta situación puede derivar a un movimiento peligroso por parte del usuario, al serle muy fácil el cruzar las vías sin necesidad de deshacer su recorrido por el vestíbulo
- Una disposición de andén lateral implica la disposición de elementos verticales de comunicación -escaleras mecánicas y ascensores- duplicados

Bien es verdad que los avances de las dos últimas décadas en los sistemas de puertas de andén salvan parte de esta problemática, pero no la evita totalmente. Este sistema de mamparas ha conseguido mejorar algunas funcionalidades, entre las que cabe destacar:

- Reducción de la accidentalidad sea por arrastre del tren o por caída involuntaria a la vía.
- Evita la entrada de cualquier usuario al túnel, aumentando por tanto la seguridad frente a actos vandálicos o terroristas.
- Permite implantar un sistema de conducción automático (ATO) -sin conductor- lo que requiere que todos los andenes de la línea dispongan de dichas mamparas y que la línea circule por una plataforma 100 % exclusiva.



Figura 66. Sistema de mamparas o puertas de andén en la Jubilé Line de Londres

Así pues, los retos que se presentan son evitar este tipo de situaciones o los diseños anómalos tanto para el usuario como para el propio operador, dotando a las estaciones de mayor funcionalidad, flujos directos y mejores niveles de seguridad.

### 2.3. Soluciones tecnológicas

Al margen de la conveniencia/necesidad de disponer de puertas de andén, que ya se ha visto, dotan de mejores funcionalidades a las estaciones de ferrocarril, se debe, en primer lugar, centrarse en el diseño formal de la estación.

Es fundamental para estaciones de ferrocarril soterradas y sobre todo para estaciones de metro en particular, que éstas dispongan de un vestíbulo distribuidor o mezzanina en un primer nivel soterrado. La disposición de este espacio intermedio facilita la implantación de los accesos hacia el exterior, dotando a la infraestructura de suma flexibilidad; no es objeto de este capítulo desarrollar el enorme potencial que tiene un vestíbulo intermedio para el usuario no sólo desde el punto de vista del transporte sino también de aspectos comerciales, de ocio, etc. A su vez permite, aun disponiendo de geometrías de viario complicadas, disponer los accesos a nivel de calle en los lugares óptimos para facilitar la accesibilidad.

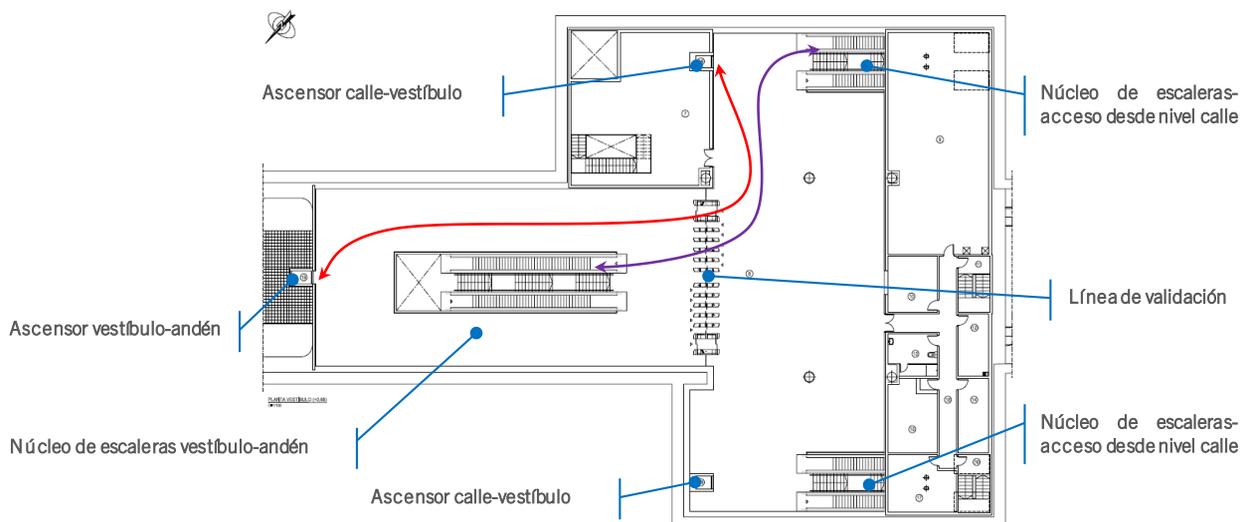


Figura 67. Disposición de elementos verticales y esquema de flujos en una estación tipo con vestíbulo intermedio y andén central



La solución tecnológica pasa por tanto simplemente por un diseño pensado para el viajero, con flujos directos e itinerarios previsibles por el usuario sin necesidad de excesiva señalética; debe procurarse por tanto plantear diseños que permitan movimientos lo más rectilíneos posible, sin giros extraños a 90 ó 180 grados que induzcan al usuario movimientos fáciles e intuitivos.

Asimismo, este tipo de diseños permiten establecer movimientos muy directos desde el vestíbulo al andén, gracias a la implantación de ese vestíbulo intermedio o mezzanina.

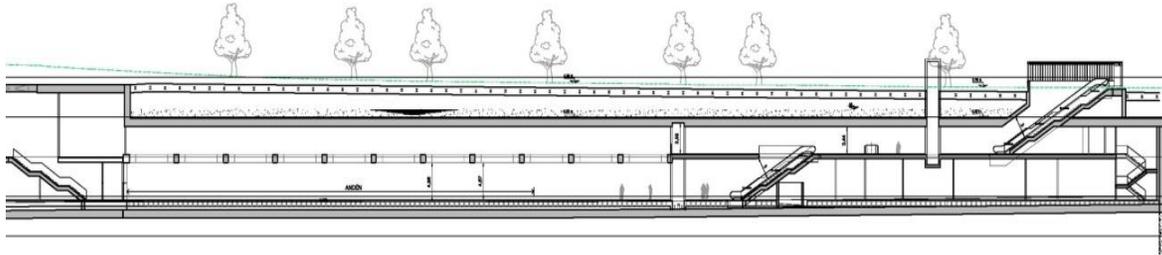


Figura 68. Perfil longitudinal de estación con vestíbulo intermedio – esquema de flujos

Por otra parte, la disposición de andén central permite un desembarco inmediato desde el núcleo de escaleras y ascensor, además de evitar los inconvenientes que se han citado en el apartado anterior, esto es:

- Evita confusiones.
- Disminución de las situaciones de peligro, ya que se evita el cruce de la vía.
- Supone un ahorro económico significativo en cuanto a inversión y mantenimiento de elementos verticales de comunicación -escaleras mecánicas y ascensores-.

En cuanto a la implantación de las puertas de andén en sistemas de transporte ferroviario han tenido un importante auge en las dos últimas décadas. Son diversas las ventajas de su implantación, tanto para tipologías de andenes centrales como separados, siendo su mayor inconveniente la inversión y el mantenimiento.

La ventaja más clara para la operación comercial es que permite la circulación de trenes en modo automático (ATO), sin necesidad de conductor. Ello exige que la plataforma ferroviaria sea a lo largo de la totalidad de su trazado 100 % exclusiva. Por tanto, la aplicación de esta tecnología se restringe a ferrocarriles metropolitanos que discurren completamente soterrados, dado que es complicado alcanzar en trazados en superficie plataformas exclusivas y que además no sufran invasión por terceros sea de forma accidental sea por actos vandálicos o terroristas.

De cara al usuario las ventajas de la implantación de las puertas de andén o mamparas son concretas: mayor seguridad frente a arrastres del tren o caídas accidentales a la vía -especialmente importante para sistemas colapsados en horas punta- y mejora de la accesibilidad al tren a las personas de movilidad reducida.



## 2.4. Casos de uso

### Estación de metro de Málaga

La mayoría de las estaciones del metro de Málaga que se encuentra en servicio desde Julio de 2014 responden a la tipología descrita, esto es vestíbulo intermedio que distribuye los flujos peatonales y andén central. Aunque se trató de implantar la solución de puertas de andén en el metro de Málaga, finalmente la administración desechó la solución por dos razones fundamentales: elevada inversión y falta de homogeneidad del trazado, al disponer la línea 1 del metro de Málaga tres kilómetros que discurren en superficie con una solución de plataforma segregada, no exclusiva.

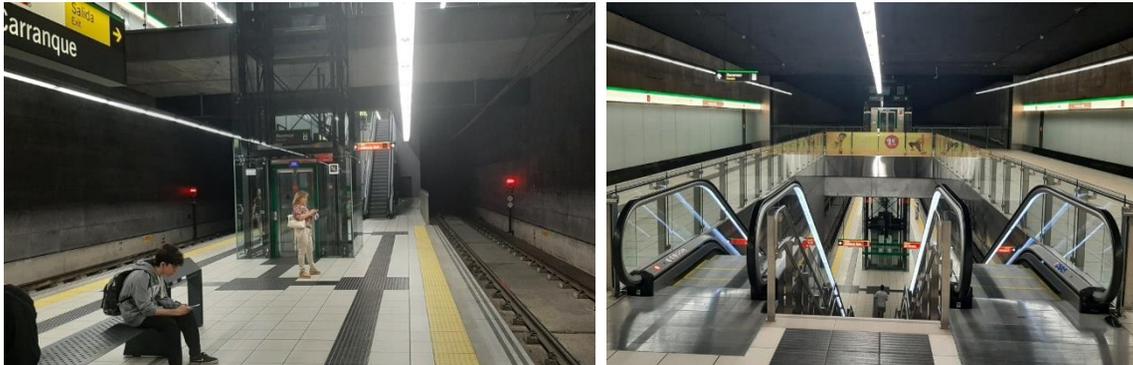


Figura 69. Solución andén central (izqda.); Acceso desde vestíbulo a andén central (dcha.). Metro de Málaga



Figura 70. Panorámica de vestíbulo de una estación tipo metro de Málaga con dos accesos

### Estación de metro de Sevilla

En el caso del metro de Sevilla, la administración implantó la solución de puertas de andén, tanto en estaciones en superficie como en estaciones soterradas, solución que ha tenido una muy buena aceptación por parte del usuario.



Figura 71. Puertas de andén en la estación Montequinto del metro de Sevilla – andén central



### 3. DISEÑO estaciones multifunción, adaptativas y flexibles

#### 3.1. Introducción y objetivos

En el diseño de las estaciones del futuro debe primar un diseño flexible y adaptable de la estación ya que pueden aportar mucho a una ciudad, tanto como un centro para nuevos negocios como un hito arquitectónico. Es importante distinguir si las vías del tren pueden formar una barrera física y/o social, y cuándo esto puede ser una oportunidad en lugar de un problema.

En este capítulo se desarrollan los aspectos de integración de nuevos usos dentro de la estación, así como la dinamización de los espacios asociados a la propia estación y entorno.

#### 3.2. Estado del arte y retos

Se ha comentado que la estación del futuro ha de romper el esquema clásico funcional de relación usuario/vehículo material móvil y ha de aportar y ofrecer más. Para ello es necesario adaptar los métodos constructivos. Estos métodos han de ser más eficaces, desde el punto de ahorro energético y medioambiental. Esto a la larga se traduce en un ahorro económico.

A pesar de la alta velocidad española, siguen existiendo insuficiencias y grandes desequilibrios en el sistema ferroviario nacional (red ferroviaria, estaciones, apeaderos, material rodante, etc.). La estación ha de ser accesible, -concepto de accesibilidad Universal-, pero también ha de ser capaz de adaptarse a los cambios futuros, es decir la estación ha de ser resiliente.

Con relación a la multimodalidad, ADIF aborda un proyecto denominado **“LA ECOMILLA”**, para dotar a las estaciones de la movilidad del futuro. Se trata de una iniciativa transversal para la creación de un espacio destinado a potenciar la multimodalidad urbana sostenible, de manera que el recorrido del viajero desde la estación hasta el punto de destino (o desde el origen a la estación) en la primera y última milla se realice en un medio de transporte energéticamente eficiente y de bajas emisiones de CO<sub>2</sub>.

Bajo este concepto se plantean áreas de movilidad sostenible en las estaciones para vehículos cero emisiones y compartidos y, promoviendo el carsharing, el bikesharing y el patinete sharing, entre otros modos de transporte. Del mismo modo se plantea dotar a las estaciones de puntos de recarga rápida para vehículos eléctricos en base a energías limpias, alimentados en muchas ocasiones por la producción de energía renovable de los proyectos fotovoltaicos que desarrollará en sus instalaciones. Además, se facilita el reparto de paquetería en la última milla, dimensionando nuevos hubs logísticos y reservando aparcamientos seguros para bicicletas.

Con el diseño sostenible hay que potenciar los diseños eficientes desde el punto de vista energético y medioambiental. Como ejemplo se tiene el de la estación Zhengzhou-Este, en China, donde se aprecian las ventajas de emplear un sistema de ventilación natural: ahorro energético y comodidad de los viajeros.

A modo de ejemplo de integración de espacios comerciales y culturales están las estaciones de tren japonesas (en particular la de Tokyo), que funcionan como una localización urbana más, apareciendo múltiples usos además del transporte: comercios, ocio, intercambio de ideas, promoción de formas de vida que se benefician de los volúmenes de tráfico peatonal más altos de la ciudad. Para conseguir este desarrollo, es necesaria una estrecha interconexión con la infraestructura peatonal.

La estación ha de acoger varios modos de transporte y ha de permitir el traslado de mercancías y usuarios, desde su procedencia hasta su destino. Con relación a la multimodalidad, se exploran los beneficios (eficiencia de los viajes, satisfacción de los usuarios, fluidez del tráfico) de la implantación de un sistema de taxi compartido en una gran estación de tren (como la de Beijing Este).

#### 3.3. Soluciones tecnológicas

Con relación a la integración de nuevos usos dentro de la estación, se busca que haya formas de desarrollo próspero alrededor del sector ferroviario. La visión es generar vida en estos lugares “de paso”, y que los usuarios se sientan seguros y cómodos usando este medio de transporte. De esta forma se pretende generar impacto en áreas abandonadas, donde también se incluirán la rehabilitación de estructuras para convertirlas en vivienda.

Se busca dinamizar y revitalizar espacios que inicialmente no estaban pensados para ello. Se llevarán a cabo actividades de música y arte, donde los artistas crearán sus obras en vivo para el público. Algunas estaciones tendrán plazas donde la gente podrá tener diferentes experiencias además de los usuarios se tiene previsto las actividades para sus mascotas. En unos años las estaciones estarán completamente



renovadas con nuevos caminos y espacios peatonales, isletas y más seguridad. El usuario ha de entender que, al usar el tren ahorra dinero y no tiene el problema de buscar estacionamiento.

### 3.4. Casos de uso

#### Estación de Lieja

La estación de tren original de Lieja se inauguró en 1842. Sin embargo, esta estación no satisfacía las necesidades de los viajes del siglo XXI, por lo que se planeó una nueva estación. Calatrava fue el arquitecto encargado de diseñar esta nueva estación. El 18 de septiembre de 2009 se inauguró la estación.

La estación está construida con acero, vidrio y hormigón blanco, siguiendo el estilo característico de Calatrava, siendo lo más destacable a nivel estético su fachada.



Figura 72. Estación de Lieja, Bélgica. Ubicación: Lieja, Bélgica. Arquitecto: Santiago Calatrava

Una de las razones por las que Lieja construyó una nueva estación de tren fue la llegada del tren de alta velocidad a la ciudad. Junto a los trenes locales, también está conectada con la red internacional.

#### Estación Grand Central, Nueva York

Entre 1899 y 1900, se realizaron muchos trabajos de renovación en Grand Central Station en Nueva York. Pero debido a un accidente en el túnel de Park Avenue en el lado norte de la estación, se tomó la decisión de construir una nueva estación Grand Central. Esta estación tenía que, a diferencia de la anterior, adaptarse al incipiente crecimiento de la metrópolis. Después de un concurso, dos estudios de arquitectura fueron elegidos para realizar el nuevo diseño: Reed & Stem y Warren & Wetmore.

Reed & Stem y Warren & Wetmore acordaron trabajar juntos bajo el nombre de Associated Architects of Grand Central Terminal. El diseño general estuvo a cargo de Reed & Stem, Warren & Wetmore se aseguró de que los detalles arquitectónicos se incluyeran en el diseño.

Bajo tierra, hay dos niveles de vías de tren y andenes. En el nivel superior llegan los trenes principales, y en el nivel inferior se detienen los trenes de cercanías. Debido a que todas las vías del tren son subterráneas, hay espacio en la superficie para desarrollar bienes raíces.

Grand Central Station cuenta con 44 andenes y 67 vías de tren y está conectada a la red regional y nacional, así como al metro. Grand Central Station es la estación terminal más grande del mundo.



Figura 73. Estación Grand Central. Ubicación: Nueva York, EE.UU. Arquitecto: Reed y Stem; Warren y Wetmore



## 4. DISEÑO Estación modular

### 4.1. Introducción

Uno de los problemas de las estaciones del futuro es establecer de forma precisa la demanda que tendrán dentro de unos años. Ante las dificultades para estimar la demanda de pasajeros en un espacio temporal de 30 a 50 años es necesario diseñar estaciones que permitan adaptarse a esta demanda indefinida. La mejor manera es a través de modelos de estación modular que permiten a la estación crecer en función de su demanda. Existe un diseño de estación modular que se implementa por fases [26], pasando de un andén central a andenes mixtos. Esto permite ir aumentando la capacidad de la estación en función de los requerimientos reales de la demanda, haciendo más eficiente su diseño, construcción y coste. Por ejemplo, cuando el flujo de usuarios tiene un comportamiento simétrico en ambos sentidos de la línea, el andén lateral es más eficiente que el andén central. En cambio, en condiciones de flujo asimétrico, el andén central es más eficiente. Sin embargo, en condiciones de flujo simétrico y asimétrico, el andén mixto es más eficiente que las dos configuraciones anteriores, y este diseño se propone como el más idóneo para diseñar estaciones de transferencia, ya que permite gestionar hasta el doble de usuarios que las otras configuraciones con menos fricción entre usuarios

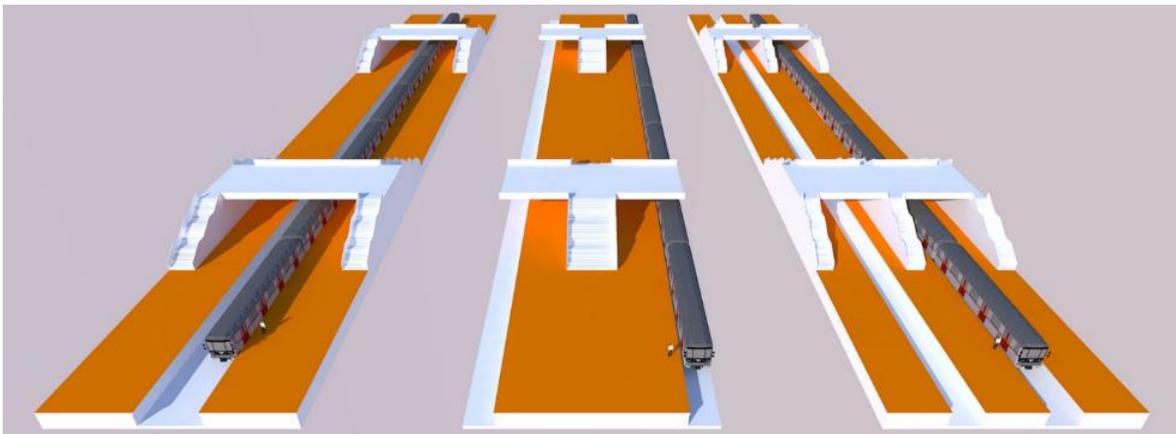


Figura 74. Tres configuraciones de andenes: Andenes laterales, andén central y andenes mixtos

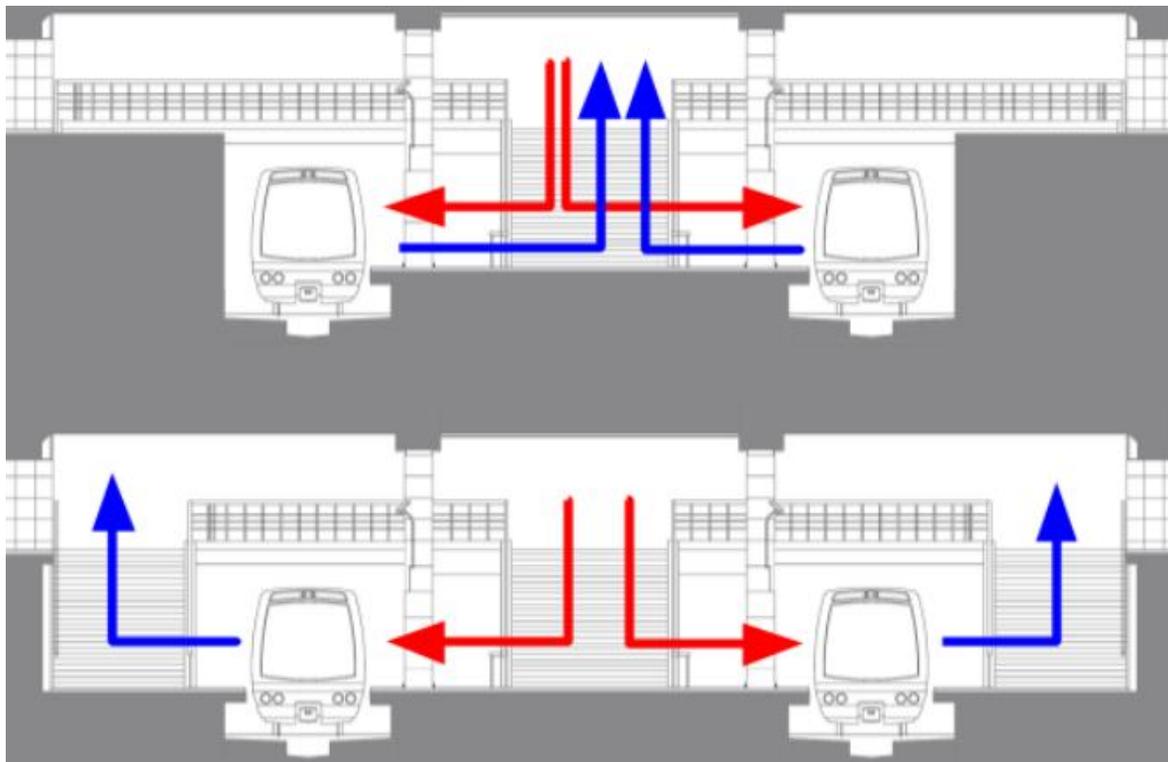


Figura 75. Estación modular por fases: Andén central (arriba), Andén mixto (abajo). Flujo peatonal de acceso (rojo) y egreso (azul)



## 4.2. Casos de uso

### Estaciones ciudades árabes sauditas

Como ejemplo de construcción de estación ferroviaria modular se plantea la de las principales ciudades árabes sauditas que forman parte del trayecto ferroviario de la Alta Velocidad en Arabia Saudita de 450 Km de longitud y que han sido proyectadas por el estudio inglés **Foster + Partners**. Estas estaciones se denominan **Makkah, Madinah, Jeddah y El Rey Abdullah**.

Las estaciones se han construido utilizando un enfoque modular común conteniendo el techo y la plataforma. La modulación se conforma con una cuadrícula cuadrada que se repite, donde las columnas y arcos de acero en forma de árboles estructurales independientes, se unen para formar un techo abovedado.

Como las estaciones deben atender hasta **20.000 pasajeros** por hora, la disposición de los espacios sigue la dirección del viaje y ayuda a los pasajeros a navegar por las estaciones de manera intuitiva. "El techo abovedado y las paredes contienen pequeñas aberturas que atraen rayos de luz diurna hasta el nivel de la explanada, controlando el intenso resplandor del sol y creando un ambiente tranquilo, atmosférico y bien iluminado.



Figura 76. Estación modular de la Alta Velocidad ferroviaria en Arabia Saudita



## 5. DISEÑOS futuristas

### 5.1. Introducción

¿Cómo serán las estaciones dentro de 50, 100 o 500 años? ¿Seguirán existiendo o serán solo un recuerdo del pasado? ¿Qué nuevas funciones, características o usos tendrán? ¿Qué papel desempeñarán las estaciones en la ciudad del futuro?

Las respuestas a estas preguntas se resuelven en este apartado a partir de la descripción de diferentes imaginarios futuristas. Visiones, por el momento utópicas, donde las estaciones dejan a un lado su concepción tradicional y clásica para convertirse en núcleos de relación con la sociedad y el medioambiente.

Cada una de estas hipótesis se construyen en base a teorías actuales sobre futuro del urbanismo, las infraestructuras y el desarrollo tecnológico en el sector del transporte y la construcción. También se reflexiona sobre la importancia de las estaciones y la movilidad en el cuidado del planeta, imaginando modelos que tengan un aporte positivo, no solo en la sociedad sino también en el medioambiente.

Por lo tanto, se abren diferentes escenarios que podrían convivir o no en el tiempo; según sea el desarrollo técnico, social o medioambiental escogido en cada uno de los modelos. A partir de estos futuros y líneas temporales se configuran cuatro propuestas visionarias muy diferenciadas entre sí, abarcando de esta forma un gran espectro de posibilidades.

Así pues, en los siguientes apartados, se describe el funcionamiento, las tecnologías y la relevancia de las siguientes tipologías de estaciones futuristas.

### 5.2. Tipologías de estaciones futuristas

#### 5.2.1. La estación adaptable

La inmutabilidad de las estaciones hace muy difícil su adaptación funcional, morfológica y de escala a los cambios que se producen en una sociedad en constante evolución. Asimismo, el desarrollo tecnológico en el sector del transporte mejora sus sistemas y servicios a una velocidad tal que hace inviable económicamente que las estaciones actuales se transformen para ello.

La Estación Adaptable nace para dar una solución a la incapacidad de reconfiguración, eficiente y rápida, de las estaciones actuales. Esta visión busca, desde su diseño y concepción, ser flexible y transformable para adaptarse a cada situación o entorno de una forma sencilla, económica y rápida. Esta versatilidad hace de la Estación Adaptable un equipamiento capaz de contener funciones y usos que varían en el tiempo, de relacionarse con el entorno construido y natural de una manera más orgánica y directa, y de estar siempre actualizada a los últimos avances tecnológicos.

La Estación Adaptable está compuesta por una serie de elementos modulares y prefabricados que, mediante un proceso aditivo, se ensamblan los unos con los otros generando los diferentes lugares y espacios que componen el edificio. Esta característica hace posible, según las necesidades:

- El aumento o reducción del tamaño y capacidad de la estación o de partes del edificio, incrementando su capacidad de pasajeros, vías, espacios comerciales o áreas de descanso, etcétera.
- La adaptabilidad al medio urbano cambiante, siendo una infraestructura que puede cambiar morfológicamente: extenderse en planta o crecer en altura, estar contenida en una geometría clara concreta o tener un perímetro que se adapta a cada característica de la trama urbana.
- El desmontaje de los módulos que conforman la estación para su posible reutilización en otras estaciones adaptables. Se aumenta así el valor y vida útil de los componentes que las conforman y se genera un sistema circular y sostenible en la construcción de las Estaciones Adaptables.
- La incorporación de nuevos elementos y sistemas en tiempo real a la estación gracias a estar compuesta por una construcción y arquitectura líquidas.

La automatización y robotización serán cruciales en La Estación Adaptable, ya que harán posible el fácil montaje y desmontaje de cada una de las partes para convertirlas en un todo cambiante y reconfigurable. Asimismo, la inteligencia artificial dotará a estas infraestructuras de autonomía para tomar sus propias



decisiones de desarrollo. Las diferentes Estaciones Adaptables, se comunicarán entre ellas, compartiendo datos y aprendiendo las unas de las otras para llegar a soluciones óptimas y eficientes.

En definitiva, la Estación Adaptable es un modelo de infraestructura viva, de mejora constantemente. Una visión de estación para un futuro frenético, cada vez más cambiante y veloz, donde los equipamientos son edificios-máquina que no solo se adaptan al cambio hacia una sociedad y planeta más sostenible y eficiente, sino que forman parte del mismo.

### 5.2.2. La estación en altura

La trama urbana de las ciudades actuales se encuentra bloqueada por barreras físicas que sectorizan los espacios destinados a la relación entre ciudadanos. Un amplio porcentaje de estas delimitaciones se corresponden con infraestructuras relacionadas con la movilidad y el transporte (tanto público como privado) como carreteras, estaciones y vías ferroviarias.

La Estación en Altura supone una transformación integral del modelo de movilidad que existe en las ciudades actuales. El objetivo principal de este sistema consiste en desocupar la máxima superficie de suelo posible generando un espacio público de relación más sostenible, habitable y seguro. Además, liberar superficie en planta posibilita la renaturalización de los núcleos urbanos, incrementando la biodiversidad, el índice biótico del suelo, la flora y la fauna.

La complejidad vertical del edificio es clave para reconfigurar la obsoleta estación barrera a la **estación hito**, que sea un referente visual para los habitantes y ceda a la ciudad espacio público de estancia. Las distintas alturas de la torre jerarquizan los tipos de desplazamientos, siendo los niveles inferiores para movilidad urbana y los niveles más altos interconexiones entre ciudades. Las características principales de este tipo de estación serían:

- Desvinculación de la superficie terrestre de las infraestructuras de movilidad dejando paso a espacios públicos de estancia, renaturalización y biodiversidad.
- Eliminación de barreras físicas (relativas a la movilidad) propiciando una trama urbana continua y accesible.
- La estación como faro o punto visual de referencia en la ciudad.
- Aprovechamiento de la altura como unión de distintos medios de movilidad (corta, media y larga distancia)

El reto tecnológico se divide en dos áreas diferenciadas para conseguir la mejor funcionalidad de la estación. Por un lado, el desarrollo del edificio en sí mismo y, por otro, el de los vehículos (aeronaues o aerotrenes). El sistema Hyperloop o monotubo podría ser un buen punto de partida para el desarrollo del complejo edificio-torre. Y finalmente mediante la implantación tecnología de aéreo naves como forma de movilidad el espacio aéreo quedaría libre de grandes plataformas y vías elevadas, evitando al máximo la contaminación visual.

En conclusión, la Estación en Altura se erige como un modelo que resuelve muchos de los problemas urbanos que generan las estaciones actuales, a la vez que permite la incorporación de nuevos medios de transporte. Esta visión, no solo determina la dirección o morfología del edificio en cuestión, sino que engloba una serie de transformaciones sociales y tecnológicas en cuanto a la movilidad dentro de las ciudades.

### 5.2.3. La estación atomizada

La estación entendida como punto atractor de movilidad da pie a situaciones de colapso, mala accesibilidad, falta de aparcamiento y espacios grises y contaminados. La infraestructura que supone este tipo de estación central constituye una discontinuidad en la trama urbana generando barreras, espacios poco seguros y habitables.

La Estación Atomizada consiste en la desintegración de la estación actual en nuevos núcleos mínimos repartidos por la trama urbana. En este caso, la estación como espacio físico pasa a un segundo plano dejando paso a un sistema interurbano de transporte que engloba recorridos de corta, media y larga distancia. La pieza clave de este modelo son los vagones autónomos, vehículos que se desplazan entre núcleos adicionándose o dividiéndose en función de la ruta o destino.

Los núcleos que forman la Estación Atomizada se disponen por la ciudad de forma equitativa, desde un enfoque sistémico y con una visión más concordante entre la escala urbana y la escala humana, dejando



atrás grandes infraestructuras que bloquean el espacio público de estancia. Las características principales de este tipo de estación serían:

- Descentralización de la tipología de estación, introduciendo una sucesión de puntos de movilidad o miniestaciones en la trama urbana.
- Puntos de estación equidistantes y cercanos a toda la población (evitar desplazamientos largos innecesarios y colapsos)
- Desintegración de barreras y discontinuidades en la trama urbana
- Desarrollo de un vehículo que se forma con la adición de vagones autónomos que salen de los distintos núcleos estación de la ciudad.

La tecnología relacionada con este tipo de estación estaría enfocada en el desarrollo del vagón autónomo. Vehículo autónomo capaz de adicionarse o dividirse, con posibilidad de un vagón específico embarcar o desembarcar de las composiciones, o unirse a otros y construir composiciones nuevas. Cada vagón tendrá su sistema de propulsión eléctrica autónoma, no siendo necesaria ninguna intervención humana.

Finalmente, la Estación en Atomizada rompe con el modelo de estación simplificando el edificio y las infraestructuras y complejizando el sistema de movilidad con los vagones autónomos.

#### 5.2.4. La no estación

La movilidad en nuestras sociedades es ineficiente. Se destinan una cantidad excesiva de recursos humanos y materiales en el desarrollo de vehículos que no se aprovechan. La mayor parte del tiempo los medios de transporte están en desuso o con un aforo incompleto. Esto se debe principalmente a dos factores:

- La dependencia que generan el sistema actual de propiedad del automóvil, donde cada individuo está condenado a tener su propio vehículo, aunque este permanezca aparcado más del 90% del tiempo.
- La no interoperabilidad de los diferentes medios de transporte, es decir, un automóvil no se puede conectar con un tren o un barco con un helicóptero, por ejemplo. Salvo en contadas excepciones, el pasajero debe salir de un tipo de vehículo para entrar en otro.

Este hecho hace que el sector del transporte sea muy poco sostenible, no solo por ser el líder en emisiones de CO<sub>2</sub>, sino por la huella de carbono producida en la construcción y fabricación de infraestructuras y vehículos.

La visión futurista de la No Estación propone un modelo de movilidad completamente diferente. Primero, en lugar de tener un vehículo propio, los individuos confiarán en una red de vehículos inteligentes repartidos en el territorio que darán servicio a los ciudadanos cuando estos lo necesiten, siendo su densidad y número el adecuado para responder a la demanda en cada caso. Estos vehículos podrían ser o estar inspirados en el nuevo concepto de AirBus, el modelo Pop Up: una capsula biplaza eléctrica que se puede ensamblar con diferentes elementos para viajar por tierra, aire o agua.

En el modelo de la No Estación, el individuo no necesita, por ejemplo, tomar varios medios de transporte para llegar a la estación y coger allí el tren hacia otra ciudad. Antes de salir de casa pide su vehículo mediante una aplicación móvil, elige su destino y espera a que lo recoja. El sistema autónomo se encarga de cambiar el medio de transporte para mejorar su eficiencia y reducir su impacto medioambiental.

Así, en vez de tener grandes espacios donde se concentra la movilidad entre ciudades y países como son las estaciones de ferroviarias, aeropuertos o puertos; se propone un sistema donde estas infraestructuras desaparezcan tal y como se conocen. Al igual que las estaciones, el espacio destinado al vehículo privado: como son las carreteras, autopistas, espacios de aparcamiento; se reduciría drásticamente, ganando espacio en las ciudades para la gente, impulsando la actividad económica y social, y recuperando el espacio perdido para la naturaleza en las zonas no urbanas.

En conclusión, la búsqueda de la una estación futurista resulta que, paradójicamente, la desaparición de esta tipología es la mejor opción para un cambio real en la movilidad de la sociedad y para la disminución de la huella energética en del sector del transporte.



## 6. GESTIÓN y MANTENIMIENTO. Tecnología Robótica

### 6.1. Introducción y objetivos

En el presente apartado se exponen las funciones que serán desempeñadas por robots en las estaciones del futuro:

- Inspección de infraestructuras
- Reparación y mantenimiento de instalaciones
- Vigilancia
- Transporte de material
- Servicios al usuario

### 6.2. Inspección de infraestructuras

Si bien ya se están utilizando robots y dispositivos para la inspección de infraestructuras, en un corto espacio de tiempo estos equipos operarán de forma autónoma pudiendo hacer estas tareas de forma repetitiva o puntual para mantenimientos programados o correctivos.

El uso de drones aéreos o robots terrestres, con una planificación de trabajo y mediante el empleo de otras tecnologías como la inteligencia artificial, podrán realizar las tareas que actualmente se hacen de forma manual de una forma automática y sin la interacción humana. De este modo se accederá a lugares no accesibles para el personal humano sin riesgo para las personas y las instalaciones, pudiendo capturar una mayor cantidad de datos y de mayor calidad.

Estos equipos móviles formarán parte de un sistema más complejo formado por un enjambre de dispositivos y sensores fijos que aporten información continua.

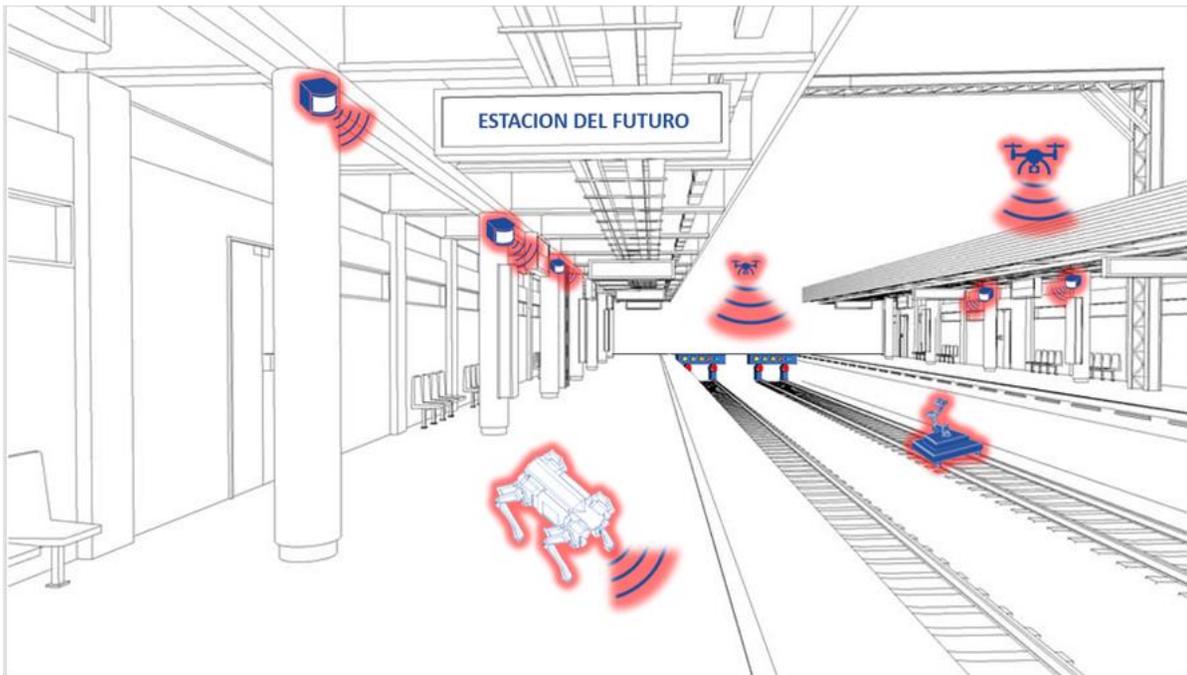


Figura 77. Concepto de inspección y de la monitorización estación del futuro

La información recopilada será enviada a un sistema central de control central que tomará las decisiones oportunas en base a los algoritmos existentes, así como a la experiencia de los equipos de mantenimiento. Para las funciones más sencillas, los robots podrán realizar acciones puntuales de reparación o mantenimiento.

Estas inspecciones serán realizadas ya sea por la toma de fotografías térmicas o visibles como mediante el escaneo de los entornos o una combinación de ambas. Y esto se llevará a cabo por estos dispositivos embarcados en drones aéreos o en rovs terrestres según el fin/tipo de la inspección.



Figura 78. Ejemplos de drones aéreos y acceso a zonas de difícil acceso



Figura 79. Ejemplos de drones terrestres. Foto izqda.: robot cuadrúpedo de inspección. ANYbotics

### 6.3. Reparación y mantenimiento

Si bien la inspección se podría catalogar como el primer paso para el mantenimiento de infraestructuras, el siguiente paso sería la automatización de las tareas de reparación y mantenimiento. En el año 2050 los robots serán capaces de desplazarse a la zona de actuación y realizar las tareas que en la actualidad realizan las personas.

Con una planificación y ruta cargadas en los robots y con las herramientas necesarias, se podrán acometer dichos trabajos, ya sean de soldadura, cambio de equipos (válvulas), trabajos eléctricos, etc.



Figura 80. Robots realizando operaciones de mantenimiento

En la actualidad ya se están acometiendo, pero bajo el control y/o supervisión humana, aunque la evolución permitirá realizarlo de forma autónoma. Esto se puede ver en el sector de la automoción, donde son los robots los que hacen este trabajo. En el futuro serán los robots los que se desplacen al lugar para realizar las tareas de mantenimiento.

Las tareas de transporte de material y herramientas pesadas serán realizadas por robots. Son muchos los ejemplos y proyectos activos actualmente en el que se utilizan robots para el transporte, existiendo soluciones para última milla en ciudades o adaptados a espacios confinados en el interior de edificios.



Figura 81. Transporte de materiales realizado por robots



Un caso concreto es la realización de operaciones de mantenimiento en las vías. Los robots serán capaces de realizar pequeñas operaciones tales como amolados, recargues, apriete de sujeciones, sustitución de pequeño material, todo ello implantado en un modelo de mantenimiento oportunista, es decir, mientras no haya ninguna interferencia con las circulaciones o con los usuarios.

Con el objetivo de optimizar los recursos y el espacio, la idea es que el mismo robot o plataforma que realiza la operación de inspección sea capaz de ir a su estación base y escoger en función de la operación que debe realizar la herramienta o útil apropiado.

### Ejemplo de operación de mantenimiento de vía por plataforma autónoma

La plataforma autónoma es avisada de que, gracias al estado de ocupación de las vías, puede salir a hacer una inspección de la vía 2 durante un cierto espacio de tiempo, concretamente una hora, hasta que llegue el próximo tren.



Figura 82. Plataforma autónoma de inspección, Proyecto DG RAIL

Una vez realizada la inspección la plataforma autónoma ha detectado que hay un patinazo en la vía 2 hilo derecho en el punto kilométrico 1+150 que necesita ser amolado. La propia plataforma conectada con el puesto de mando solicita permiso para proceder al amolado, ya que una vez evaluado el tiempo de intervención no ve interferencias con la llegada del próximo tren.

La plataforma de inspección vuelve a su base y gracias a la cabeza Plug and Play que porta y escoge la herramienta de amolado.

La plataforma vuelve a la zona de actuación donde solventa la incidencia, en función de los parámetros registrados durante la fase de inspección, y se retira comunicando el final de los trabajos al centro de mando, la base de cada plataforma tendrá varias herramientas a poder elegir.

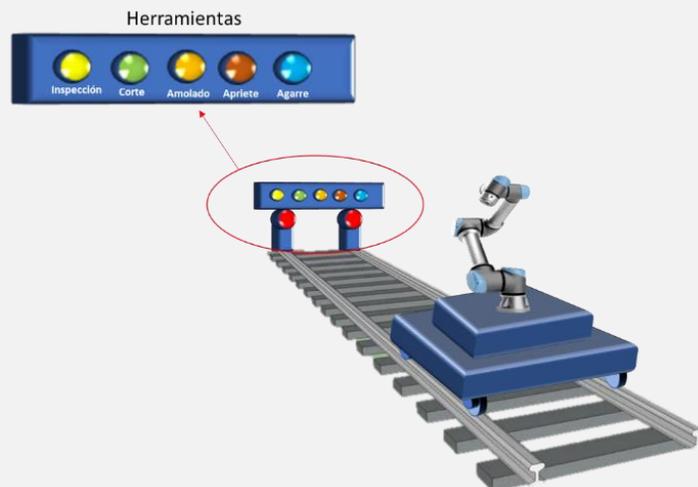


Figura 83. Detalle Plug and Play, plataforma de mantenimiento e inspección

La plataforma de inspección y mantenimiento podrá invernar en un espacio habilitado tras las toperas y a la espera que se le programe una nueva misión.



## 6.4. Vigilancia

En la actualidad se utilizan cámaras fijas para realizar las tareas de vigilancia y seguridad de instalaciones. Ya se les está dotando de algoritmos de IA para detectar personas, animales, vehículos, etc. En el futuro se combinarán este tipo de cámaras con vehículos que las embarquen para que, con este tipo de algoritmos más avanzados, realicen tareas que en el momento no se están ejecutando.

Se trata de la detección de personas sin acceso a áreas restringidas o personas en búsqueda, niños perdidos. Tras detectarlos un robot se desplazará al lugar o le hará un seguimiento para no perderlo de vista de forma que interactúe o no con la persona/objeto implicado, avisando al personal necesario implicado en la tarea.

Para ello la miniaturización será clave en este aspecto.



Figura 84. Ejemplos de robots de vigilancia

## 6.5. Asistencia al usuario

Uno de los usos que en ciertos países asiáticos ya se está empleando es el uso de robots para la asistencia al usuario en distintos lugares, ya sean bares, restaurantes, aeropuertos, estaciones de metro/tren, etc.

Esto es ya una realidad, por lo que la tendencia es que vaya evolucionando en este sentido y realicen labores que en la actualidad realiza personal o máquinas fijas. De este modo, los robots podrán dar un servicio más personalizado y en cualquier lugar. Pudiendo atender a cualquier usuario, esté donde esté.



Figura 85. Ejemplos de robots de asistencia al usuario

# 7. GESTIÓN de catástrofes

## 7.1. Nota previa

El texto que se expone a continuación recrea las acciones de un equipo de gestión de estaciones ante una hipotética emergencia por inundaciones en el año 2050. Los nombres, cargos y situaciones descritos no son reales y las imágenes han sido creadas con algoritmos de Inteligencia Artificial en base a conceptos y entornos aproximados, por lo que cualquier parecido con la realidad es mera coincidencia.



## 7.2. Gestión de catástrofes: inundaciones

- Buenas noches, Luis, disculpe que le despierte, pero se nos están inundando los túneles y pronto también la estación -la voz de Mario, el supervisor del turno de noche resuena al otro lado del teléfono. – Las lluvias de esta noche están superando todos los pronósticos.

- ¿Se nos están inundando los túneles? – repite Luis, director de la estación, mientras enciende la luz de la mesilla de noche - Envíame la lectura de los sensores. ¿Está al corriente el Puesto de Mando para que detenga todas las circulaciones?

- Sí, contesta Mario – También he cortado toda la corriente eléctrica salvo las luces de emergencia y voy a acotar esta zona por si se acerca algún curioso.

- Perfecto. Gracias Mario – contesta Luis mientras se levanta de la cama. – Voy para allá.

-Maldito cambio climático -piensa para sus adentros mientras se viste con el mismo vaquero del día anterior y una camisa nueva que saca de su armario.

- Mario, estoy en un taxi, de camino. Una pregunta: ¿los datos de los caudalímetros son correctos? Nunca había visto estos niveles.

- Sí, jefe, los sensores son correctos. Los acabamos de revisar. Y va a peor. - contesta Mario claramente alterado. – Espera, te cambio a videollamada y así lo ves en directo. Luis observa a Mario a través del teléfono, que se encuentra en el inicio del túnel 4. – Mire jefe – dice Mario apuntando a la entrada del túnel - el problema es que los colectores no pueden evacuar más agua. Mario centra la cámara en la acumulación de agua de la entrada y el interior del túnel al fondo. – Hace cinco minutos este charco no existía.

- Muchas gracias, Luis. – Toma por favor un video 360º de la zona y lo subes al sistema. Luego dirígete a la estación. Nos vemos allí.

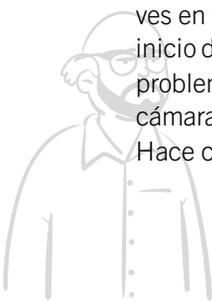


Figura 86. Simulación conversación entre Mario, supervisor turno de noche y, Luis, director estación



Los colectores son unas tuberías que discurren por debajo de la plataforma y que recogen el agua que no pueden evacuar los aliviaderos a la entrada de los túneles, y se filtra al túnel desde el exterior. Los aliviaderos y colectores están dimensionados para recoger los caudales de diseño para la precipitación máxima diaria calculada para diferentes períodos de retorno, mayores de 100 años, casi la peor de las tormentas imaginable. Sin embargo, los datos de tormentas de finales de los 90 no contemplaban el efecto climático actual, donde casi todos los años se bate el récord de precipitación horaria y acumulada en 24 horas del año anterior.

Figura 87. Recreación de inundación en túnel

Luis accede con la PDA al Sistema de Gemelo Digital de la estación y, a través de la voz, abre una emergencia de inundación a la que le incorpora los datos de los sensores y la video conversación con Mario. El sistema le sugiere avisar a los responsables de todas las áreas implicadas. Luis acepta y el sistema automáticamente contacta con ellos telefónicamente convocándoles a una reunión virtual urgente. Por último, verifica que el Puesto de Control está avisado y el Sistema Eléctrico desconectado.



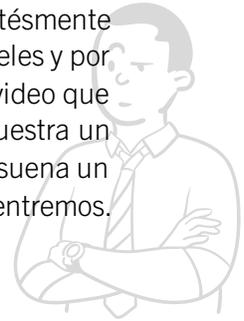
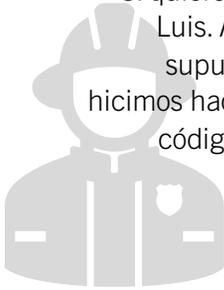
El taxi llega a la estación bajo una intensa lluvia. Las luces de emergencia de varios coches de bomberos iluminan la fachada principal.

- Buenos días, soy Luis Urquía, director de la estación – dice presentándose al bombero con dos franjas rojas en su casco.

- Buenos días, señor Urquía, soy Andrés Mérida, Jefe de Equipo de la Brigada 11 de bomberos. Hemos recibido señal de alarma por inundaciones de los sensores de su estación. ¿Cómo está la situación?

- Todavía lo estamos analizando. Los colectores de la boca norte no dan abasto y el agua ya se acumula sobre la plataforma y discurre en dirección a la estación. Es cuestión de tiempo que la estación quede anegada.

- Si quiere le puedo dar acceso al Gemelo Digital de la estación. – dice cortésmente Luis. Ahí tendrá toda la información del vestíbulo, los andenes, los túneles y por supuesto de las vías de evacuación del agua. También encontrará el video que hicimos hace apenas 15 minutos de la boca norte. – Luis abre su móvil y muestra un código QR al Jefe de Brigada, que escanea con su teléfono hasta que suena un pitido. - Listo, entremos.



*Figura 88. Simulación conversación entre Luis, director estación y, Andrés, jefe de bomberos*

Luis y Andrés entran juntos a la estación y cruzan el vestíbulo principal en dirección a los andenes. El agua ha anegado ya las vías y amenaza con alcanzar el suelo de la estación, lo cual afectaría al vestíbulo, a todas sus tiendas y por supuesto al aparcamiento subterráneo.



- Empezaremos por instalar las bombas de achique - dice Andrés mientras da una orden a un compañero que camina junto a ellos.

- Luis asiente con la cabeza mientras toma un video de la escena y lo sube al sistema – Si me disculpa debo reunirme con mi equipo. Si necesita algo ya sabe dónde encontrarme – dice mientras se dirige a su despacho ubicado en la primera planta.





Luis entra en su despacho dejando la puerta abierta y se dirige a la esquina junto a la ventana, donde se coloca unas gafas de Realidad Virtual.

Las gafas reconocen su iris y automáticamente se conectan al Gemelo Digital de la estación. Una ventana emergente le anuncia que ha comenzado una reunión y se une. Cinco personas se encuentran ya en la sala virtual esperando.

- Buenos días a todos – comienza Luis. Siento despertaros de madrugada, pero tenemos una emergencia. Como podéis ver en las imágenes se nos está inundando la estación. El agua está entrando por la boca del túnel 4. Se supone que esta intensidad de precipitación no podía pasar ni en 100 años – resopla muy sorprendido. – Bueno, el Centro de Mando está avisado y el circuito eléctrico interrumpido. – ¿Preguntas?

- ¿Qué previsiones de lluvia tenemos? – Pregunta el Jefe de Operaciones.

- Espera, lo cargo – dice Luis mientras vuelca la información de las estaciones meteorológicas cercanas a la sala virtual – Parece que la situación no va a cambiar al menos durante 24 horas. – Resopla – Los bomberos ya están achicando agua, pero no creo que las bombas que utilicen tengan capacidad suficiente. ¿Alguna idea?

- Sugiero repasar todo el sistema de evacuación de agua de lluvia – dice el Jefe de Mantenimiento. – Tal vez se nos ocurra algo.

Los planos en 3D de los túneles y de la estación se muestran delante de todos los asistentes. Los planos empiezan a girar sobre sí mismos hasta que uno de ellos levanta la mano y lo para.

- ¿Podéis cargar la red de alcantarillado de la ciudad? – Pregunta Luis al equipo.

La red de alcantarillado se muestra en color amarillo delante de todos y se solapa con los planos de los túneles y la estación.

- ¿Alguien observa algo? – pregunta Luis. - Buscamos cualquier cosa que nos permita evacuar agua a la red de alcantarillado. Tuberías obsoletas, embovedados antiguos, lo que sea.

Un silencio sepulcral invade la sala virtual. Seis avatares interactúan con los planos desde todos los ángulos posibles. Algunos solapan modelos digitales de obras pasadas. Otros recorren metro a metro el recorrido del agua. Uno de ellos revisa los últimos datos suministrados por los sensores.

-Luis, tengo algo – el Jefe de Oficina Técnica interrumpe el silencio. – Ignoro si tiene sentido, pero es una opción.

- Compártalo con todos, por favor.

Figura 89. Simulación conversación entre Luis, director estación y resto equipo técnico

Los planos en 3D de la sala se desvanecen dejando únicamente un pequeño rincón de la estación: los aseos del personal de servicio del andén número 1.



– Fijaros, aquí apenas hay 40 centímetros de distancia hasta la red de alcantarillado con unos colectores de dimensiones considerables que quedaron inutilizados cuando se ejecutó la estación. Conectan con un arroyo cercano que se encauzó debidamente hace unos años y desembocan con altura suficiente de manera que no entre el agua en dirección contraria. – Si hiciéramos una perforación en el suelo podríamos evacuar por ahí.

Se hace de nuevo el silencio.

Luis se retira las gafas de realidad virtual un instante y mira por la ventana hacia los andenes. Los bomberos están empezando a achicar agua mientras ésta ya ha empezado a anegar el vestíbulo. Desplaza su mirada hasta el final del andén 1, donde el agua ya supera un metro de altura.

- A este paso, en un par de horas esa zona estará inundada. Si nos demoramos mucho en tomar una decisión, ya no se podrá demoler por el lado interior de los aseos.

- ¿Podemos hacer una simulación de los trabajos que habría que hacer? Incluyamos la parte de costes, quiero saber de qué estamos hablando, aunque seguro que el coste es mínimo si lo comparamos con los daños que se pueden producir.

El Jefe de Explotación abre varios desplegados y empieza a seleccionar algunos comandos: perforación de materiales, imposibilidad de usar maquinaria pesada, sólo herramientas ligeras, trabajos topográficos previos para delimitar áreas de actuación, equipos de protección contra gases por las efluvios de las aguas residuales, etc.

- De 6 a 8 horas de trabajo si consiguiéramos todas las máquinas y equipos. El cierre que se realizó aparece en los planos definitivos de ejecución (as built) como de fábrica de bloque y revestimiento cerámico. No hay hormigón, salvo sorpresas – concluye.

- El coste no es elevado, podemos utilizar la partida de imprevistos y emergencias. Debería ser suficiente – dice el Jefe de Gestión Presupuestaria. – Pero hay un problema adicional, hacer algo así nos llevaría meses sólo con la obtención de permisos.

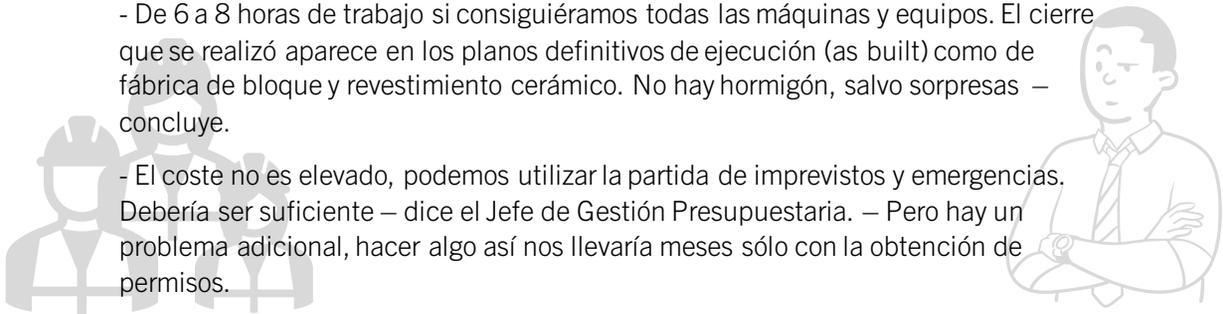


Figura 90. Simulación continuación conversación entre Luis, director estación y resto equipo técnico

Unos golpes en la puerta del despacho interrumpen la reunión. Luis se quita de nuevo las gafas.

– Luis, la prensa ha llegado a la estación. Quieren hacerle una entrevista – dice la Jefa de Comunicación.

-Adela, no esperaba que estuviera por aquí, pero me alegro de verla. – Ahora no puedo atenderles. – ¿Puedes encargarte tú? Necesitamos tiempo, estamos evaluando opciones. Ah, por cierto, en un rato abrirán los matinales. Tal vez deberíamos adelantarnos y preparar algo, que no nos coja desprevenidos.

- Sí, claro Luis. Yo me encargo. – concluye Adela mientras cierra la puerta del despacho.

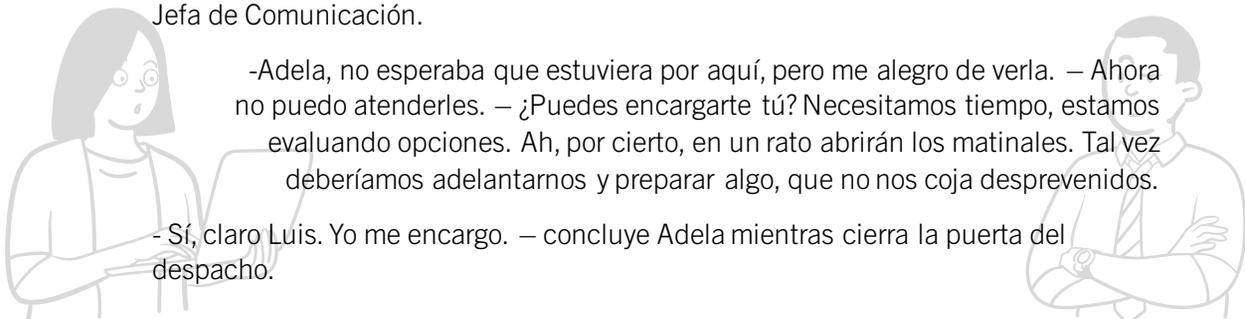


Figura 91. Simulación conversación entre Luis, director estación y, Adela, jefa comunicación



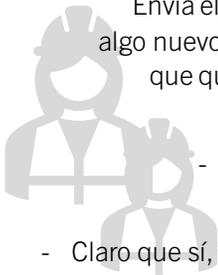
- ¿Dónde estábamos? – pregunta Luis mientras se incorpora de nuevo. Ah sí. Máquinas y equipos. ¿Podemos mirar en almacén y ver qué nos falta?

El Jefe de Mantenimiento despliega la lista de almacén y la cruza con la lista de necesidades.

- Nos faltan los taladros y los equipos de protección. El resto lo tenemos.

- Un nuevo plano de la zona se despliega ante el equipo mostrando todos los locales comerciales de los barrios próximos a la estación. Dos de ellos se iluminan en color rojo. – Voy a revisar si tienen en stock. Un segundo. - El sistema se pone unos segundos en espera mientras la información se actualiza. - Los martillos sí están en stock. Y los equipos también.

- Bien, vamos a organizarnos. -Pedro, encárgate de los proveedores. Despiértales, ve a sus casas, lo que sea, pero consigue esos equipos. - María, revisa el procedimiento de nuevo. - Ainhoa, busca un plan B por si este falla. Envía el reto a Railway Innovation Hub y a la PTEC a ver si nos pueden ofrecer algo nuevo. Dale prioridad máxima. - Igor, elige a dos de tu equipo y explícales lo que queremos hacer. Que se preparen. -Volvemos a hablar en 30 minutos – concluye Luis mientras se quita las gafas y coge el teléfono.



- Adela, necesito línea directa con el máximo responsable de la red de alcantarillado. ¿Te puedes encargar?

- Claro que sí, te lo muevo – contesta Adela.

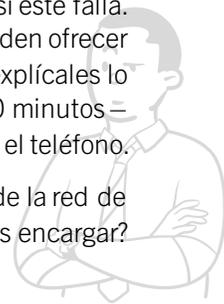


Figura 92. Simulación continuación conversación entre Luis, director de la estación y resto de equipo técnico

Luis desciende a la planta principal y se dirige a Andrés, Jefe de Bomberos. – Andrés, ¿cómo van las bombas?

– Bien, Luis, pero no va a ser suficiente. – Entra mucha más agua de la que evacuamos y el resto de las bombas están trabajando en otros puntos de la ciudad.

- Luis expone el plan a Andrés. – Sé que es una locura, pero ahora mismo no tenemos nada mejor. – Tal vez te pueda ayudar – responde Andrés. – Hace tiempo hicimos algunas actuaciones en el alcantarillado. Conocemos esa zona y el director es un viejo amigo. Ahora mismo le llamo y os acompaño a las cloacas

– Fantástico – replica Luis – toda ayuda es bienvenida.

- Suena el teléfono. Es Ainhoa. – Luis, el sistema de respuesta automática de Railway nos plantea una alternativa: hidrodemolición con robot teledirigido. – Explícate, Ainhoa – contesta Luis. Con la hidrodemolición podríamos demoler la fábrica de ladrillo rápidamente con agua a alta presión. Con la presión suficiente el agua es capaz de demoler incluso hormigón. Y además no hace falta que haya ningún operario en las alcantarillas, lo haríamos por control remoto con un robot. – El agua la cogeríamos del coche de bomberos, mediante manguera. - Además la empresa está ahora mismo haciendo unos trabajos de hidrodemolición en un edificio antiguo.



- Contacta con ellos, Ainhoa. Explícales la situación y diles que vengán, que se trata de una emergencia.

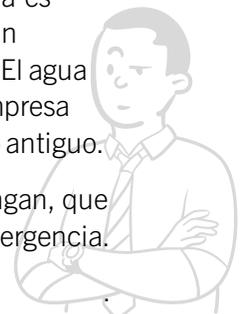


Figura 93. Simulación continuación conversación entre Luis, director estación y, Andrés, jefe bomberos



El agua anega en ese momento todos los andenes. Las barreras de contención de agua montadas por los bomberos evitan que los locales más cercanos se inunden, pero empiezan a presentar los primeros problemas de fatiga.

- Adela se aproxima a Luis. - Nos ha llamado el director de la red de alcantarillado y nos ofrece su ayuda. Le he contado la situación y dice que no hay problema siempre que nos encarguemos nosotros de las reparaciones posteriores.

– Bien Adela, muchas gracias.

Suena el teléfono. Es Ainhoa para actualizar información sobre la hidrodemolición? - Esta noche han estado trabajando y estaban recogiendo. Les he pedido que se acerquen y deben estar al caer.

– Buenas noticias – replica Luis. – Coordínate con Andrés, de los bomberos para acceder a la zona de trabajo y que le echen un vistazo.

Luis hace una pausa en el baño antes de volver al despacho.

– Bien, ¿novedades? - Dice dirigiéndose a su equipo en el mundo virtual.

- No tenemos buenas noticias, Luis. – No conseguimos contactar con los proveedores. – ahora mismo no tenemos ni máquinas ni herramientas. Y faltan varias horas hasta que abran.

-Entonces me temo que nuestra opción ahora mismo es la hidrodemolición – sentencia. – Seguid intentándolo. Cualquier novedad me llamáis.

Luis se reclina sobre su silla de escritorio y respira profundamente en tres ocasiones. A continuación, abre su ordenador y dedica unos minutos a revisar la bandeja de entrada de su correo electrónico. El silencio del despacho se ve interrumpido por una llamada entrante.

- Los de hidrodemolición dicen que pueden hacer el trabajo – dice Ainhoa desde el otro lado del teléfono. Ya he hablado con Pedro sobre el presupuesto y está ok. Y pueden empezar ahora mismo. ¿Lo activo?

Luis vuelve a reclinarsse y por primera vez en el día sus músculos se destensan.

- Adelante, Ainhoa. Que empiecen.



Figura 94. Simulación final de la conversación entre Luis, director de la estación y, resto de equipo

## 8. GESTIÓN de la información. IoT & open data

### 8.1. IoT. Sistemas colaborativos

En este apartado se exponen los sistemas de trabajo colaborativos con actualización y analítica de datos en tiempo real (pasajeros, energía, calidad del aire, operaciones ferroviarias, temperatura, sensores instalados, cámaras, etc.)

Cada vez está más normalizado el despliegue de aplicaciones y servicios en la nube, pero en sectores en los que la seguridad de la instalación prima no es algo tan común; por ejemplo, el caso de los telemandos que controlan las instalaciones en los metros: la forma que tienen de garantizar la seguridad de la instalación de posibles ciberataques es aislando la propia instalación (son redes sin conexión a internet). Esto genera un problema, ya que se es menos ágil tomando decisiones en base a los datos.



Además de lo anterior, esto lleva implícito la pérdida de capacidad de automatización. Imposibilita que una compañía pueda tener un enfoque data-drive porque no se pueden crear pipeline de datos ya que hay que estar realizando volcados manuales, con el consecuente error humano que se puede cometer.

Hay que destacar que las principales ventajas al desplegar estos sistemas en la nube son:

- La disminución del coste económico por beneficiarse la nube de las economías de escala frente al coste de explotación de estos sistemas en la propia instalación física.
- La externalización de la seguridad de la instalación al proveedor de la nube.
- La posibilidad de tener una cultura data-driven en la organización permite la posibilidad de conectar plataformas como Databricks, Snowflake, Qubole ... (son plataformas que mantienen y dan servicio al ciclo de vida completo de los datos desde el pretratamiento hasta la visualización y toma de decisión). Estas plataformas son nativas de la nube y esto facilita mucho la conexión nube contra nube en comparación al despliegue de la misma arquitectura on-premise.

Lo descrito en los párrafos anteriores junto a la comunicaciones o conectividad que se tendrá en el futuro que serán superiores al 5G (esta ya es una realidad), va a permitir que los sensores/dispositivos se comuniquen entre ellos (de forma mucho más rápida y con menor consumo de energía) esto generará el desarrollo masivo del Internet of things (la convergencia del internet de las cosas y el 5G). Las estaciones estarán mucho más sensorizadas de lo que lo están actualmente y toda esa adquisición de datos va a permitir el desarrollo de nuevos servicios de información hacia el cliente en tiempo real.

Resumiendo, el avance tecnológico va a producir un cambio en el paradigma tanto desde el punto de vista del funcionamiento de los sistemas (va a permitir interactuar con ellos de un modo diferente al que se viene haciendo) y a nivel de su arquitectura tecnológica.

Estamos aquí:

- **Fase 1 - On-premise.** todos los equipos están instalados/mantenidos en la propia instalación, no hay externalización de la arquitectura tecnológica y se ve muy afectado por la obsolescencia. Se puede decir que la mayoría de las instalaciones ferroviarias se encuentran aquí.
- **Fase 2 – Cloud computing.** Se empiezan a contratar servicios o despliegues de recursos informáticos/tecnológicos en la nube. En la actualidad ya se contempla casos de uso, como por ejemplo el primer enclavamiento digital en la nube en el suroeste de Europa realizado por Siemens Mobility para los Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya.



Posiblemente vayamos a:

- **Fase 3 – Edge computing.** La futura conectividad permitirá el desarrollo de este paradigma. En resumen, lo que hace es introducir una capa intermedia de capacidad de cómputo (en la imagen referenciado como Edge Infrastructure) entre el cloud computing que se conoce (en la imagen referenciado como Centralized Cloud) y la IOT (en la imagen referenciado como: Edge Devices y Edge Sensors & Chips).



# From edge sensors to the centralized cloud

The edge computing ecosystem is comprised of four primary areas

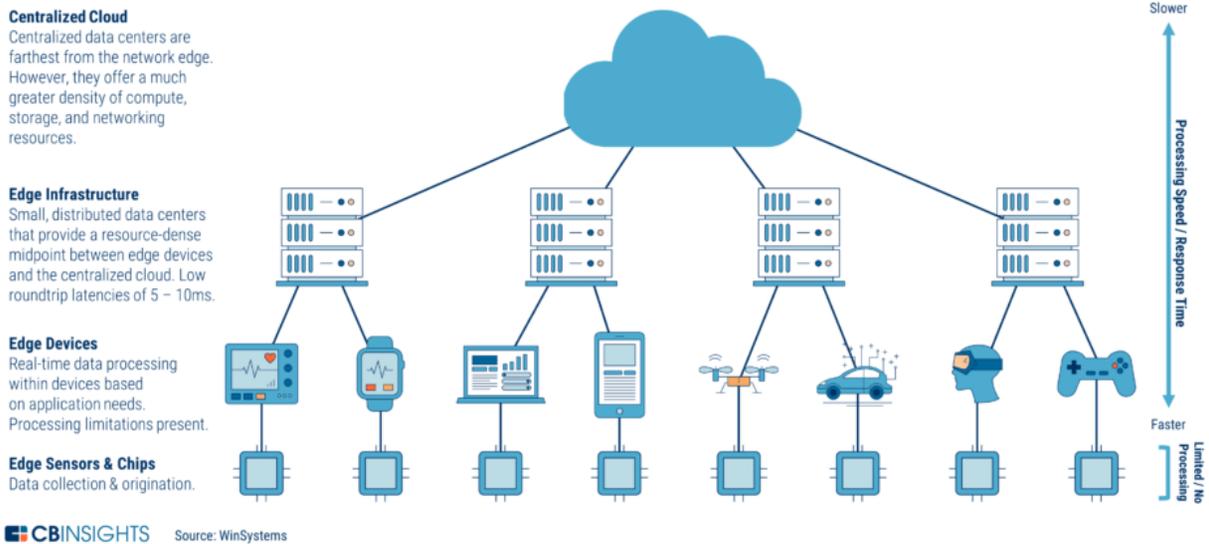


Figura 95. Ejemplos de arquitectura Edge Computing

## 8.2. Información abierta entre pasajeros, operadores, mantenedores y administradores

Enlazando los puntos anteriores se expone un ejemplo simplista de cómo podría ser la experiencia de los usuarios gracias a estos avances.

Imagínese los trenes y las estaciones como unidades independientes de IOT cada una por separado (esto es una abstracción demasiado exagerada y es para entender que la IOT se aplicará de forma más granular por sensores o dispositivos como se ha descrito anteriormente).

Un cliente del futuro accederá a la estación con su Smartphone o Smartglasses (estos previamente habrán realizado algún tipo de registros sobre el sistema de pago basado en blockchain) y en el momento de acceder a la zona donde se va a realizar el viaje, se hará una transacción en la blockchain de forma automática sin necesidad de hacer nada más.

El dinero estará disponible en la cuenta de la organización con la mayor trazabilidad y de forma instantánea (no habrá que hacer la recaudación y recarga de las máquinas expendedoras y todo lo que conlleva) y se eliminan barreras físicas como pueden ser las alineaciones de canceladoras actuales.

Mientras el cliente espera la llegada del tren este podrá recibir de la IOT de los trenes el grado de confort de los próximos trenes y decidir si sube o espera al próximo porque tenga unas condiciones de confort superiores.

Por otro lado, el pasajero podrá recibir información de los servicios de contenidos que puede hacer uso durante su espera. De la misma manera que cuando se viaja en AVE o avión se tiene la posibilidad de ver una película porque da tiempo para ello, en el caso de un metro se podrá emitir en algún tipo de plataforma de contenido streaming que haga más agradable la espera en la estación. Por ejemplo: en Metro de Málaga se hace un concurso de microrrelatos "100 palabras en un metro". Dichos contenidos podrían estar a disposición del pasajero para acompañarle en su espera o mientras realiza el viaje.

## 9. GESTIÓN de la información. Blockchain & MaaS

### 9.1. Información segura mediante blockchain

Blockchain es un conjunto de registros (bloques) que se entrelazan unos con otros (cadena) formando un conjunto cifrado de datos que se despliega sobre una red descentralizada. Mediante una arquitectura criptográfica, la información vertida en los bloques se codifica, generando un "hash".

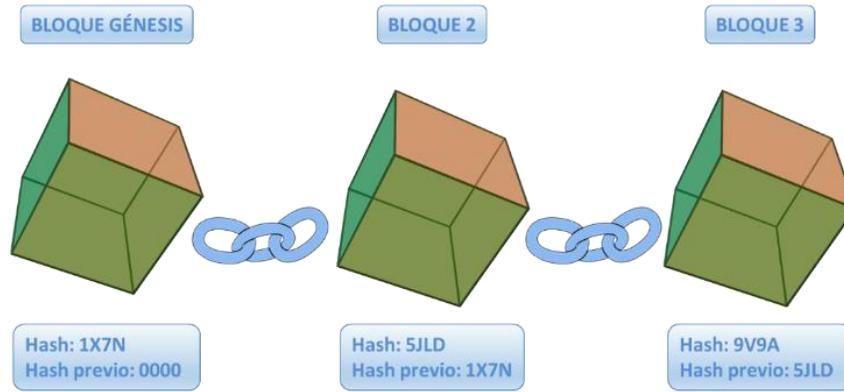


Figura 96. Estructura de una red Blockchain

### Hash

Un algoritmo hash es una función de una sola vía que genera una combinación alfanumérica de longitud fija a partir de unos determinados datos de entrada que, generalmente, es mucho más pequeña que los datos originales.

Tienen resistencia a colisiones, lo que significa que la probabilidad que generar los mismos resultados con datos de entrada distintos es infinitesimal. Esta generación de datos se obtiene mediante técnicas criptográficas y criptoanálisis. El más mínimo cambio en los datos de entrada genera un hash muy distinto.

Dos de los algoritmos hash más comunes son MD5 (Message Digest Algorithm 5) y SHA (Secure Hash Algorithm) y, aunque no se detalle el funcionamiento de cada algoritmo de hash sí que se ejemplifica la extrema sensibilidad que tienen ante cambios en los datos originales:

Si se usa el algoritmo SHA-256 (64 caracteres hexadecimales) como dato de entrada en la siguiente frase: “En Las Vegas no hay Blackjack, solo se juega al cinquillo”, el algoritmo genera como respuesta el siguiente hash:

`“18e181e6c836916d41946812eff31f3d848fc13c10c1f350721f98db831c1c42”`

Modificando cualquier elemento de entrada (en este caso se ha añadido un punto al final) el algoritmo genera un hash completamente distinto.

Dato de entrada: “En Las Vegas no hay Blackjack, solo se juega al cinquillo.”

Se obtiene el hash:

`“37c6ee9abcf01a1072ae568e6455e649791e755a4092dd0d06c343e60c1f90ec”`

Como se aprecia, el resultado no se parece en nada al anterior, lo que lo confirma como un gran detector de cambios.

### Encadenamiento

Los bloques contienen su propia información (en forma de transacciones) y el hash del bloque inmediatamente anterior. Con ello, se genera el propio hash del bloque.

Esto implica que los bloques están relacionados entre sí (encadenados), lo que supone que la información que registran es inalterable e inmutable, ya que una mínima variación en uno de los bloques rompería por completo la estructura de la totalidad de la cadena, volviéndose inconsistente y certificando que ha habido una manipulación. De aquí se deriva la denominación de “Cadena de Bloques”.



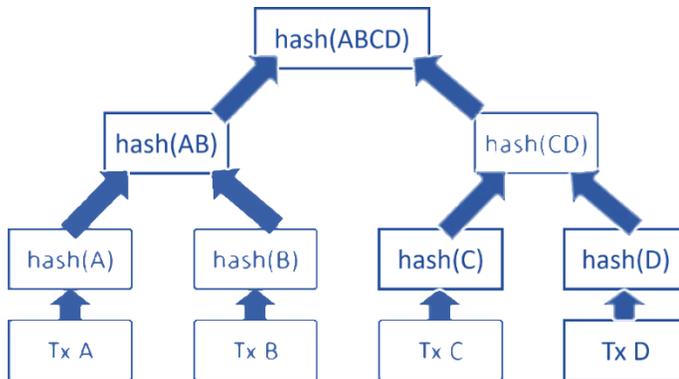
Figura 97. Datos de un bloque de una red Blockchain



### Árbol de Merkle

El Árbol de Merkle es una estructura de la que salen dos ramas de cada nodo de unión (arbol binario) y cada nodo tiene su código hash formado por las ramas que confluyen en él.

Aunque puede sonar complejo, es muy fácil de comprender con una apreciación visual como la de la imagen.



En la raíz del árbol se tienen los hash correspondientes a los datos de cada transacción (información) y estas se heredan a los datos de los nodos superiores, y a su vez, en los nodos superiores a estos, el hash es la suma de los nodos hijos. De esta manera, se tiene un código que garantiza que la información de los nodos que están por debajo no ha sido alterada.

Figura 98. Estructura del Árbol de Merkle

Uno de los usos de un árbol de Merkle es que permite aportar una estructura de relación entre nodos o bloques. Esta estructura facilita el que no haya información duplicada en diferentes bloques, quedando ésta sustituida por el “enlace” al nodo que la contiene

Ahora que se ha detallado lo que son los hash, los bloques encadenados y los árboles de Merkle, se verá cómo todo eso ello servirá en aplicaciones y mejoras para la movilidad.

## 9.2. Gestión de pago mediante Blockchain

Blockchain es una tecnología incipiente pero ya están surgiendo aplicaciones y muchas de ellas en el sector de la banca o financiero por las bondades que esta tecnología ofrece, entre otras: son muy seguras, descentralizadas y permiten acuerdos más rápidos (los sistemas bancarios tradicionales son bastante lentos, a veces puede llevar días procesar una transacción después de finalizar todas las liquidaciones).

Es muy probable que sobre esta tecnología se desarrolle una plataforma de pago que servirá para gestionar los pagos que se realicen a través de una web o aplicación dedicada a “MaaS” (en inglés, Mobility as a Service).

## 9.3. Mobility as a Service (MaaS)

“MaaS” permitirá utilizar distintos modos de transporte ya sean estos públicos o privados, mediante un sitio web o aplicación única. Esta se encargará de: gestionar el viaje, el cobro al cliente y a su vez de realizar el pago del servicio prestado a cada uno de los proveedores de transporte que el cliente haya usado en el viaje.



Figura 99. Modos de transporte público (izda.); ejemplo servicio Maas (drcha.)



Se expone a continuación cómo sería su uso. Un cliente previamente dado de alta en este servicio consultará el viaje que quiere realizar (dando el origen y el destino) y la aplicación de “MaaS” le devolverá en el momento de la consulta los modos de transporte existente para realizar su viaje y en el caso que el cliente acepte dicha ruta comenzará su viaje.

El servicio de “MaaS” le irá guiando (como actualmente puede ser Google Maps) y le cargará un pago único por el viaje y este se encargará de pagar a cada uno de los medios de transporte que se hayan visto involucrados en el viaje. El cliente se despreocupará por tanto de las posibles gestiones que puedan darse alrededor de la obtención de un billete o título de viaje, él realizará su viaje de principio a fin con tantos modos de transporte como sea necesario y la aplicación de “MaaS” gestionará el resto.

En el caso que uno de los modos de transporte utilizados por el cliente sea un metro en el momento de acceder a la estación el dispositivo del cliente vinculado a la blockchain generará una transacción en la red de forma automática y no tendrá que hacer nada más. Esta tecnología provocará la desaparición de las actuales expendedoras (máquinas donde se puede obtener los títulos de viajes o billetes) y canceladoras (alineación de máquinas que canjean los títulos de viajes o billetes).

Por nombrar algunas de las ventajas que aportará el uso de la blockchain sobre una estación:

- Las estaciones serán más accesibles. Tendrán menos barreras como puede ser la alineación de canceladoras
- Desaparecen los cuellos de botella que generan las expendedoras y canceladoras. Los clientes no tendrán que hacer cola o espera para la obtención de los títulos ni para entrar o salir de las estaciones al paso de la línea de cancelación
- Las estaciones serán más eficientes desde el punto de vista del consumo energético: para prestar un mismo servicio se necesitará menos energía al no tener máquinas expendedoras y canceladoras de títulos (también esto produce una disminución en los costes de mantenimiento de la estación al no tener estos equipos)
- Los costes operativos de las estaciones bajan debido a que desaparecen los servicios de carga y recogida del efectivo de las máquinas expendedoras de títulos. La liquidación es inmediata y los cargos se reflejan en las cuentas de usuario y del proveedor del servicio de transporte al instante

Por último, hay que decir que esta tecnología nace como sistema distribuido y se despliega sobre arquitecturas del tipo Cloud Computing.

## 10. GESTIÓN. El Metroverso

### 10.1. Nota previa

Con objeto de presentar este capítulo de la manera más didáctica posible se ha optado por simular la explicación de una persona que, viviendo en 2050 y siendo responsable del Metro de una ciudad, expone cómo ha sido el proceso que han realizado desde 2025 hasta 2050.

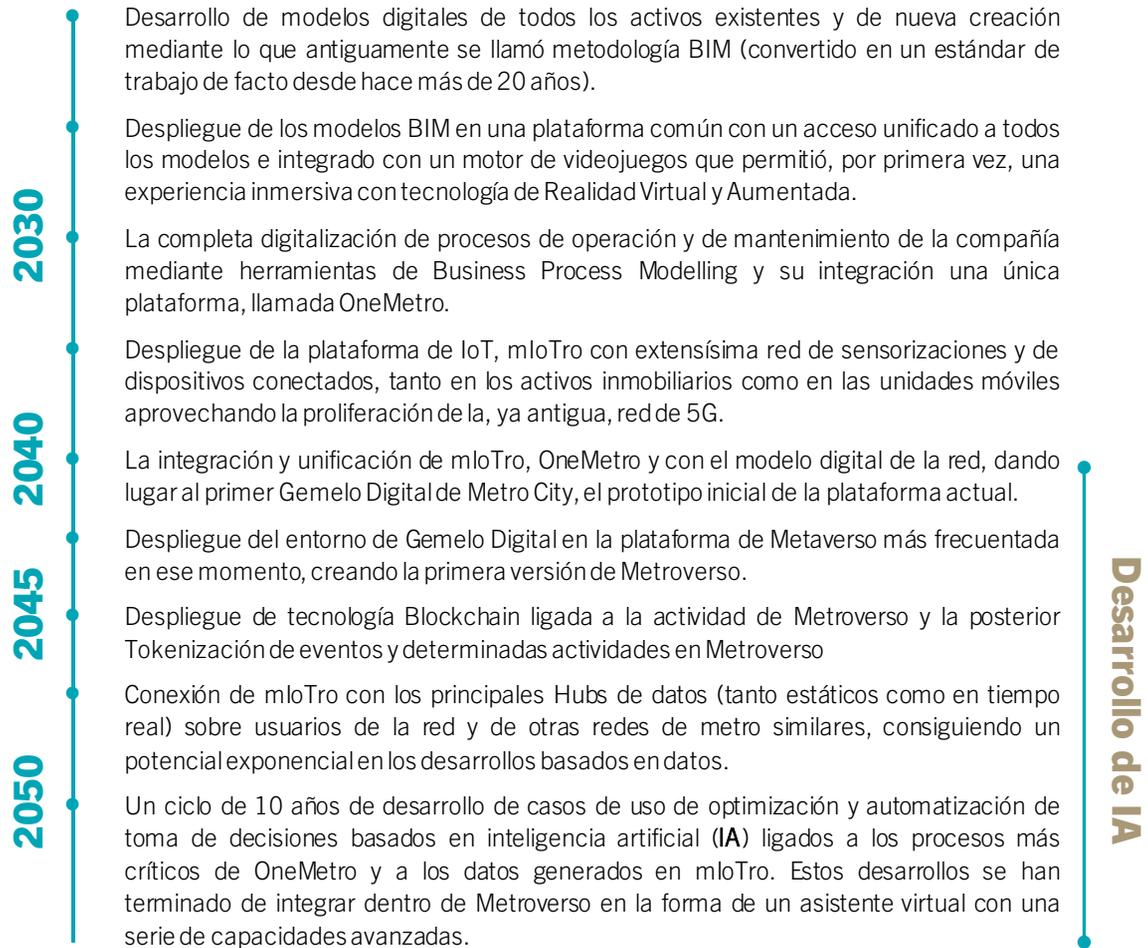
### 10.2. Introducción y objetivos

Año 2050. En la actualidad, el equipo de O&M de Metro City, y los usuarios en general, disponen de un modelo digital de toda la red en la plataforma del metaverso, se llama METROVERSO.

Esta plataforma tiene acceso público para unos casos de uso determinados: planificación de rutas internas, eventos virtuales organizados por la empresa del Metro, etc. pero, sobre todo, se dedica a casos de uso de acceso privado. Estos casos de uso internos han contribuido notablemente a una gestión cada vez más eficiente de los recursos de Metro City y, a su vez, a una experiencia de usuario cada vez más satisfactoria.



### 10.3. Cronología de eventos clave



### 10.4. Contribución a la Smart City de nuestra ciudad

A su vez, esta plataforma se integró gradualmente con el entorno CITYVERSO, herramienta clave en la iniciativa de SmartCity de nuestra ciudad. Esta plataforma global es la base de la gestión conjunta de todas las entidades públicas de la ciudad. Su impacto general ha tenido una doble incidencia:

- La que redundo en el entorno real, ya que ha posibilitado una coordinación nunca vista entre todos los agentes de la ciudadanía, consiguiendo eficiencias destacadas en los recursos necesarios para la gestión de servicios públicos, contribuyendo a una mayor calidad de vida, menor contaminación y mejor eficiencia energética, etc.

Estas mejoras se han debido principalmente a:

- Reducción de la necesidad de movilidad urbana, fomentando la interacción social, de ocio y laboral en el entorno digital del metaverso
- Posibilitando la movilidad urbana mediante la tecnología de vehículos conectado
- Reducción de la siniestralidad y niveles de delincuencia en las calles
- Reduciendo los inconvenientes provocados a la población por incidentes no planeados, gracias a la predicción de respuestas óptimas basadas en IA
- Reduciendo inconvenientes para la población por eventos planeados (rehabilitaciones, obras, cortes de calles por eventos, etc.) debido a la posibilidad de planificación virtual y comparación de diferentes estrategias
- Reduciendo drásticamente la generación de residuos (reduciendo los eventos presenciales) y fomentando el tratamiento óptimo de los mismos gracias a la red IoT de sensores que



- detectan tipos de residuos, cantidad y optimizan la recogida de estos trasladándolos a las microplantas de tratamiento construidas por toda la ciudad
- Uso eficiente de iluminación, basado en predicción de densidades de personas, flujos, etc. que permite el almacenaje y distribución de la energía renovable generada por el sol en las áreas de demanda
- Además de otras múltiples posibilidades que han generado las tecnologías integradas en la plataforma de metaverso
- Redundando en el entorno virtual:
  - A su vez, se ha conseguido colocar a nuestra ciudad y CITYVERSO como uno de los destinos virtuales favoritos para los usuarios
  - Aumentando la inversión de entidades privadas en eventos y publicidad dentro del entorno de CITYVERSO o combinadas en experiencias físico-virtuales (basadas en realidad aumentada)
  - Consiguiendo una revalorización de los activos y tokens asociados del entorno de CITYVERSO
  - Contribuyendo al desarrollo de profesionales de hoy en día, con negocios y servicios centrados en el entorno virtual

Todo lo anterior ha redundado en una mayor capacidad de inversión, tanto en nuevos desarrollos digitales como en el entorno y servicios de la realidad física, convirtiendo a nuestra ciudad en la moderna capital global que es hoy en día.

## 11. MANTENIMIENTO. Operaciones de mantenimiento de Metro City

Los pilares en los que se fundamentan las labores de mantenimiento de hoy en día son las siguientes:

### Comportamiento autónomo para procesos de criticidad media y baja

El complejo entramado de sistemas descrito anteriormente permite el análisis, procesamiento y toma de decisiones autónoma (o con poca supervisión) en procesos de baja criticidad para la red. Se producen reajustes de configuraciones en los equipos en función de, por ejemplo, fuentes de energía disponibles, de las demandas esperadas, de posibles eventos externos como fugas de agua en los túneles, etc.

### Comportamiento semiautónomo

Se da un comportamiento semiautónomo para procesos críticos o en los que la IA no ha dado una respuesta adecuada aún: se opta por un control por parte de expertos asistido la IA de Metroverso para eventos de mayor importancia, como inundaciones, altercados públicos y otros casos en los que la IA no ha sido entrenada suficientemente.

### Conectividad total

Existe una conectividad casi total, se puede acceder al grueso de las funcionalidades de Metroverso desde cualquier lugar. Metro dispone de una red reducida de expertos en campos y tecnologías muy concretas que están fuera de la red con mucha frecuencia. A su vez, se dispone de una serie de dispositivos (drones) y de una serie de trabajadores especializados en labores de campo, sin conocimientos técnicos tan exhaustivos.

Los expertos son capaces de asistir a las unidades o el personal de campo mediante una experiencia inmersiva en la que se sitúan virtualmente en la zona de la incidencia y, a su vez, acceden a los datos necesarios en ese entorno virtual.

A la hora de tomar acción, en ocasiones se puede actuar de forma remota, mediante las opciones de configuración de CITYVERSO, pero otras veces se precisa de la asistencia en campo, por no existir aún esas opciones de tele configuración o por precisar de recambios. En estos casos, los especialistas de campo disponen de dispositivos de Realidad Aumentada mediante los cuáles pueden comunicarse con los expertos y



recibir instrucciones detalladas y otros datos de interés, sin dejar de percibir el entorno real.

La toma de datos de campo ya sea mediante un dron o mediante un trabajador, se realiza mediante dispositivos conectados, que vuelcan esos nuevos datos a los sistemas de Metroverso, para su procesamiento y realimentación/recalibración de la configuración de los activos que forman la red.

### **Planificación de eventos en base a escenarios de comportamiento virtuales**

Las tareas de mantenimiento planificadas (rehabilitaciones, limpieza), e incluso la planificación de nuevos proyectos de ampliación de la red, son un aspecto que ha mejorado considerablemente en la última década. Se basa en la simulación virtual de posibles alternativas de actuación, en las que se recrean tanto los posibles eventos propios de las tareas de mantenimiento como los comportamientos externos, como interacción de usuarios, afectación a otros medios de transporte y flujos en la ciudad. Además, se buscan soluciones de optimización de recursos materiales y de energía.

### **Utilización Óptima vs Máximo Nivel de Servicio**

Cada vez más, los desarrollos disponibles de IA permiten determinar de forma más precisa cuál es el nivel de servicio óptimo basado en la demanda actual y próxima de cara a maximizar la vida útil de los diferentes activos reduciendo su coste total de vida.

### **Tolerancia cero a riesgos relacionados con la salud y la seguridad**

Existe una conciencia común en la que se minimiza al máximo la exposición de cualquier persona a cualquier riesgo que tenga que ver con su salud o su seguridad, tanto para trabajadores como para usuarios en general. Se ha promovido el uso de drones, tanto autónomos como teledirigidos para la mayor parte de los trabajos de mantenimiento más peligrosos, así como las inspecciones en las que se requiere de la participación de un experto humano.

### **Enfocado a métricas de negocio corporativas**

Los regímenes y tomas de decisiones en cuanto mantenimiento de la red de metro son el resultado de un sistema sofisticado de Gestión de Activos, mediante el cual se consigue un desempeño (óptimo) concreto a cambio de los recursos disponibles en cada momento. Este óptimo se considera en base a las políticas de gestión y a los objetivos organizacionales marcados desde el órgano de gobierno y los “stakeholders” principales de Metro City. El cambio de estos criterios de gobierno conlleva cambios en los regímenes de mantenimiento, sin embargo, son mucho menos sensibles a los vaivenes políticos que puedan suceder en un momento dado. Esta circunstancia se produce por, por un lado, la disponibilidad de mayor nivel de información disponible para la toma de decisiones, también a alto nivel, y por otro, por la calibración intrínseca que busca siempre la forma óptima de cumplir con los objetivos globales.

## **12. Conclusiones**

Se entiende que la forma de realizar actualmente el mantenimiento sobre los activos ferroviarios ha evolucionado de forma exponencial desde el comienzo de la ruta marcada por la digitalización de los años 20.

En una sociedad cada vez más cambiante, con las consecuencias del cambio climático cada vez más evidentes y, que se ha enfrentado a una transición energética sin igual, la gestión de los medios de transporte públicos sería inviable sin una adaptación tan drástica y acertada como la que se ha sufrido.

Se entiende que se dispone de un sistema muy avanzado que, no obstante, está sujeto a ciertos riesgos, principalmente asociados con la ciberseguridad, el ciberterrorismo, los desajustes sociales, etc.

Se tienen los mimbres para seguir avanzando en este camino hacia la eficiencia y la huella de carbono positiva como principales metas de cara a las futuras décadas.



CI  
IA  
DOMA AEREA  
www.compra.es  
UNICOR  
COMPRAS  
AEREA

PARA LLEVAR  
TAKE-AWAY

MARION  
MARRON

El documento  
ha sido editado  
e impreso con  
el patrocinio  
de:





# ENERGÍA. INTEGRACIÓN DE SISTEMAS ENERGÉTICOS SOSTENIBLES

1. Introducción y objetivos.....	124
2. Análisis de las distintas fuentes de energía .....	126
3. Transformación digital.....	136
4. Flexibilidad energética .....	138

## COORDINADORES



## OTRAS ENTIDADES PARTICIPANTES



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

En colaboración con:





## 1. Introducción y objetivos

### 1.1. Análisis del contexto actual sobre el abastecimiento energético de la infraestructura ferroviaria

El contexto actual del suministro energético para infraestructuras ferroviarias se caracteriza por una creciente demanda de fuentes de energía más sostenibles y eficientes, impulsada por la preocupación por el cambio climático y la seguridad energética. Esto ha llevado a centrarse cada vez más en la electrificación y las fuentes de energía renovables para el transporte ferroviario.

El transporte ferroviario se posiciona como el transporte del futuro, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> por km y persona. El sistema de tracción ferroviaria por energía eléctrica es el medio de alimentación de unidades de transporte más limpio y sostenible que existe en la actualidad.

El ferrocarril presume de ser el medio de transporte más eficiente. En un contexto energético como el actual, los entes del sector siguen buscando soluciones para reducir su factura y para ello han lanzado una apuesta decidida por las energías renovables, con especial atención sobre la solar fotovoltaica.

Últimamente, las administraciones y compañías ferroviarias han seguido una estrategia de gestión sostenible de la energía, por el gran coste económico que supone y la necesidad de los operadores ferroviarios de posicionar el transporte ferroviario como la solución ecológica, enviando el mensaje de que es posible reducir el consumo energético aumentando el uso del ferrocarril en detrimento de otros modos.

Es por ello, que la eficiencia energética a través de una gestión sostenible en la operación, el desarrollo de la tecnología de almacenamiento de energía, tanto en la infraestructura como embarcada, y la regulación e implantación de redes eléctricas inteligentes, entre otros, son retos clave que continúan vigentes a pesar de los logros alcanzados en los últimos años.

Una de las principales fuentes de energía para la infraestructura ferroviaria es la electricidad. En muchos países, la electrificación de las líneas ferroviarias es cada vez más común, ya que ofrece una alternativa más eficiente y respetuosa con el medio ambiente que las locomotoras diésel. Es probable que esta tendencia continúe a medida que los gobiernos y los operadores de transporte intenten reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia energética de sus sistemas de transporte.

Las fuentes de energía renovables, como la eólica, la solar y la hidroeléctrica, también son cada vez más comunes en el sector ferroviario. Estas fuentes pueden utilizarse para generar electricidad para la infraestructura ferroviaria, ya sea mediante conexión directa a la red o mediante generación in situ. Además, algunos operadores ferroviarios están explorando el uso de trenes híbridos y pilas de combustible de hidrógeno como alternativa a las locomotoras diésel, lo que podría ofrecer una reducción significativa de las emisiones y un ahorro de energía.

También se están desarrollando tecnologías y soluciones emergentes para el sector ferroviario, como el frenado regenerativo, los sistemas de almacenamiento de energía y la gestión inteligente de la red. Estas innovaciones tienen el potencial de mejorar significativamente la eficiencia y la sostenibilidad del transporte ferroviario, reduciendo el consumo de energía y minimizando los residuos.

En general, el contexto actual del suministro de energía para infraestructuras ferroviarias se caracteriza por un cambio hacia fuentes de energía más sostenibles y eficientes. Es probable que esta tendencia continúe, ya que los gobiernos y los operadores de transporte tratan de cumplir sus objetivos climáticos y energéticos, al tiempo que mejoran la fiabilidad y la asequibilidad del transporte ferroviario.

El análisis y propuestas tecnológicas que se muestran a continuación quedan acotadas a su aplicación en estaciones de FFCC que pueden estar emplazadas en distintos complejos urbanísticos, compartiendo emplazamiento con otros edificios para uso comercial y diversos servicios:

- Insignia (centros neurálgicos de transporte con alto potencial comercial y cultural)
- Foro (estaciones propicias para acoger servicios enfocados a negocios)
- Ágora (con un alto interés cultural por su ubicación, su arquitectura y su entorno)



- Urbanas (situadas en zonas metropolitanas)
- Lanzadera (ubicadas en localidades poco transitadas pero estratégicas para la llamada 'España vaciada')

## 1.2. Consumidores en la Estación

Los puntos de consumo de energía eléctrica en una estación ferroviaria incluyen distintos subsistemas con equipos diferentes. Algunos de los principales puntos de consumo de energía eléctrica en una estación ferroviaria pueden ser:



**Iluminación:** Las estaciones de ferrocarril necesitan iluminación para garantizar la seguridad de las operaciones y proporcionar un entorno confortable a los pasajeros. Esto puede incluir la iluminación superior, la iluminación de la señalización y la iluminación de los andenes. La iluminación puede consumir una cantidad significativa de energía eléctrica, especialmente si la estación funciona las 24 horas del día.

**Calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC):** Las estaciones de ferrocarril necesitan mantener un clima interior confortable para los pasajeros y el personal. En condiciones climáticas extremas, los sistemas HVAC pueden ser consumidores importantes de energía.

**Escaleras mecánicas y ascensores:** Las grandes estaciones de ferrocarril suelen tener varios niveles y pueden necesitar escaleras mecánicas y ascensores para transportar a los pasajeros y su equipaje entre los distintos niveles. Durante las horas punta, cuando el tráfico de pasajeros es mayor, el consumo de escaleras mecánicas y ascensores aumenta significativamente.

**Sistemas de información y venta de billetes:** Las estaciones de ferrocarril necesitan una serie de sistemas de información y venta de billetes para gestionar el tráfico de pasajeros y proporcionar información a los viajeros. Estos sistemas pueden incluir máquinas expendedoras de billetes, pantallas digitales, sistemas de megafonía y cámaras de CCTV.

Además, **muchos otros** como sistemas contra incendios, grupos de presión de agua, tiendas, máquinas vending y oficinas. La infraestructura de carga de vehículos eléctricos (comerciales, turismo o VPM) está suponiendo un nuevo reto en las exigencias a la infraestructura eléctrica.

El porcentaje de consumo de energía eléctrica de los principales consumidores de una estación ferroviaria puede variar en función del tamaño de la estación, el número de trenes que pasan por ella y el nivel de medidas de eficiencia energética aplicadas. Sin embargo, los principales consumidores de energía eléctrica en una estación de ferrocarril suelen ser los sistemas de iluminación, calefacción, ventilación y aire acondicionado, así como el funcionamiento de ascensores, escaleras mecánicas y otros equipos.

Según un informe de la Agencia Internacional de la Energía, los sistemas de iluminación y calefacción, ventilación y aire acondicionado representan alrededor del 65% del consumo total de electricidad en edificios comerciales, lo que incluye las estaciones de ferrocarril. Según esta estimación, es probable que estos sistemas también representen un porcentaje significativo del consumo eléctrico en una estación de ferrocarril.

Sin embargo, es importante señalar que algunas estaciones de ferrocarril han aplicado medidas de eficiencia energética, como la iluminación LED y los sistemas de automatización de edificios, para reducir el consumo de electricidad. Estas medidas pueden reducir significativamente el porcentaje de consumo de energía eléctrica de los principales consumidores de una estación de ferrocarril.



En resumen, el alumbrado y los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado representan una parte significativa del consumo total de energía eléctrica de la estación.

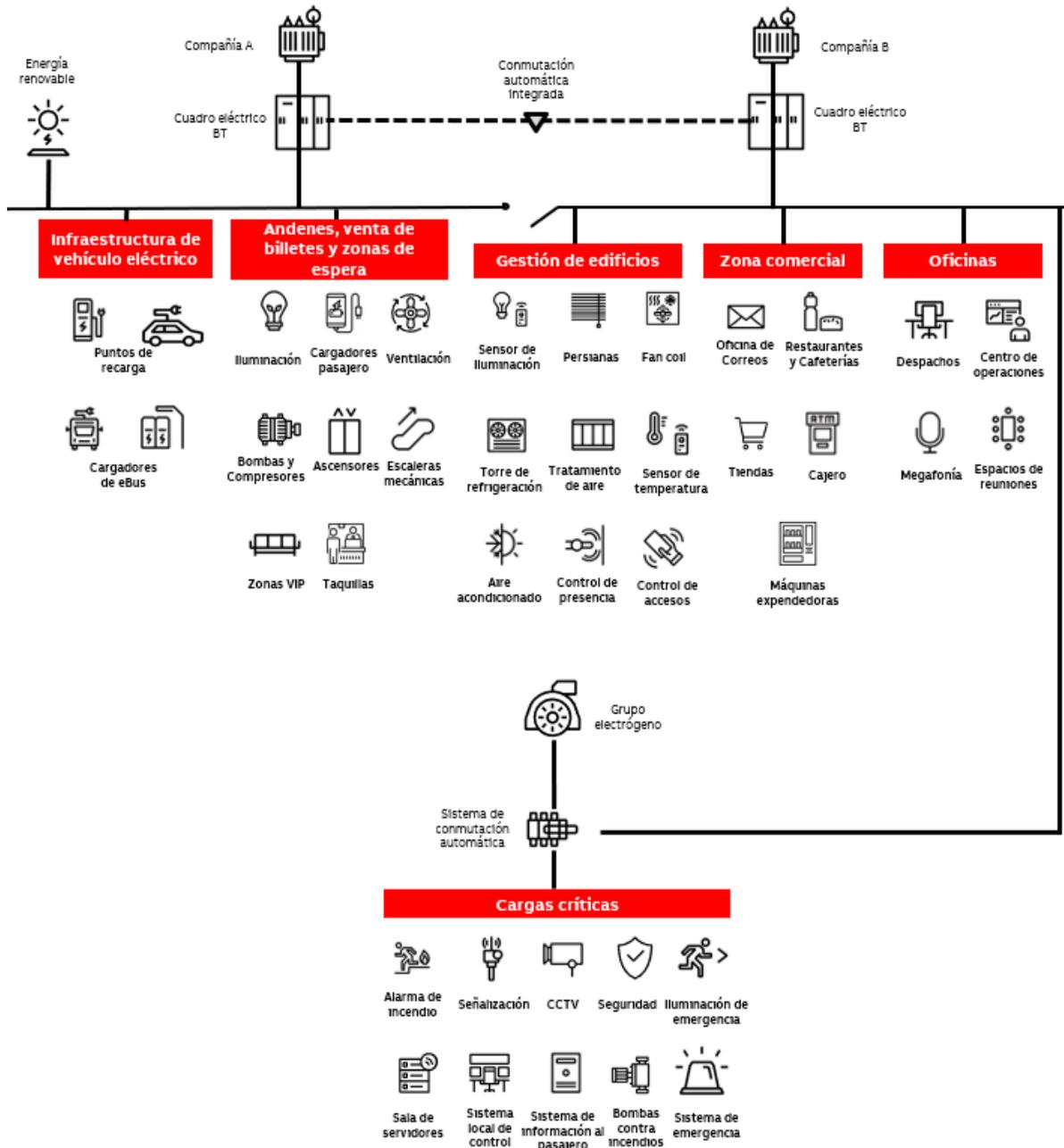


Figura 100. Sistemas de consumo en una estación

En conjunto, los puntos de consumo de energía eléctrica en una estación de ferrocarril pueden ser diversos y variados. Sin embargo, mediante la aplicación de tecnologías y prácticas eficientes desde el punto de vista energético, las estaciones de ferrocarril pueden reducir su consumo de energía y conseguir un importante ahorro de costes, al tiempo que contribuyen a la sostenibilidad medioambiental.

## 2. Análisis de las distintas fuentes de energía

### 2.1. Análisis específico de renovables e instalaciones autosuficientes

Actualmente, los avances tecnológicos permiten viabilidad técnica y económica para incorporar distintas fuentes de energía sin un uso directo de combustibles fósiles, tanto para aportar energía eléctrica (solar fotovoltaica o hidrógeno) como energía térmica (Solar, bomba de calor o geotermia).



Las energías renovables y las instalaciones autosuficientes son cada vez más populares en las estaciones de ferrocarril como medio de reducir el consumo de energía, disminuir los costes de explotación y mejorar la sostenibilidad de la industria ferroviaria.

El modelo energético recomendado estará condicionado por diversos factores asociados al tamaño de la estación o infraestructura (ocupación, aforo, tráfico, etc...), estado de las edificaciones (nuevas o en proceso de renovación/ampliación), ubicación del emplazamiento (en superficie o subterráneo, condiciones climáticas, etc...) o incluso la utilización del complejo.

He aquí algunos ejemplos concretos de implantación de energías renovables en estaciones ferroviarias:

<p><b>Energía solar:</b> Las estaciones de ferrocarril son idóneas para la energía solar, ya que cuentan con grandes tejados y espacios abiertos que pueden albergar paneles solares. La energía solar puede utilizarse para generar electricidad para la iluminación, los sistemas de climatización y otros equipos. Algunas estaciones también utilizan la energía solar para recargar vehículos eléctricos. Muchas estaciones de ferrocarril de todo el mundo están instalando paneles solares en sus tejados para generar electricidad. Por ejemplo, la estación londinense de Farringdon ha instalado 1.222 paneles solares en su tejado, que pueden generar hasta 296.000 kWh de electricidad al año. Asimismo, la estación de Coimbatore Junction (India) ha instalado en su tejado una planta solar de 10 kWp, que genera unos 1.200 kWh de electricidad al mes.</p>	<p><b>Energía eólica:</b> Las estaciones ferroviarias situadas en zonas con vientos fuertes y constantes pueden generar electricidad mediante turbinas eólicas. La energía eólica puede ser especialmente útil para alimentar estaciones ferroviarias remotas que no están conectadas a la red eléctrica principal. Por ejemplo, la estación de Berney Arms, en Norfolk (Reino Unido), ha instalado una turbina eólica de 5 kW para generar electricidad para la estación.</p>
<p><b>Energía geotérmica:</b> Las estaciones de ferrocarril situadas en zonas con fuentes termales o recursos geotérmicos pueden utilizar la energía geotérmica para calentar y refrigerar sus instalaciones. Esto puede ayudar a reducir el consumo de energía de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, sobre todo en climas más fríos. Por ejemplo, la estación central de Reikiavik (Islandia) utiliza energía geotérmica para suministrar calefacción y agua caliente a la estación y a los edificios residenciales y comerciales cercanos.</p>	<p><b>Energía hidroeléctrica:</b> algunas estaciones ferroviarias situadas cerca de ríos o arroyos utilizan la energía hidroeléctrica para generar electricidad. Por ejemplo, la estación japonesa de Miyajimaguchi ha instalado un microgenerador hidroeléctrico que genera electricidad a partir del agua que fluye bajo la estación.</p>
<p><b>Cubiertas verdes:</b> Los tejados verdes son cada vez más populares en las estaciones de ferrocarril como medio para reducir la absorción de calor y mejorar la eficiencia energética. Los tejados verdes también pueden ayudar a reducir la cantidad de aguas pluviales de escorrentía y mejorar la calidad del aire. Los tejados verdes ofrecen numerosas ventajas, como la mejora de la calidad del aire, la reducción de la escorrentía de aguas pluviales y la mejora del aislamiento. Al incorporar tejados verdes al diseño de las estaciones de ferrocarril, los operadores pueden contribuir a un entorno urbano más sostenible y resistente. plantas. El tejado verde ayuda a absorber el agua de lluvia, proporciona aislamiento y reduce el efecto isla de calor urbano. Philadelphia 30th Street Station, EE. UU., la estación tiene un tejado verde de 1.500 metros cuadrados que se instaló como parte de un proyecto de renovación en 2016. La cubierta verde ayuda a reducir la escorrentía de aguas pluviales y a mejorar la calidad del aire.</p>	<p><b>Almacenamiento de energía:</b> Las estaciones ferroviarias pueden utilizar sistemas de almacenamiento de energía para almacenar el exceso de energía generada por fuentes renovables, como la solar y la eólica. Esta energía puede utilizarse en periodos de alta demanda o cuando no se disponga de fuentes de energía renovables. Varias estaciones de ferrocarril utilizan estos sistemas, por ejemplo, la estación de Nuneaton (Reino Unido) ha instalado un sistema de almacenamiento de baterías de 70 kWh para almacenar el exceso de energía solar.</p>



Al incorporar fuentes de energía renovables e instalaciones autosuficientes, las estaciones de ferrocarril pueden ser más sostenibles desde el punto de vista medioambiental y más eficientes desde el punto de vista energético, al tiempo que reducen los costes de explotación. Sin embargo, las tecnologías y soluciones concretas que se apliquen dependerán de factores como la ubicación de la estación ferroviaria, sus necesidades energéticas y los recursos disponibles.

Las instalaciones autosuficientes en estaciones ferroviarias se refieren a sistemas y tecnologías que permiten a las estaciones generar su propia energía, reducir su dependencia de la red y funcionar de forma independiente.

He aquí algunos ejemplos concretos de instalaciones autosuficientes para estaciones ferroviarias:

- **Sistemas combinados de calor y electricidad (CHP):** Los sistemas de cogeneración generan electricidad y calor simultáneamente, utilizando gas natural u otros combustibles. El calor producido puede utilizarse para suministrar agua caliente a la estación, así como para calefacción y refrigeración. Algunas estaciones de ferrocarril utilizan sistemas de cogeneración para generar electricidad y calor, como la estación de Green Park en Reading (Reino Unido).
- **Sistemas de microrredes:** Las microrredes son redes eléctricas autónomas que pueden funcionar independientemente de la red principal. Los sistemas de microrredes pueden incorporar diversas fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica, así como sistemas de almacenamiento de energía. Un ejemplo de estación ferroviaria que utiliza un sistema de microrred es la estación de Princeton Junction, en Nueva Jersey (EE. UU.).
- **Sistemas de conversión de residuos en energía:** Los sistemas de conversión de residuos en energía transforman los materiales de desecho en energía, como electricidad o calor. Estos sistemas pueden utilizarse para generar electricidad a partir de los residuos generados en la estación de tren, así como en las empresas y zonas residenciales cercanas. La estación de tren de Västerås (Suecia) es un ejemplo de estación que utiliza un sistema de conversión de residuos en energía.
- **Sistemas geotérmicos:** Los sistemas geotérmicos utilizan el calor de la Tierra para proporcionar calefacción y refrigeración a los edificios. La energía geotérmica puede utilizarse para calentar y refrigerar la estación, así como para suministrar agua caliente. Por ejemplo, la estación de Tokio (Japón) utiliza un sistema geotérmico para refrigerar durante los meses de verano.
- **Sistemas de recogida de agua de lluvia:** Los sistemas de recogida de agua de lluvia la recogen y almacenan para su uso posterior. Esto puede incluir el uso del agua de lluvia para jardinería, limpieza y descarga de inodoros. Algunas estaciones de ferrocarril utilizan sistemas de recogida de agua de lluvia, como la Chhatrapati Shivaji Terminus de Bombay (India).

Al implantar instalaciones autosuficientes, las estaciones de ferrocarril pueden reducir su consumo de energía, disminuir sus costes de explotación y mejorar su sostenibilidad. Las tecnologías y soluciones concretas que se apliquen dependerán de factores como la ubicación de la estación, sus necesidades energéticas y los recursos disponibles.

## 2.2. Recuperación y almacenamiento de energía en la infraestructura

Esta opción de reducir costes energéticos y utilizar la energía de frenado del material rodante, lleva varias décadas de depuración tecnológica. La solución consiste en aprovechar la energía cinética generada durante el frenado para ser usada en forma de energía eléctrica aprovechable en la aceleración de otros trenes o ser devuelta a la red, que de otro modo se perdería. Cuando un tren decelera o frena, la energía cinética del tren se convierte en energía calorífica a través de la fricción entre las ruedas del tren y las vías. Con el frenado regenerativo, la energía se convierte en energía eléctrica mediante el uso de motores eléctricos en las ruedas del tren.

Por tanto, reduce significativamente el consumo de energía de catenaria. Beneficiando al mismo tiempo a la operación y mantenimiento de la infraestructura.

Históricamente surgió como respuesta a una necesidad de estabilizar la corriente continua de catenaria, reducir el pico de demanda y el consumo energético. Después de años de funcionamiento se ha



comprobado que también el mantenimiento del material rodante también se ve beneficiado puesto que ayuda a reducir el desgaste y la fatiga de los sistemas de frenos del tren, aumentando su vida útil.

Actualmente, es aprovechada también para el suministro energético de la estación mediante sistemas de almacenamiento de energía, cuyo uso depende de diversos factores ya comentados en el análisis del contexto. La ventaja de este tipo de solución es además aportar una fuente de energía fiable y eficiente en cualquier tramo horario. Por tanto, el almacenamiento de energía aprovechada también tiene la función de respaldo ante posibles interrupciones del suministro eléctrico, caídas de tensión, compensación de reactiva o simplemente como refuerzo. Por todo ello, en definitiva, la experiencia y seguridad del pasajero se ve atendida.

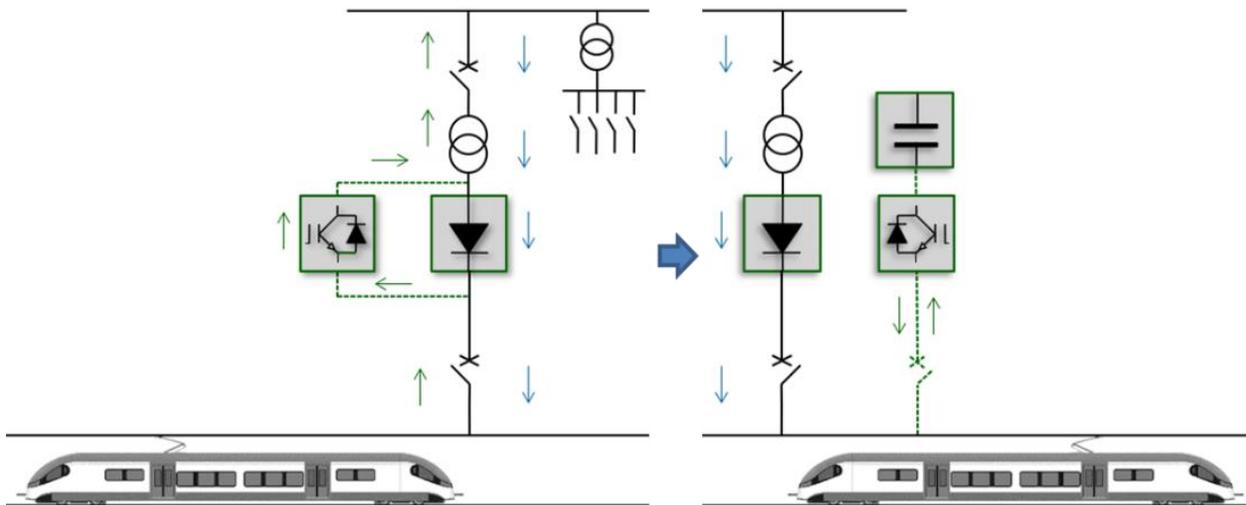
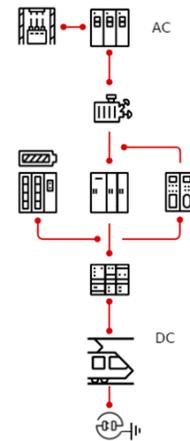


Figura 101. Sistema de aprovechamiento de energía cinética generada durante el frenado

La tecnología actualmente permite alcanzar varios MW de potencia, aportando los siguientes beneficios:

- A través de la recuperación de energía, el coste energético queda reducido.
- Reducción de los picos de demanda y las consecuentes penalizaciones.
- Reducción del coste en infraestructura para mantener el nivel de tensión DC.
- Aportar autonomía y digitalización a la subestación de tracción, generando múltiples beneficios a la red local, así como ventajas económicas para el operador ferroviario.
- Es compatible con sistemas de tracción existentes y no afecta en absoluto a la operación de los trenes ni a su cadena de tracción.
- Permite funcionar de forma independiente al suministro de la compañía eléctrica.



La evolución tecnológica de la electrónica de potencia así como de la optimización de los sistemas eléctricos permiten:

- Fácil instalación
- Arquitectura modular, permitiendo la escalabilidad del sistema de acuerdo con las necesidades que puedan surgir en cada uno de los escenarios que los usos de la estación demanden
- Bajo mantenimiento (predictivo casi en su totalidad) y amplios ciclos de vida
- Accesos remotos con altos niveles de seguridad y fácilmente implementables a los sistemas de gestión de la estación
- Disponen de herramientas de simulación y optimización del sistema



- Adicionalmente, son capaces de regular frecuencia y funcionar como sistemas de tracción

El frenado regenerativo ya se utiliza ampliamente en los coches eléctricos e híbridos, y cada vez se adopta más en los sistemas de transporte ferroviario de todo el mundo. Esta tecnología es especialmente eficaz en los sistemas ferroviarios urbanos, donde las paradas y arranques frecuentes son habituales, así como en las regiones montañosas, donde los trenes descienden con frecuencia por pendientes pronunciadas.

Algunos ejemplos de estaciones de ferrocarril que utilizan el frenado regenerativo son:

- RFI Italia: Están testeando una nueva tecnología para regular la tensión y reciclar la energía de frenado en su red de tracción de 3kV. Esto les permite controlar la tensión CC y aumentar la eficiencia energética.
- PKP Polonia: Reacondicionamiento de un centenar de instalaciones relacionadas con el suministro de energía de la red de 3kV CC.
- Metro de Londres: El sistema de metro de Londres utiliza el frenado regenerativo en sus trenes, lo que permite que la energía generada durante el frenado se utilice para alimentar otros trenes de la misma línea.
- Metro de Nueva York: El metro de Nueva York utiliza el frenado regenerativo en sus trenes más nuevos, lo que ayuda a reducir el consumo de energía y los costes de explotación.
- Metro de París: La red de metro de París utiliza el frenado regenerativo en sus trenes más nuevos, lo que permite almacenar en baterías la energía generada durante el frenado y utilizarla para alimentar otros trenes o equipos.
- Metro de Pekín: El metro de Pekín utiliza el frenado regenerativo en sus trenes más nuevos, lo que ayuda a reducir el consumo de energía y mejorar la eficiencia general del sistema.
- Metro de Tokio: El metro de Tokio utiliza el frenado regenerativo en sus trenes más nuevos, lo que ayuda a reducir el consumo de energía y a mejorar la fiabilidad general del sistema.
- STM Metro de Montreal: aumenta la eficiencia energética, con el uso de subestaciones de tracción reversibles.
- Metro de Melbourne (MTM): la energía del frenado regenerativo es utilizada para inyectar en catenaria nuevamente y estabiliza la red en el punto más débil, reduciendo el 25% las corrientes pico de las subestaciones. Esto reduce los costes de mantenimiento y mejora el servicio proporcionado a través de una capacidad de almacenamiento de 44MJ. Además, no necesitan conexión a la red de c.a.
- AGP Metro Polska: con el frenado regenerativo consiguen en la Línea 2 del Metro de Varsovia ahorros de más de 3MW/día. Además, con el sistema de almacenamiento con capacidad de 40MJ, disponen de una fuente de respaldo y estabilización de la red.

### 2.3. Sistemas de almacenamiento de energía

Con el desarrollo en el uso de la corriente continua, los sistemas de almacenamiento de energía han evolucionado permitiendo contar actualmente con tecnología para ser instalada tanto aguas arriba del contador (FTM – in front of the meter) como aguas abajo (BTM – behin the meter).

#### 2.3.1. Baterías

Los sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías son una opción popular para las estaciones de ferrocarril. Pueden almacenar la energía generada durante el frenado o a partir de otras fuentes y devolverla al sistema cuando sea necesario. Las baterías de iones de litio son las más utilizadas por su alta densidad energética, su larga vida útil y su rápida capacidad de carga.

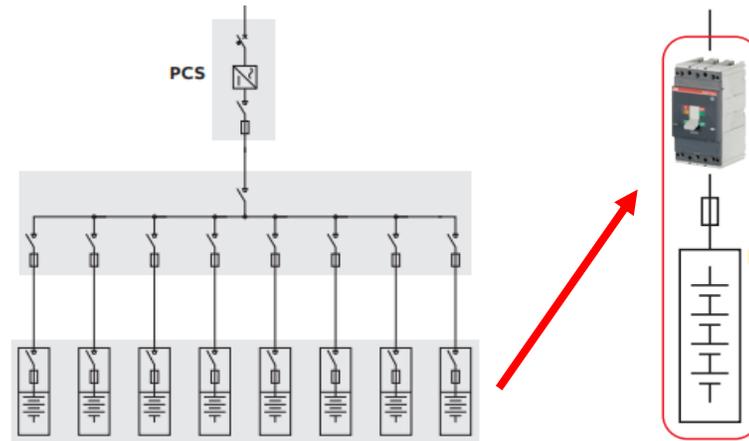


Figura 102. Sistema de almacenamiento de energía basado en batería

Actualmente, existen diferentes tecnologías de batería según los materiales empleados, siendo las Li-ion las más utilizadas. Sulfuro de sodio y Plomo-ácido podrían ser usadas también con esta finalidad.

Las nuevas propuestas implementan el uso de baterías de litio-ferrofosfato o baterías LFP que garantizan mayor seguridad, densidad de potencia (<240W/Kg), capacidad de energía (<120Wh/Kg) y vida útil (6000 ciclos). Además, puede considerarse una tecnología económica y con el precio más estable en el tiempo.

Algunos ejemplos ya desarrollados son:

- La empresa emergente Energy Storage Systems (ESS), con sede en Brooklyn, ha suministrado un sistema de almacenamiento de energía en baterías de 50 kW / 400 kWh para la estación ferroviaria de Newton, en Massachusetts. El sistema almacena la energía generada por el frenado de los trenes y la devuelve a la red, lo que permite a la estación reducir su consumo de energía y sus costes.
- AGP Metro Polska apostó por una solución ABB de 3MW (750Vdc) en un edificio de la línea 2 en la ciudad de Warsaw, ahorrando más de 3MWh por día y teniendo un sistema de respaldo.
- El operador ferroviario alemán Deutsche Bahn está instalando un sistema de almacenamiento en baterías de 14 MWh en su subestación ferroviaria de Euregio Egrensis. El sistema está diseñado para almacenar el exceso de energía de la red durante los periodos de baja demanda y liberarla durante los periodos de máxima demanda, reduciendo así la necesidad de costosas actualizaciones de la red y mejorando la estabilidad del suministro eléctrico.

### 2.3.2. Volantes de inercia

Los sistemas de almacenamiento de energía basados en volantes de inercia son otra opción que puede utilizarse en las estaciones de ferrocarril. Funcionan almacenando energía cinética en un volante giratorio y devolviéndola al sistema cuando es necesario. Son especialmente útiles para aplicaciones de alta potencia y corta duración, como el frenado regenerativo.

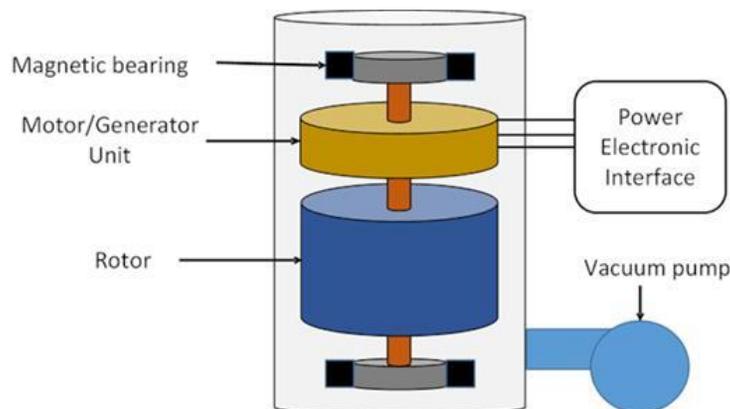


Figura 103. Sistema de almacenamiento de energía basado volante de inercia



El banco KfW IPEX de Alemania ha financiado un sistema de almacenamiento de energía basado en volantes de inercia en la estación de ferrocarril de Esslingen. El sistema, desarrollado por Stornetic, utiliza volantes de inercia para almacenar y liberar la energía generada por el frenado regenerativo, reduciendo el consumo y los costes energéticos de la estación.

La “Greater Cleveland Regional Transit Authority (RTA)” de EE. UU. ha instalado un sistema de almacenamiento de energía basado en volantes de inercia en su estación de tren de tránsito rápido. El sistema utiliza volantes de inercia para almacenar la energía generada por el frenado regenerativo y devolverla a la red durante los periodos de máxima demanda.

La empresa estadounidense Beacon Power ha desarrollado un sistema de almacenamiento de energía basado en volantes de inercia para aplicaciones ferroviarias. El sistema es conocido como Smart Energy 25.

El sistema Smart Energy 25 consta de un rotor giratorio fabricado con materiales compuestos de fibra de carbono de alta resistencia, que está montado sobre un conjunto de cojinetes magnéticos. El rotor está suspendido en un recinto al vacío para reducir la resistencia del aire, lo que le permite girar a velocidades muy altas con una pérdida de energía mínima. Cuando se almacena energía, el rotor se acelera a gran velocidad, y cuando se descarga, el impulso del rotor se utiliza para generar electricidad.

La Smart Energy 25 tiene una potencia nominal de 100 kW y puede almacenar hasta 25 kWh de energía. Su tiempo de respuesta es rápido y puede descargar toda su potencia en menos de 5 segundos. El sistema también es muy eficiente, con una eficiencia de ida y vuelta superior al 85%.

Una de las principales ventajas del Smart Energy 25 es su larga vida útil, con una duración prevista de más de 20 años. Además, ocupa poco espacio y puede integrarse fácilmente en la infraestructura ferroviaria existente.

El Smart Energy 25 se ha utilizado con éxito en varias aplicaciones ferroviarias, entre ellas el sistema ferroviario de la Southeastern Pennsylvania Transportation Authority (SEPTA) de Estados Unidos. También se ha utilizado en otras aplicaciones industriales y comerciales, como centros de datos e instalaciones de fabricación.

El sistema de la Universidad de Sheffield presenta varias ventajas sobre otras tecnologías de almacenamiento de energía, como su alta densidad de potencia, su rápido tiempo de respuesta y su larga vida útil. Además, el sistema es muy modular, lo que permite ampliarlo o reducirlo fácilmente en función de la aplicación específica.

El sistema utiliza volantes de inercia de alta velocidad fabricados en plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP) para almacenar energía cinética y liberarla cuando sea necesario para alimentar otros trenes o la red durante los periodos de máxima demanda.

Los volantes están montados sobre un sistema de cojinetes magnéticos que les permite girar a velocidades muy altas con una fricción mínima, lo que reduce las pérdidas de energía. El sistema también está equipado con un sistema de control electrónico que garantiza que los volantes giren a la velocidad correcta para maximizar el almacenamiento y la descarga de energía.

Una de las principales aplicaciones del sistema de almacenamiento de energía basado en volantes de inercia de la Universidad de Sheffield es el metro, donde las frecuentes aceleraciones y deceleraciones de los trenes pueden suponer un importante derroche de energía. Al capturar y reutilizar esta energía, el sistema puede ayudar a reducir el consumo total de energía del sistema de metro y disminuir su huella de carbono.

### 2.3.3. Supercondensadores

Los supercondensadores son otro tipo de sistema de almacenamiento de energía que puede utilizarse en las estaciones ferroviarias. Son capaces de cargarse y descargarse rápidamente y tienen una vida útil más larga que las baterías, además de suministrar energía mucho más rápido que las baterías tradicionales. Pueden utilizarse junto con baterías o volantes de inercia para proporcionar una capacidad adicional de almacenamiento de energía.



En las estaciones de ferrocarril, los supercondensadores pueden utilizarse para suministrar energía de reserva a los sistemas esenciales en caso de apagón, así como para ayudar a equilibrar la demanda y el suministro de energía durante los periodos de mayor consumo.

He aquí algunos ejemplos de supercondensadores utilizados en estaciones ferroviarias:

- La compañía ferroviaria suiza SBB instaló supercondensadores en sus estaciones para almacenar la energía generada por el frenado de los trenes. La energía almacenada se utiliza para alimentar otros trenes que salen de la estación, reduciendo así el consumo total de energía del sistema ferroviario.
- La estación de ferrocarril de Harrogate (Reino Unido) utiliza supercondensadores para suministrar energía de reserva a su sistema de venta de billetes y otros sistemas críticos en caso de apagón.
- La línea 2 de AGP Metro Polska combina la tecnología de almacenamiento de energía ABB con 40MJ de respaldo con supercondensadores.
- En 2019, los Ferrocarriles Indios instalaron sistemas de almacenamiento de energía basados en supercondensadores en dos estaciones ferroviarias de Bombay. Los sistemas ayudan a equilibrar la demanda y el suministro de energía durante los períodos de mayor uso, reduciendo la tensión en la red eléctrica local.

En resumen, los supercondensadores ofrecen una forma fiable y eficiente de almacenar y suministrar energía en las estaciones de ferrocarril, ayudando a mejorar la eficiencia energética y reducir el riesgo de cortes de energía.

#### 2.3.4. SMES

El término SMES corresponde a las siglas de Superconducting Magnetic Energy Storage (almacenamiento magnético superconductor de energía). Es un tipo de sistema de almacenamiento de energía que utiliza bobinas superconductoras para almacenar energía eléctrica en un campo magnético. Cuando se necesita la energía, el campo magnético se convierte de nuevo en energía eléctrica.

El SMES tiene varias ventajas sobre otras formas de almacenamiento de energía, como las baterías o los condensadores. Por ejemplo, los sistemas SMES pueden almacenar grandes cantidades de energía y liberarla rápidamente, lo que los hace ideales para aplicaciones que requieren una gran potencia durante cortos periodos de tiempo, como las redes eléctricas o las cargas de oportunidad de vehículos eléctricos.

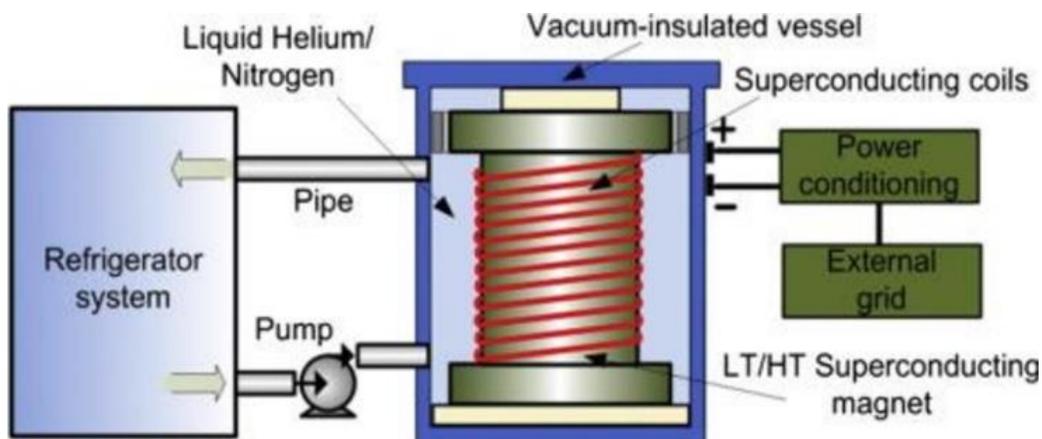


Figura 104. Sistema de almacenamiento de energía basado bobinas superconductoras

Otra ventaja del SMES es que es muy eficiente, con pérdidas de energía inferiores al 1% por hora. Esto lo convierte en una opción atractiva para el almacenamiento de energía en sistemas de energías renovables, como la eólica o la solar, donde la eficiencia es clave para maximizar el uso de fuentes de energía intermitentes.

Sin embargo, también hay algunos retos asociados a los SMES, como la necesidad de materiales superconductores de baja temperatura y el elevado coste de construcción y mantenimiento de estos



sistemas. No obstante, se están realizando esfuerzos de investigación y desarrollo para mejorar la tecnología SMES y hacerla más práctica y rentable para diversas aplicaciones.

## 2.4. Soluciones de integración arquitectónica de energías renovables

En conjunto, estas soluciones de integración arquitectónica ofrecen una serie de opciones para incorporar las energías renovables a los edificios. Adoptando estas soluciones, los edificios pueden ser más sostenibles, reducir los costes energéticos y mejorar la experiencia general de sus ocupantes.

Beneficios de las soluciones de integración arquitectónica para energías renovables:

- **Ahorro de costes:** La integración de energías renovables en las estaciones ferroviarias puede suponer un importante ahorro de costes. Al generar su propia energía, las estaciones ferroviarias pueden reducir su dependencia de la red y evitar la volatilidad de los precios de la energía.
- **Mejora de la eficiencia energética:** Las tecnologías de energías renovables, como los paneles solares y las turbinas eólicas, pueden ayudar a las estaciones de ferrocarril a ser más eficientes energéticamente. Esto puede reducir la huella de carbono y los costes de explotación.
- **Reducción del impacto medioambiental:** El uso de energías renovables reduce la huella de carbono de las estaciones de ferrocarril, ayudando a mitigar el cambio climático. Además, las tecnologías de energías renovables tienen menos impacto ambiental que las fuentes de energía tradicionales, como los combustibles fósiles.
- **Mejora de la experiencia de los pasajeros:** Las soluciones de integración arquitectónica, como los tejados verdes, las paredes vivas y la iluminación natural, pueden mejorar la experiencia de los pasajeros al crear un entorno más agradable y confortable.

Consideraciones sobre las soluciones de integración arquitectónica de las energías renovables:

- **Integración con la infraestructura existente:** La integración de las energías renovables en las estaciones de ferrocarril existentes puede ser un reto, sobre todo si la infraestructura es antigua o anticuada. El reequipamiento puede resultar caro y requerir una inversión significativa.
- **Mantenimiento:** Los sistemas de energía renovable requieren un mantenimiento continuo para garantizar su funcionamiento eficiente. Esto puede añadirse al coste total del sistema y requerir profesionales formados para realizar las tareas de mantenimiento.
- **Condiciones meteorológicas:** La eficacia de los sistemas de energía renovable, como los paneles solares y los aerogeneradores, depende de las condiciones meteorológicas. Por ejemplo, la falta de luz solar o la baja velocidad del viento pueden afectar a la producción de estos sistemas.
- **Normativa local:** La normativa local puede afectar a la instalación de sistemas de energías renovables. Las estaciones de ferrocarril pueden tener que obtener permisos y cumplir normativas de zonificación y de otro tipo, lo que puede aumentar la complejidad y el coste de la instalación.

En conclusión, las soluciones de integración arquitectónica de energías renovables ofrecen una serie de ventajas para las estaciones ferroviarias. Aunque hay que tener en cuenta algunas consideraciones, como la integración con la infraestructura existente, el mantenimiento y la normativa local, los beneficios de la reducción del impacto ambiental, el ahorro de costes y la mejora de la experiencia de los pasajeros son significativos.

### 2.4.1. Building-Integrated Photovoltaics – BIPV

La energía fotovoltaica integrada en el edificio (BIPV) tiene un doble propósito: sirve como capa exterior de una estructura y genera electricidad para uso in situ o para exportar a la red. Los sistemas BIPV pueden proporcionar ahorros en materiales y costos de electricidad, reducir la contaminación y aumentar el atractivo arquitectónico de un edificio.

Aunque se puede agregar una estructura como una actualización, el mayor valor para los sistemas BIPV se obtiene al incluirlos en el diseño inicial del edificio. Al sustituir materiales estándar por PV durante la



construcción inicial, los constructores pueden reducir el costo incremental de los sistemas PV y eliminar costos y problemas de diseño para sistemas de montaje adicionales a los propios de construcción.

Los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios se planifican durante la etapa de diseño arquitectónico y se agregan durante la construcción inicial. La energía fotovoltaica agregada al edificio (BAPV) se planifica y construye durante una modernización. Tanto BIPV como BAPV carecen de los racks y equipos de montaje de los sistemas fotovoltaicos tradicionales.

La mayoría de los diseñadores de sistemas solares integrados considerarán una variedad de tecnologías solares y sus posibles usos en comparación con las necesidades de los ocupantes del edificio. Por ejemplo, la fotovoltaica de película delgada semitransparente puede permitir la iluminación diurna natural y los sistemas térmicos solares pueden capturar energía térmica para generar agua caliente o proporcionar capacidad de calefacción y refrigeración de espacios.

Aunque no son muchas las estaciones de ferrocarril que se han diseñado con BIPV, he aquí algunos ejemplos:

- Estación de Blackfriars en Londres, Reino Unido.



Figura 105. Estación de Blackfriars en Londres, Reino Unido

- La estación de Blackfriars es una estación de ferrocarril que fue renovada y ampliada en 2012 para incluir BIPV en su tejado. Los paneles solares cubren una superficie de 6.000 metros cuadrados y proporcionan hasta el 50% de las necesidades energéticas de la estación.
- Estación Central de Amberes (Bélgica): La Estación Central de Amberes es una estación de ferrocarril histórica que fue renovada y ampliada en 2007 para incluir BIPV. Los paneles solares están integrados en el techo de cristal y cubren una parte importante de las necesidades energéticas de la estación
- Estación de Roma Termini (Italia): La estación de Roma Termini es la principal estación ferroviaria de Roma y fue renovada en 2013 para incluir BIPV en su cubierta. Los paneles solares cubren



una superficie de 10.000 metros cuadrados y proporcionan hasta el 15% de las necesidades energéticas de la estación.

- Estación central de Hannover (Alemania): La estación central de Hannover se renovó en 2019 para incluir BIPV en su tejado. Los paneles solares cubren una superficie de 3.600 metros cuadrados y proporcionan hasta el 40% de las necesidades energéticas de la estación.

#### 2.4.2. Cubierta vegetal

Los tejados verdes son cada vez más populares en los entornos urbanos como forma de mejorar el medio ambiente y reducir el impacto de los edificios en los ecosistemas circundantes. Las estaciones de ferrocarril son un lugar excelente para instalar tejados verdes, ya que suelen tener grandes cubiertas planas que no son visibles para el público, pero a las que puede acceder el personal de mantenimiento.

En este contexto, los tejados verdes pueden servir para varios fines, entre ellos:

- Gestión de las aguas pluviales: Las cubiertas verdes pueden ayudar a reducir la escorrentía de las aguas pluviales absorbiendo el agua de lluvia y reduciendo la cantidad de agua que entra en el sistema de aguas pluviales. Esto puede ayudar a prevenir inundaciones y reducir la carga de los sistemas municipales de aguas pluviales.
- Aislamiento térmico: Los tejados verdes pueden ayudar a reducir los costes de calefacción y refrigeración de las estaciones de ferrocarril al proporcionar una capa adicional de aislamiento en el tejado. Esto puede ayudar a reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Biodiversidad: Los tejados verdes pueden proporcionar un hábitat para la vida silvestre, especialmente aves e insectos, lo que puede ayudar a aumentar la biodiversidad en los entornos urbanos.
- Estética: Las cubiertas verdes pueden mejorar el atractivo visual de las estaciones de ferrocarril y las zonas circundantes, lo que puede tener un impacto positivo en la percepción de la estación de ferrocarril y la comunidad circundante.

Sin embargo, el uso de cubiertas verdes en las estaciones de ferrocarril también presenta algunos retos. En primer lugar, hay que tener en cuenta el peso de la cubierta verde, ya que puede requerir refuerzos estructurales para soportar el peso del suelo y la vegetación. En segundo lugar, el acceso al tejado puede ser limitado, lo que puede dificultar la instalación y el mantenimiento. Por último, el coste de instalación y mantenimiento de un tejado verde puede ser superior al de un tejado convencional, lo que puede suponer un obstáculo para su adopción.

En general, el uso de cubiertas verdes en las estaciones de ferrocarril puede aportar una serie de beneficios, como la gestión de las aguas pluviales, el aislamiento térmico, la biodiversidad y la estética. Sin embargo, es necesario estudiar detenidamente los requisitos estructurales, el acceso y el coste para garantizar que los beneficios compensen los costes y que la cubierta vegetal sea una solución sostenible y eficaz.

### 3. Transformación digital

La conectividad en la estación del futuro es un requisito básico que todo equipo/máquina debe incorporar. Gracias a esto, es posible el uso de la IA (Inteligencia artificial) para la optimización, eficiencia en recursos para las instalaciones, así como para aplicar mantenimientos predictivos en las instalaciones eléctricas. El uso de tecnologías de medida y comunicación en las protecciones eléctricas hace un uso eficiente de los recursos en mantenimiento, reducciones en consumo eléctrico y optimización de la explotación.

Utilizando las protecciones eléctricas como puntos de medida, tanto variables eléctricas como valores de uso y eventos con fecha y hora, hace posible optimizar y mejorar el mantenimiento remoto y local, así como el espacio en las salas eléctricas.

Todo ello permite mejorar la seguridad y la fiabilidad de las instalaciones, aumentando la calidad de servicio del pasajero.

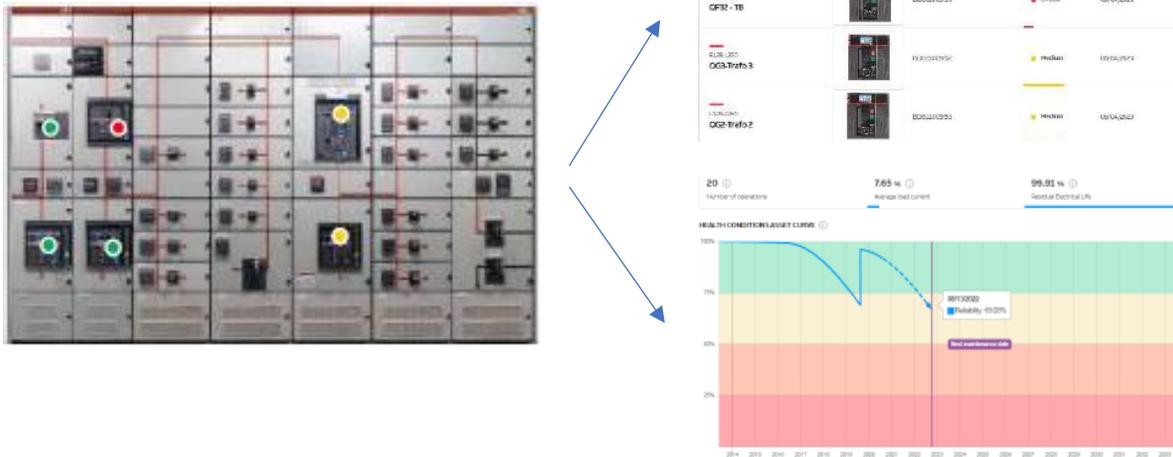


Figura 106. Visualización instalación eléctrica

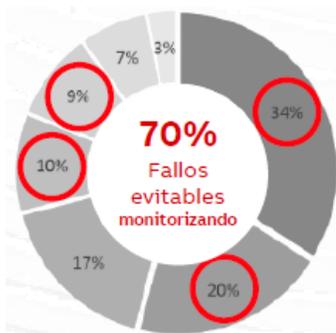
Las distintas tecnologías que existen actualmente para captar, analizar y visualizar información sobre el uso de la energía y la infraestructura para hacerla llegar a los consumidores, hacen abordable cualquier reto tecnológico que sea necesario implementar en la estación del futuro. Independientemente del tamaño y antigüedad del complejo, existe una solución para digitalizar su instalación eléctrica o incluso integrar en la misma arquitectura las medidas de otros suministros como agua y gas.

Adaptar aparatos existentes y prever tecnologías de medida y comunicación para futuras implementaciones dentro de la estación, deberá ser un estándar.

Actualmente el protocolo Modbus TCP es el preferido para integrar medidas de distintas fuentes, así como para realizar el control (no sólo la monitorización) de cargas no críticas. Además, las conexiones inalámbricas instaladas, así como aplicaciones de inteligencia artificial, permiten interactuar con los aparatos de los armarios eléctricos, facilitando el trabajo de puesta en marcha y mantenimiento, haciéndolo más seguro y eficiente.

### 3.1. Monitorización de consumo de energía eléctrica y de producción con renovables

Uno de los puntos más motivadores que cubre la monitorización es la seguridad. Por tanto, anticiparse a las causas de fallo y riesgo de los activos es un requisito importante que debe contemplarse al definir el sistema de monitorización.



- Mala conexión de aparatos (34%)
- Condiciones ambientales, humedad, etc.(20%)
- Mala instalación, reparación o manipulación (17%)
- Fallo de aislamiento, cortocircuito (10%)
- Fallo mecánico del equipo (9%)
- Otros motivos (7%)
- Sobrecarga (3%)

Con la monitorización automática del estado de la instalación, el equipo de mantenimiento de la estación tiene en tiempo real:

- Monitorización continua de la temperatura en las conexiones, evitando así la inspección de partes activas que requiere parada del sistema.



- Monitorización continua de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc.). La evaluación de condiciones ambientales suele incluir con frecuencia una parada.
- Monitorización continua de la degradación del aislamiento, evitando realizar ensayos de aislamiento que, igualmente, suele requerir parar el sistema.
- Monitorización de las estadísticas de operación, índice de salud y predicción del fallo de las protecciones. Con esta funcionalidad ya no sería necesaria la revisión y ensayos periódicos, que requieren cortar circuitos de suministro. Este punto es especialmente destacable por la reducción de coste en la cuenta de explotación.

Además de conocer la salud de los activos, el sistema de monitorización permite que el personal que deba estar informado de cualquier tipo de alarma configurada, tenga acceso inmediato a la visualización y detección del aparato en riesgo.

Actualmente, mediante algoritmos de análisis sobre datos históricos, las condiciones de emergencia han quedado reducidas. El mantenimiento predictivo permite que los activos que están siendo monitorizados trabajen dentro de sus valores de diseño.

Estos sistemas están permitiendo ahorros no sólo energéticos, sino también en costes de mantenimiento. Tanto los operativos/correctivos como los programados, que se han reducido casi en su totalidad

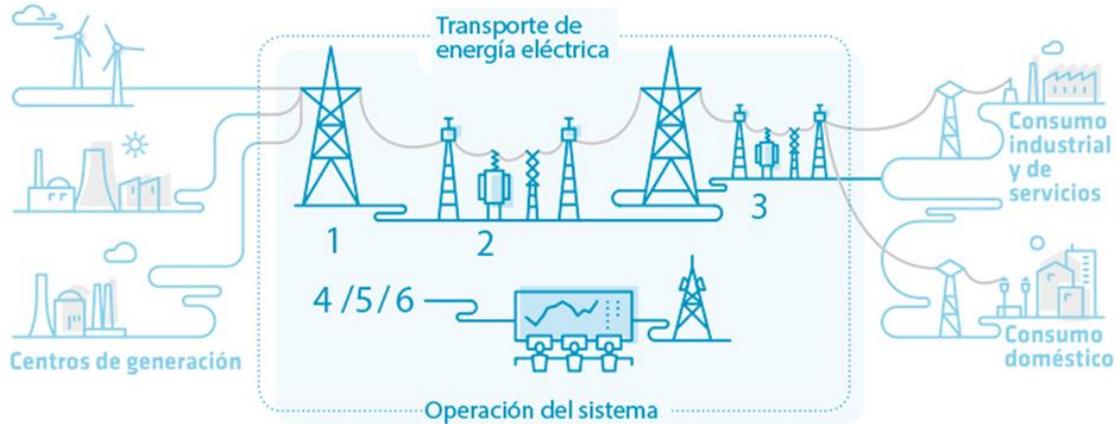


#### 4. Flexibilidad energética

Desde 2002, la Unión Europea promueve su preocupación por el cambio climático y la necesaria descarbonización progresiva del sector energético para mitigar sus efectos a medio y largo plazo, con apuestas firmes de alcanzar el liderazgo internacional en eficiencia energética y en el desarrollo de energías renovables a través de sus programas de investigación y de diversas directivas (la última denominada Green Deal o Pacto Verde).

Es ya ampliamente conocido que el 40% del consumo energético y el 32% de las emisiones de dióxido de carbono en Europa es debido a los edificios, es decir, a la actividad cotidiana de los consumidores finales que es donde las últimas políticas energéticas han centrado el debate y han posicionado a los ciudadanos en el centro de la transición ecológica y energética.

Sin embargo, la implantación de estas políticas junto con las nuevas tecnologías energéticas supone que el mercado energético se aproxime progresivamente a un escenario 100% eléctrico, ya que una amplia mayoría de consumidores tendrá cada vez más sencillo su acceso a instalaciones de autoconsumo gracias a las energías renovables, se independizarán parcial o totalmente gracias al almacenamiento energético, sustituirán sus vehículos de combustión por eléctricos o de pila de combustible y se podrán asociar con otros consumidores mediante cooperativas o comunidades energéticas.



1 Línea eléctrica 2 Subestación de transporte 3 Subestación de transporte / distribución 4/5/6 Centro de Control Eléctrico, energías renovables (CECOEL / CECRE)

Figura 107. Elementos de transmisión y control para la gestión de la energía eléctrica (fuente: REE)

Este escenario, cada vez más probable, plantea uno de los retos tecnológicos y de gestión más ambiciosos a los que se ha enfrentado el mercado eléctrico en los últimos años. La energía eléctrica tiene que ser balanceada en tiempo real con el ajuste de los centros de generación (hidroeléctricas, carbón, gas, entre otras) que producen la energía que es distribuida continuamente por toda la geografía. De no ser así, se producirían cortes de suministro que requieren un tiempo variable para ser solventadas.

Hasta ahora, los operadores de red (como Red Eléctrica de España) gestionan la energía comunicándose con dichas centrales y controlando las interconexiones con otros países prácticamente en tiempo real. Gracias a la mejora de los modelos matemáticos de predicción de demanda, esta gestión se hace actualmente de una forma óptima con la colaboración del mercado eléctrico, y cabe destacar que España es uno de los países con menor tasa de incidencias de la Unión Europea.

Sin embargo, el despliegue masivo de instalaciones de autoconsumo basadas en energías renovables o de puntos de carga de vehículos eléctricos plantea dos retos fundamentales: 1) una mayor variabilidad al sistema debido a la propia naturaleza de las energías renovables; y 2) una mayor exigencia de capacidad (mayor número de líneas y equipamiento eléctricos) que requeriría de una inversión millonaria en las infraestructuras eléctricas.

Como se puede comprobar en la siguiente figura, las inversiones de la red de transporte suponen, con diferencia, la mayor parte de las actuaciones en el corto plazo debido a las exigencias actuales y siendo la de digitalización la que menor esfuerzo supone.



Figura 108. Inversiones de Red Eléctrica de España según plan estratégico en el periodo 2018-2022 (fuente: EnerTIC)



Para resolver este problema, operadores eléctricos, distribuidoras, comercializadoras y empresas tecnológicas trabajan conjuntamente desde hace varios años para diseñar enfoques de flexibilidad energética que permitan un despliegue seguro y progresivo de todas las tecnologías de transición energética hacia un futuro 100% eléctrico.

En 2014 la USEF (asociación de empresas del sector que promueven un nuevo marco tecnológico y de mercado energético) propuso la figura del agregador energético como agente capaz de colaborar con el operador de red en gestionar la flexibilidad de los consumidores en los denominados "mercados locales de flexibilidad". En dichos mercados, el operador de red puede solicitar ayuda a estos agentes para balancear la red cuando por motivos técnicos o económicos sea más eficiente.

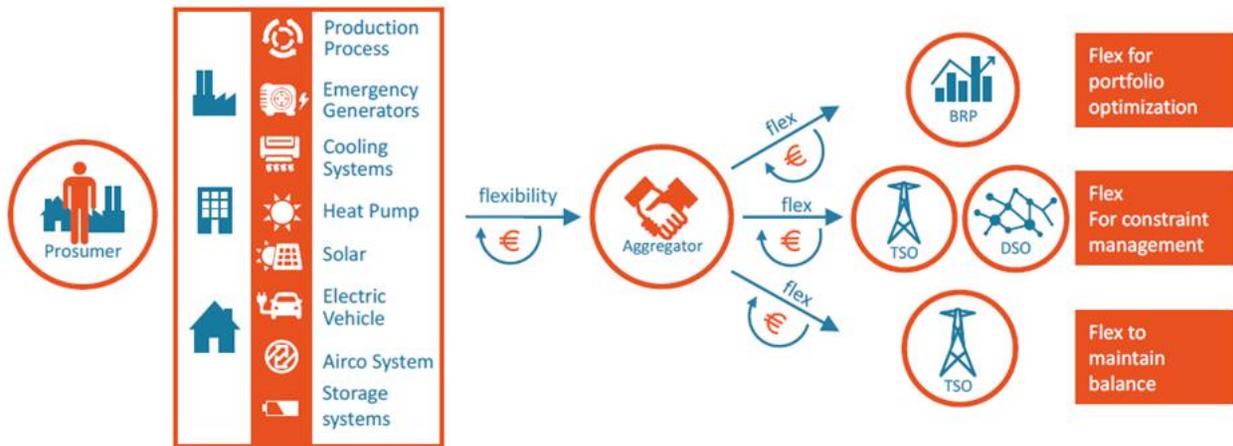


Figura 109. Cadena de Valor para los futuros mercados de flexibilidad energética (Fuente: USEF 2021)

En marzo de 2021, esta asociación publicó un resumen de estos mercados de flexibilidad en el ámbito europeo y se indica que España comenzó con su despliegue el año pasado a partir del RD 23/2020 donde la figura de este actor se mencionaba con especial énfasis. Actualmente, el sector eléctrico en España junto con la CNMC trabaja en la definición de los términos normativos y jurídicos para implantar este modelo, que fue evaluado en el proyecto IREMEL por Red Eléctrica de España y OMIE en 2019.

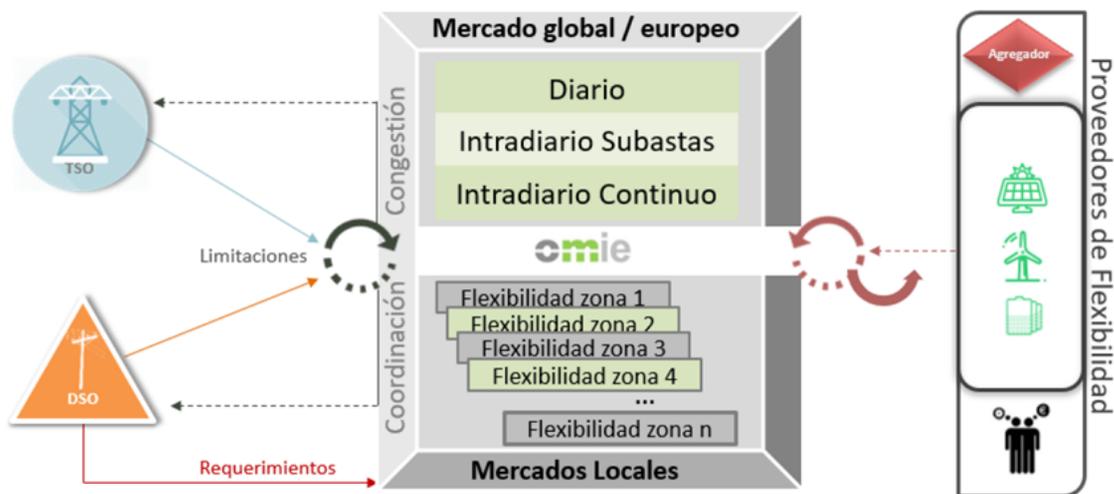


Figura 110. Propuesta de integración de mercados de flexibilidad local (Fuente: proyecto IREMEL)

La flexibilidad energética o respuesta activa de la demanda es la capacidad de modificar la demanda de un edificio o instalación a partir de las señales/informaciones proporcionadas por el mercado (como, por ejemplo, precios) o por su agregador independiente. Actualmente, la flexibilidad energética está basada fundamentalmente en el control de la producción renovable (principalmente a través de convertidores de potencia multinivel), baterías eléctricas o equipos que se pueden conectar y desconectar sin ocasionar molestias a los usuarios.



Recientemente, con la entrada en vigor del Real Decreto Ley 17/2022 de 20 de septiembre de 2022, la respuesta activa de la demanda ha alcanzado su primer hito en España, ya que se permite que usuarios con una oferta mínima de 1 MW participen en la primera subasta.

En este contexto, las estaciones ferroviarias tienen la oportunidad de integrarse y contribuir en estos nuevos sistemas de gestión energética. Por una parte, las estaciones de medianas y grandes poblaciones suelen ser consumidores de gran potencia y por lo general están conectadas a redes de media tensión. A su vez, como edificios, disponen de instalaciones (climatización, iluminación...) para operar diferentes servicios, desde la propia gestión de pasajeros hasta su función como centros comerciales. También, al ser edificios por lo general singulares, disponen de suficiente espacio para albergar instalaciones renovables, de almacenamiento energético y progresivamente, los aparcamientos asociados están dotándose de puntos de carga para vehículos eléctricos. En resumen, la evolución natural de estos edificios y sus instalaciones es avanzar progresivamente al escenario 100% eléctrico y sostenible mediante la implantación de energías renovables y otras estrategias propias del ámbito ferroviario como el aprovechamiento de la energía de frenada de los trenes a su llegada a las estaciones.

La combinación de estos factores y la evolución del propio mercado eléctrico determinan directamente la estrategia que deben seguir las estaciones del futuro y su participación como actores clave en la gestión de la demanda:

- Aprovechamiento de la energía renovable para reducir las emisiones de carbono y crear comunidades energéticas urbanas en el entorno de la estación.
- Aprovechamiento de la frenada regenerativa de los trenes a su llegada a las estaciones.
- Energía renovable especialmente dedicada a la Carga de vehículo eléctrico, tanto de pasajeros como de otros transportes asociados (autobús eléctrico, taxi, transporte de mercancía, etc.)
- Centros de almacenamiento energético (baterías, hidrógeno, vehículos de carga bidireccional, baterías de flujo redox...) que den soporte a la gestión energética de la red eléctrica.
- Gestión y optimización de los equipos de climatización para la mejora de la eficiencia energética.
- Adecuación del consumo de iluminación según la actividad de pasajeros, factores externos y oportunidades de mercado.

El documento  
ha sido editado  
e impreso con  
el patrocinio  
de:





# SOSTENIBILIDAD. MATERIALES, AGUA Y RESIDUOS

1. Introducción y objetivos.....	144
2. Estado del arte y retos .....	145
3. Soluciones tecnológicas .....	147
4. Mapa de tecnologías .....	158
5. Conclusiones y retos.....	158
6. Casos de uso .....	159

## COORDINADORES



## OTRAS ENTIDADES PARTICIPANTES



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA  
E.T.S. DE ARQUITECTURA Y EDIFICACIÓN  
Grupo de Investigación Ciencia y Tecnología Avanzada de la Construcción



En colaboración con:





## 1. Introducción y objetivos

El objetivo principal del proyecto es la definición de las líneas maestras que caractericen las estaciones del futuro en lo que se refiere a la sostenibilidad.

La sostenibilidad consiste en el uso y disfrute de los recursos naturales que consiga el desarrollo económico y social de las poblaciones humanas, asegurando el mantenimiento y la preservación de aquellos para las generaciones futuras.

Las estaciones, en cualquiera de sus acepciones, son edificaciones singulares en las que se detienen los vehículos de un sistema de transporte y se realiza el trasvase de viajeros y/o mercancías. Desde ese punto de vista, son construcciones que contribuyen al desarrollo económico y social y, teniendo en cuenta que en su mayoría se trata de equipamientos públicos, deben dar ejemplo de sostenibilidad en todos sus aspectos.

La ONU establece 17 objetivos de desarrollo sostenible. Las estaciones deben analizar el grado de cumplimiento de cada uno de ellos. Por otro lado, existen en la actualidad sistemas de evaluación y certificación de la sostenibilidad de edificios, que ya se exigen en algunos entornos y que pueden ser herramientas muy eficaces para alcanzar niveles de diseño, construcción y funcionamiento de los edificios, cada vez más respetuosos con el medio ambiente, el entorno, el confort y la salud de las personas. LEED, BREEAM, VERDE, DGNB, Net Zero...son un buen ejemplo de ellos. Un análisis de los mismos y de las características que allí se estudian es posible que sea también interesante para ver su grado de aplicación, aunque existe un aspecto la situación y emplazamiento de las estaciones, no es fácil de gestionar.

La sostenibilidad estará también en los materiales futuros y su aplicación en infraestructuras como estas, materiales de Km0, reutilizables o fácilmente reciclables y que en muchos casos tengan propiedades que van más allá de su mera presencia. Materiales que absorben energía, que almacenan CO<sub>2</sub> o tienen características fotoluminiscentes pueden aportar funcionalidades complementarias.

La Estación del futuro, debe dar también un paso más, la IA, la robótica y el metaverso quizás son elementos que ayuden a la gestión de los recursos, la autosuficiencia energética, la huella de carbono, los aspectos de salubridad, gestión de iluminación y del silencio y la resiliencia de estas.

Uno de los objetivos de los edificios sostenibles, en particular en las estaciones ferroviarias, es reducir el impacto de su construcción y operación al mínimo posible, mediante acciones que van desde la elección de su ubicación, el diseño que debe incorporar características que favorezcan el ahorro energético, su construcción y su operación. En ese sentido, se pueden enumerar algunos de los elementos que contribuyan a ello:

- Elección, dentro de las alternativas de trazado viables, de su ubicación de forma a minimizar la interferencia sobre el terreno a ser implantado, teniendo en cuenta factores como el número y tipo de especies de flora y fauna afectadas, movimiento de tierras, interferencia sobre las cuencas hidrográficas o la accesibilidad a los pasajeros del entorno de la estación.
- Una vez definida la ubicación de la estación, se debe adoptar decisiones de proyecto que permitan su operación con la mayor cantidad de luz natural posible sin incrementar el consumo energético asociado. Asimismo, permitir la ventilación natural en los meses cálidos y la protección térmica en los meses fríos.
- Deben ser previstos sistemas de recolección y tratamiento de aguas pluviales para consumo propio o para riego. El calentamiento de agua para consumo debe utilizar placas solares siempre que posible.
- Idealmente, toda o la mayor parte de la energía eléctrica consumida en la operación de la estación debe ser generada por energía fotovoltaica.
- El mobiliario y la señalética utilizados en las estaciones pueden ser contruidos con materiales reciclados.



- En el entorno de las estaciones, se recomienda crear espacios de vegetación autóctona con zonas de agua que ofrezcan refugio para aves migratorias y para la fauna local.

Aunque las herramientas de certificación y evaluación suelen ser direccionadas a la construcción de edificios de uso residencial y de oficinas, es posible trasladar su aplicación a los proyectos de estaciones ferroviarias, en especial a la parte que contiene el vestíbulo y las oficinas asociadas a la misma.

Se recomienda que se adopte el Marco Normativo europeo para edificios sostenibles, Level(s) [27], para elaborar el conjunto de criterios necesarios para construir y operar las estaciones de trenes.

Documentos como “Estación Sostenible 360º”, generado por ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias), también pueden ser utilizados como referencia en el proceso de elaboración de proyectos de estaciones, llevando en consideración no sólo su concepción y construcción, sino también la operación comercial e institucional.

Entre los sistemas de clasificación que pueden ser utilizados, se pueden encontrar como ejemplo:

- LEED – Leadership in Energy and Environmental Design [28]
- BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method [29]
- HQE – Haute Qualité Environnementale [30]
- Sello VERDE Edificios [31]

La mayor parte de los elementos evaluados en los programas de certificación ambiental pueden ser aplicados directamente a los proyectos de estaciones de trenes, empezando por la elección del emplazamiento, su proximidad a equipamientos públicos y servicios y sobre todo la actuación como vector de desarrollo social y económico del entorno dónde serán implantadas.

Otros criterios como la gestión de residuos, el combate a las islas de calor o el sistema de drenaje son de fundamentales para garantizar la instalación sostenible de las estaciones de trenes que van más allá del propio edificio, y que están presentes en las herramientas de certificación disponibles en el mercado.

De este modo, los criterios presentes en los principales sistemas de certificación pueden ser adoptados para concebir, construir y operar una estación sostenible.

## 2. Estado del arte y retos

### 2.1. Estudio de materiales

Dentro de la iniciativa Europe’s Rail Joint Undertaking promovido por el sector ferroviario dentro del Programa Marco de Investigación Horizonte Europa para el periodo 2021-2027 se ha recogido la hoja de ruta para la innovación en el sector ferroviario.

Adicionalmente, fruto de la colaboración entre la Plataforma Tecnológica Ferroviaria Española (PTFE) y la Plataforma Tecnológica Española de Materiales Avanzados y Nanomateriales (MATERPLAT), siguiendo las directrices de colaboración entre los agentes del sistema de I+D+i, que deben de seguir las plataformas amparadas bajo la tutela de la Agencia Estatal de Investigación, AEI, del Ministerio de Ciencia e Innovación, se desarrolló el “Documento de posicionamiento, investigación e innovación en materiales avanzados con aplicación en el sector ferroviario”

Ambos documentos hacen referencia a la contribución de la innovación en materiales para la búsqueda de soluciones más sostenibles, que incluya *avances para evitar el agotamiento de los recursos, la erosión, la contaminación, la resistencia, el ciclo de vida, etc. sin que esto derive en una pérdida de eficiencia, en coste o seguridad como por ejemplo sus prestaciones frente al fuego.*

Desde un punto de vista macro, la Estación del Futuro deberá además de *integrar los aspectos relacionados con los procesos constructivos* cómo, por ejemplo, técnica de construcción, la demanda de materiales la durabilidad, el origen (reciclado frente a nuevo y la ubicación), la composición, los procesos de fabricación y reutilización o reciclabilidad, tal y como se plantea en el GlobalABC Roadmap for Buildings and Construction redactado por la Agencia Internacional de la Energía (AIE) para la Alianza Mundial para los Edificios y la Construcción (GlobalABC) [32].



## 2.2. Descarbonización

Los criterios de sostenibilidad en las futuras estaciones deben ser tenidos en cuenta desde la fase de diseño y construcción de las mismas. Se emplearán materiales sostenibles, preferiblemente de cadenas de suministro locales y minimizando los residuos generados. La selección de materiales y procesos de fabricación tendrá en cuenta la minimización del uso de recursos naturales, polución o contaminación medioambiental y huella de carbono. En dicho proceso de construcción también se tendrán en cuenta criterios de economía circular: reduciendo, reusando y reciclando los recursos.

Las futuras estaciones serán energéticamente sostenibles, lo cual implica, entre otras cosas, que sus necesidades energéticas serán mínimas, porque en su diseño se tendrán en cuenta criterios de sostenibilidad y eficiencia, permitiendo el máximo aprovechamiento solar en invierno y proporcionando un aislamiento óptimo en verano.

Estarán dotados de instalaciones de generación de energía renovable (solar fotovoltaica, mini eólica, geotérmica, etc.), sistemas de almacenamiento energético (baterías electroquímicas, almacenamientos térmicos, etc..) y sistemas de gestión energética inteligentes que permitan una óptima gestión energética de los recursos. Estos sistemas permitirán que las estaciones sean autosuficientes energéticamente, más resilientes y con ello también contribuir a la sostenibilidad y descarbonización del planeta, minimizando las necesidades adicionales de sistemas de generación, transporte y distribución de energía.

Las estaciones serán hubs de comunicaciones multimodales en las que se integrarán servicios energéticos para los sistemas de movilidad eléctrica (patinetes, bicicletas, VE, etc.), integrándolos en el sistema de gestión energética global.

Los sistemas de alumbrado serán de alta eficiencia y vida extendida, para garantizar su sostenibilidad. Además, estarán gestionados mediante sistemas inteligentes con dispositivos IoT (“Internet of Things”) que garanticen el aprovechamiento máximo de la luz natural y una transición transparente y eficiente, garantizando un confort visual adecuado y evitando ineficiencias energéticas.

Los sistemas de climatización contarán con sistemas altamente eficientes, basados en bombas de calor reversibles, o soluciones equivalentes de alta eficiencia. La operación de dichos sistemas estará basada en sensores IoT y sistemas de gestión en base a algoritmos de inteligencia artificial que permiten ajustar las condiciones de operación a la ocupación de los diferentes recintos, calidad del aire y a las necesidades de confort y salud de las personas.

El diseño de los servicios auxiliares de las estaciones tendrá en cuenta criterios de sostenibilidad y protección del medio ambiente, integrando soluciones que minimicen el consumo de agua y reduzcan emisiones y residuos.

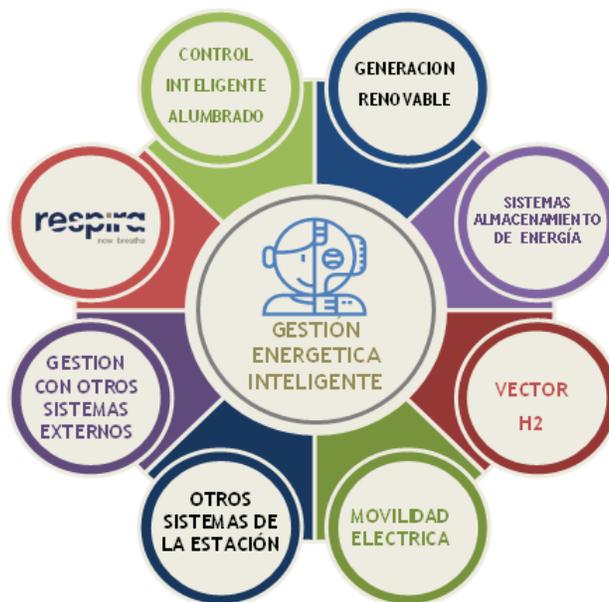


Figura 111. Sistema de gestión energética inteligente



## 3. Soluciones tecnológicas

### 3.1. Introducción

La implantación de la inteligencia artificial en los procesos de producción para poder tomar decisiones en tiempo real y los avances en tecnologías de micro y nanoestructuración para la funcionalización superficial de materiales, así como las nuevas tecnologías y materiales para afrontar los retos de fabricación ligera son innovaciones industriales en auge también en el sector de la construcción, que se traducirán en productos y procesos de producción más competitivos.

La inteligencia artificial no solo es una nueva prestación en los productos que se van a adquirir, sino que también es un nuevo paradigma en los procesos que los fabrican, las tecnologías de manufactura están cada vez dotadas de más sensores y es posible disponer de más datos para conocer el estado de los procesos, mejorar la eficiencia y asegurar la calidad y la personalización de los productos.

Toda esta información fluye por redes con gran ancho de banda y es procesada a mucha más velocidad que hace unos años, por lo que la inteligencia artificial ya puede apoyar el estado completo de una planta de producción y permitir la toma de decisiones óptimas en tiempo real, esta evolución hace posible vislumbrar ya en algunos sectores industriales el paradigma de la 'cibermanufactura', plantas de producción con procesos que anticipan y corrigen errores productivos y que aprenden autónomamente a medida que solucionan nuevas situaciones.

Este gran paso adelante es fruto no solo de los avances en tecnologías concretas, sino de la convergencia de todas ellas para un mismo propósito, que pone de relieve que el abanico de tecnologías hardware, como sensores, actuadores, redes de comunicación, microprocesadores, mecatrónica y robótica, permiten desplegar el equivalente al sistema nervioso y neuromuscular de las plantas de producción.

Por otra parte, la batería de tecnologías software, como la inteligencia artificial, la ciencia de datos y la ingeniería del conocimiento, permite dotar de cerebro en todo este entorno, un cerebro centralizado, como es el de la computación en la nube, y multitud de cerebros distribuidos, en el caso de la computación ubicua. Todo esto hay que dotarlo, de un robusto sistema inmunológico, que sería el cometido de los sistemas de ciberseguridad.

Con plantas de producción funcionando así, será mucho más fácil afrontar retos globales como el de la economía circular y la responsabilidad social corporativa, entre muchas otras cosas.

### 3.2. Superficies funcionales

Las tecnologías para inducir cambios en las propiedades y características superficiales de materiales "han ido evolucionando en los últimos años de forma acelerada, están implementándose en procesos actuales y seguirán evolucionando en los próximos años".

Algunas de estas tecnologías, por ejemplo, tienen como fuente de inspiración las pieles de algunos seres vivos, soluciones en forma de texturas específicas que la misma naturaleza ha ido perfeccionando con la evolución de sus especies para adaptarse y sobrevivir. Estas estrategias centran el interés de diversos sectores industriales para dotar a los productos de todo tipo de funciones superficiales, como hidrofobicidad, adhesión, regulación térmica, baja fricción o prevención del crecimiento bacteriano.

Un claro ejemplo de esta tendencia se encuentra en la electrónica impresa, que permite imprimir, con el bajo coste que la impresión supone, en superficies flexibles, desde leds que den luz o células fotovoltaicas que transformen la luz en electricidad hasta baterías impresas que nutran de energía a estos circuitos, en lo que es solo el comienzo ya real de una tendencia imparable.

### 3.3. El reto de perder peso

Por otra parte, ciertos sectores industriales han puesto a dieta sus productos, ya que necesitan reducir peso para rebajar las emisiones de CO<sub>2</sub> o para simplemente dar respuesta a la tendencia de los consumidores, que quieren que sean más ligeros manteniendo o incluso aumentando las propias prestaciones del producto.



Para conseguir este reto, se lleva años trabajando desde la I+D hasta su escalado industrial y están irrumpiendo nuevos materiales metálicos como los aceros avanzados de última generación o las nuevas aleaciones ligeras de alta resistencia, basados en aluminio, magnesio, titanio o berilio.

También se están consiguiendo materiales compuestos de matriz polimérica reforzada con fibras como las de carbono a menores costos y con mejor cadencia productiva que permiten producir piezas de bajo peso y altas prestaciones mecánicas. Con la impresión 3D se pueden, además, hacer realidad nuevos diseños y geometrías que no solo reducen peso, sino que abren nuevas vías al diseño optimizado de componentes.

### 3.4. Como la Inteligencia Artificial logra edificios inteligentes y más eficientes

Durante décadas, la innovación tecnológica ha revolucionado las empresas y los hogares, ofreciendo innumerables beneficios y crecimiento a largo plazo en los edificios inteligentes. Ahora, estas tecnologías están preparadas para transformar las estructuras que forman la base de las ciudades y su desarrollo.

Se puede decir que un edificio se convierte en una construcción inteligente cuando:

Es capaz de generar seguridad, eficiencia energética, confort, actividades mecánicas, mantenimiento y operaciones de manera automatizada y controlada, sin estar de manera constante un operador o equipo de personas. Comparar los edificios actuales con lo que eran hace unos años permite reconocer cambios notables en la tecnología usada. En la actualidad los edificios inteligentes son algo más que cuatro paredes y un techo. De hecho, en los edificios actuales, las construcciones inteligentes tienen ahora incluso oídos y ojos, todo gracias a las tecnologías digitales.

Una de esas tecnologías que está trayendo nuevas olas de cambio es la Inteligencia Artificial. La idea detrás de este concepto es proporcionar una experiencia sin problemas a los habitantes mientras se utilizan eficientemente los recursos energéticos.

La IA o Inteligencia Artificial de la mano con los edificios inteligentes está siendo una combinación ideal para racionalizar, optimizar e innovar el funcionamiento de los edificios. Con la unión de la IA y los edificios inteligentes, los administradores y responsables de edificios podrán garantizar una mayor estabilidad estructural y así mismo minimizar los impactos ecológicos negativos del entorno.

El edificio inteligente ha sido una frase de moda desde hace bastante tiempo.

Sin embargo, si se mira un poco más a fondo de qué trata todo esto de la domótica, automatización e inteligencia artificial al interior de los edificios. En la actualidad no se ha logrado ninguna definición universalmente aceptada a la que referirse en el tema, pero si se puede, como se menciona antes, nombrar las características de un edificio inteligente.

En términos sencillos, los edificios inteligentes pueden denominarse modelos estructurales automatizados capaces de responder a eventos en tiempo real.

¿Qué características tienen los edificios inteligentes?

Anteriormente, en los edificios se instalaban cámaras de vigilancia de CCTV, sensores de detección de humo y otros sensores de luz para dar mayor seguridad y eficiencia.

Hoy en día, existen en el mercado sensores inteligentes para controlar la temperatura, la humedad, el CO<sub>2</sub> y más sensores que en la actualidad están siendo incorporados al interior de los edificios. Las cámaras y los sensores se instalan en todas partes en un edificio. Los datos generados por estos dispositivos conectados entre sí al interior del edificio les permiten comunicarse y sincronizar datos. Con estos datos e inteligencia tan completos, los administradores de edificios tienen total transparencia y control de los diferentes sistemas de los edificios. Teniendo en cuenta la comodidad, la seguridad y la protección de los ocupantes, los gerentes pueden afinar las operaciones para mejorar la experiencia de vida de los residentes del edificio.

Los edificios inteligentes no sólo cuidan completamente el confort y la seguridad de los residentes, sino que también promueven el ahorro energético y financiero.



### 3.5. Las estaciones inteligentes

Las estaciones inteligentes mejoran en gran medida la experiencia de viaje.

La visión de la estación ferroviaria 4.0, también denominada como 'Smart Station', gira en torno a cuatro dimensiones: las operaciones, las instalaciones, la seguridad y los pasajeros, siendo la experiencia de uso del viajero y su posterior monetización los factores que realmente impactan en la cuenta de resultados.

Es clave atraer y fidelizar a los viajeros mediante el incremento del portfolio de servicios, fomentar la colaboración entre los operadores ferroviarios y de infraestructuras, comerciantes y administraciones públicas, además de optimizar los procesos que afectan directamente al pasajero, como la información en tiempo real sobre los trenes o propuestas de entretenimiento y ocio.

Para dar respuesta a las necesidades derivadas de la transformación de la gestión y del modelo de negocio de las estaciones, el modelo de Smart Station se basa en la experiencia acumulada en la gestión del sector. Una experiencia que se suma a las últimas tendencias digitales como IoT, Big Data, Cloud y Movilidad, que permiten la monitorización y asistencia en tiempo real a través de dispositivos móviles a instalaciones y activos (ticketing, cámaras de seguridad, check-in, escaleras mecánicas, ascensores, limpieza...), el análisis de la información (descriptivo, predictivo y prescriptivo) y una amplia oferta de servicios al viajero.

### 3.6. Innovación y experiencia multimodal

El uso de tecnologías Big Data permite definir modelos de comportamiento de los pasajeros en las terminales, ayudando a predecir sus tiempos de llegada, sus movimientos y necesidades. De esta forma los gestores de la infraestructura pueden preparar con anticipación los recursos necesarios para afrontar la demanda esperada y mejorar, de esta forma, la experiencia del pasajero.

Shift2Rail, una iniciativa de investigación europea para el sector ferroviario está impulsando el desarrollo de sistemas de información y soluciones de pago intermodal que permita utilizar tren, avión, autobús y metro con un solo título de transporte.

Entre otras ventajas, el modelo de estación inteligente facilita la identificación de personas potencialmente sospechosas o de situaciones peligrosas mediante escucha activa en redes sociales; la movilización de recursos en tiempo real como consecuencia de tareas de mantenimiento tanto de infraestructura ferroviaria, como en la estación, o identificación de zonas de congestión; o el suministro de información sobre retrasos de trenes con propuestas de ocio, entretenimiento, comercio y restaurantes para hacer la espera más amena", enumeran desde la compañía.

### 3.7. El metaverso y la estación ferroviaria

Los mundos virtuales no son nada nuevo, y existe una gran cantidad de ellos, sobre todo en el sector de los videojuegos. Tú te creas un personaje o avatar, y te adentras en ese mundo a vivir aventuras a través de tu ordenador. Sin embargo, el metaverso no busca ser un mundo de fantasía, sino una especie de realidad alternativa en la que se podrá hacer las mismas cosas que se hacen hoy en día fuera de casa, pero sin moverse de la habitación.

El término metaverso viene de una novela de 1992 llamada, y es un término que se ha asentado para describir visiones de espacios de trabajo tridimensionales o virtuales. Este metaverso, por lo tanto, significa un mundo virtual en el que se puede interactuar, y que ha sido creado para parecerse a una realidad externa.

El metaverso son algoritmos que guardan clics e interacciones de audio, video, imágenes, voz, texto, ubicación que usuarios ejecutan. Realiza cálculos sistemáticos que permiten conocer gustos y deseos. Reenvían datos pre-analizados y personalizados para presentar productos y servicios cubriendo necesidades de marcas y clientes. Puede manifestarse en cualquier aplicación digital posible, es invisible, es cada individuo, a través de TV on demand, radio por internet, portales web, redes sociales, música, videojuegos, chats, enlaces, programas de cómputo que imagines, recuerda, donde existe interacción entre usuarios e internet, existe metaverso.



El metaverso es un universo post-realidad, un entorno multiusuario perpetuo y persistente que fusiona la realidad física con la virtualidad digital. Se basa en la convergencia de tecnologías, como la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA), que permiten interacciones multisensoriales con entornos virtuales, objetos digitales y personas. Por tanto, el metaverso es una red interconectada de entornos inmersivos y sociales en plataformas multiusuario persistentes.

Los metaversos son entornos donde los humanos interactúan e intercambian experiencias virtuales mediante uso de avatares, a través de un soporte lógico en un ciberespacio, el cual actúa como una metáfora del mundo real, pero sin tener necesariamente sus limitaciones.

El metaverso está compuesto generalmente por múltiples espacios virtuales tridimensionales, compartidos y persistentes, vinculados a un universo virtual percibido.

En un sentido más amplio, el metaverso puede referirse no solo a los mundos virtuales, sino a las experiencias multidimensionales de uso y aplicación de internet en su conjunto, especialmente el espectro que combina la web 2.0, la realidad aumentada, la tecnología de tercera dimensión y la realidad virtual.

Hasta ahora se han identificado usos aplicados de los metaversos en el terreno del entretenimiento, la teleeducación, la telesalud y especialmente en el campo de la economía digital, en donde comienzan a emerger nuevas formas de valor como los token no fungibles (NFT, por sus siglas en inglés).

La tecnología está preparada para generar estaciones ferroviarias completamente digitales con multitud de posibilidades. La generación de contenidos para que los usuarios puedan vivir y disfrutar experiencias únicas, divertidas e inmersivas, centradas en la industria ferroviaria a través de la gamificación blockchain. La tecnología puede permitir disfrutar de viajes en tren dentro de un mundo virtual, además de otras experiencias como la propia conducción de un tren, disfrutar de visitas a museos ferroviarios para mostrar momentos en que las grandes operadoras ferroviarias se cruzan con sus comunidades, entorno, cultura, etc.

Generar estaciones virtuales en el metaverso iguales a las estaciones físicas puede permitir ofrecer servicios mucho más personalizados y ofrecer un servicio adaptado a las necesidades de cualquier usuario. El transporte puede ser mucho más accesible, ya que la estación en el metaverso puede incluir recomendaciones, rutas alternativas, información de guía, etc. al utilizar el propio cuerpo como controlador de las experiencias inmersivas, las barreras de uso se reducen y puede ser más fácil el acceso a la información, la formación, las experiencias de ocio entre muchas otras cosas.

El metaverso puede representar un gran punto de inflexión para la accesibilidad del mundo físico y digital.

En primer lugar, el desarrollo del metaverso está estrechamente vinculado no solo con el desarrollo de tecnologías de realidad extendida, sino también de reconocimiento de voz, facial y gestual. Todos estos avances permiten pulir la distancia que, casi inevitablemente, establecen una pantalla y un teclado convencionales. Así, como ya están demostrando algunas soluciones 'alimentadas' por inteligencia artificial, la tecnología puede ayudar a superar las limitaciones físicas -incluso la distancia y el tiempo- del mundo offline.

En segundo lugar, dado que la próxima generación de internet va a traer una explosión de contenidos, servicios y plataformas digitales, los buscadores e indexadores web se van a tener que seguir sofisticando, y es seguro que darán un mayor peso al cumplimiento de objetivos ESG, en inglés 'Environmental, Social and Governance. Cabe matizar que, si bien la legislación española garantiza el cumplimiento de ciertas pautas de accesibilidad, las limitaciones visuales, motrices, auditivas o cognitivas de algunas personas continúan limitando sus oportunidades en la 'sociedad de la información' actual.

Por último, resulta esperanzador el compromiso de la propia industria tecnológica por la inclusión social y por mitigar el riesgo de que algunos sectores de la población queden relegados de los avances tecnológicos.

### **3.8. Materiales sostenibles**

Se hace vital la mejora de los métodos fabricación y construcción existentes y el establecimiento de tecnologías innovadoras permitan una mayor eficiencia y sostenibilidad de los materiales. Esto significa o



implica el producir materiales de construcción de buena calidad, aumentar su eficiencia y reducir su energía incorporada.

Un 40% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) están relacionadas con el sector de construcción por lo que existe una creciente preocupación con respecto al cambio climático.

La construcción de los edificios y sus infraestructuras tienen un impacto significativo en la sostenibilidad en todo el mundo. En este sentido pequeñas acciones tienen grandes resultados y, los sistemas de construcción industrializados podrían reducir estos impactos en comparación con los sistemas de construcción tradicionales

Mejorar la eficiencia energética de los edificios contribuye a una mejoría en la sostenibilidad. Es importante tener en cuenta que los edificios contribuyen con más de un tercio del consumo de energía, por lo que es imprescindible desarrollar nuevas formas de lograr un equilibrio entre edificios “cómodos y habitables” con una gestión eficiente de los recursos y, sobre todo, con la protección del medio ambiente

Por tanto, avanzar hacia la sostenibilidad es una clave importante para mejorar la eficiencia energética, algo vital para ralentizar el agotamiento de la energía y recursos fósiles.

En este sentido, en la 34ª cumbre del G8, se destacó la importancia de la sostenibilidad en los edificios y se señaló que el desarrollo sostenible solo es posible si existen ciertas políticas para minimizar el agotamiento de la energía y las emisiones de efecto invernadero.

La industria de la construcción es responsable de un consumo significativo de recursos relacionados con la sostenibilidad global:

- 40% de los recursos materiales
- 60% de los minerales extraídos de la litosfera
- 25% del agua,
- 35% de la energía
- 12% del suelo en todo el mundo

Además, genera más del 25% de los residuos sólidos y el 38% de los gases de efecto invernadero (GEI) en todo el mundo.

Sólo en Europa en 2016 se generó 374 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición y esto pueden aumentar sustancialmente con crecimiento de la población y sus nuevas hábitos de consumo.

Por todo ello, el sector de la construcción en general y la fabricación de materiales reciclados cuenta con una gran capacidad de evolucionar hacia un sector más sostenible y resiliente. Es decir, tienen capacidad de revertir la situación actual enfrentándose a oportunidades para reducir los impactos actuales, transformando los modelos actuales hacia un modelo vinculado al ciclo de vida completo y los objetivos de desarrollo sostenible

En este sentido, para lograr ODS en la construcción de edificios, se debe trabajar en mejorar metodologías y técnicas de ahorro de energía, uso de recursos energéticos renovables, materiales más eficientes y sostenibles, reutilización / reciclaje, etc.

Los edificios son los mayores consumidores de energía y emisores de gases de efecto invernadero, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. En Europa, el uso de energía en los edificios por sí solo es responsable de hasta el 50% de las emisiones de dióxido de carbono

Esto abre la puerta a trabajar de forma urgente en el ahorro de energía, el control de emisiones, la producción y aplicación de materiales, el uso de recursos renovables y el reciclaje y la reutilización de materiales de construcción. Además, el desarrollo de nuevos materiales y prácticas de construcción ecológicas es de primordial importancia debido a las crecientes preocupaciones ambientales.

En un edificio sostenible la eficiencia del material es uno de los elementos más importantes. Para una correcta elección, deben tener el mínimo impacto ambiental y evaluar su vida útil completa ("desde la cuna hasta la tumba") La elección de materiales con bajos impactos ambientales puede reducir de partida emisiones de CO<sub>2</sub> de hasta un 30%



En el sector de la construcción, el 80% las emisiones provienen principalmente de cuatro materiales de construcción intensivos en energía como pueden ser el hormigón, el acero, el vidrio y el cemento.

El análisis del ciclo de vida es vital para evaluar y tomar decisiones encaminadas a mejorar el comportamiento medioambiental de los edificios, siendo además imprescindible implicar todos los parámetros que controlan su eficiencia energética.

La sostenibilidad de un edificio pasa por controlar muchas variables, una de ellas es la elección de materiales de la envolvente por ser los responsables del aislamiento de los edificios, debiendo garantizar un rendimiento satisfactorio y el mínimo impactos al medio ambiente.

El aislamiento de los edificios es vital para el ahorro de energía que puede conducir a una reducción significativa de Emisión de GEI. En este sentido, hay muchos tipos de materiales y tecnologías de aislamiento de edificios que pueden contribuir a la sostenibilidad de los edificios. Estos pueden ser desde sintéticos inorgánicos tradicionales hasta los naturales orgánicos que se basan en recursos biológicos reciclables y renovables.

La sostenibilidad del edificio depende de multitud de variables y acontecimientos que se suceden durante todas las etapas de vida útil. Desde el diseño y características de los materiales y del propio edificio, hasta su desmontaje o demolición, incluyendo la gestión de residuos influirán en la cantidad de GEI emitidos y de su sostenibilidad. Se deben adoptar nuevas estrategias o actualizar las actuales abordando todos los procesos asociados con la construcción de edificios.

Otro parámetro a tener en cuenta en los materiales es su rendimiento higrotérmico que será trasladado al edificio. Esto es un elemento clave para el diseño sostenible, la salud y el confort del ambiente interior.

Para alcanzar la neutralidad climática para 2050 (Pacto Verde Europeo) se deben producir grandes cambios en la industria de la construcción en un futuro próximo. El impacto ecológico de los edificios o su sostenibilidad se pueden abordar desde diferentes frentes.

### 3.8.1. Impacto ambiental

El impacto ambiental de los edificios puede verse significativamente influenciados por la elección de los materiales de construcción. Cuanto más eficiente sea el funcionamiento de un edificio, menor será su impacto en el medio ambiente y viceversa.

En este sentido, en edificios altamente eficientes, la energía incorporada puede representar entre el 74% y el 100% de la energía total necesaria por ello hay mucho trabajo por realizar para mejorar o reducir el impacto ambiental de los edificios.

Para poder analizar donde se puede actuar, la energía incorporada se puede dividir en:

- Energía consumida en la producción
- Energía necesaria para el transporte
- Energía requerida para la construcción

A esto se puede añadir que la energía incorporada en los materiales de construcción no es un parámetro fijo, porque depende de otras variables difíciles de controlar como el área geográfica, el proceso de fabricación, etc.

Una mejora en los procesos, la prefabricación o la estandarización pueden contribuir a tener menos problemas de calidad y un menor desperdicio de recursos.

Además de lo indicado, otros aspectos donde se puede actuar para mejorar el ciclo de vida de los edificios son:

- La escalabilidad de la tecnología, que puede contribuir a reducir los costos a través de la producción en masa.
- Alargar la vida útil es importante al reducir el consumo de recursos.
- El Mantenimiento es importante desde construir de forma más eficiente para que precise del menor mantenimiento posible a la vez que se alarga su vida útil.



- La modularización permite fabricar y entregar el producto en módulos y/o kits listos para usar e instalar.
- El reciclado y la reciclabilidad de los materiales y componentes de un edificio deben ser tenidos en cuenta desde el principio.
- La localización de la producción y utilización de los materiales es otro punto importante en la sostenibilidad de los edificios, debiendo evaluar los materiales además por su cercanía a la construcción.

El uso de productos de base biológica como la madera o con productos industrializados como elementos de hormigón sostenible, pueden permitir en los próximos años mejorar la sostenibilidad de los edificios actuales. No siendo esto un punto final a la mejora, sino un primer paso para seguir innovando y desarrollando **materiales más sostenibles y descarbonizados**.

No existe una solución perfecta y rápida para abordar el problema de tener edificios más sostenibles, pero la combinación de múltiples tecnologías o innovaciones en materiales más sostenibles pueden contribuir a obtener mejores soluciones que las actuales.

Se debe construir a medida con técnicas avanzadas y sostenibles para adaptarse a cada caso, con recursos lo más cercanos posibles y con materiales más eficientes.

### 3.8.2. Materiales

#### MATERIALES PARA AISLAMIENTO

En cuanto a la mejora de la envolvente térmica, los productos de aislamiento térmico convencionales que se están utilizando actualmente son principalmente la lana de vidrio, lana mineral, espuma fenólica, espumas de poliuretano, poliestireno expandido y poliestireno extruido.

La mayoría de estos materiales están siendo infrutilizado como material de reciclaje al no obtener productos de alta calidad y su volumen de residuos aumenta anualmente. Sin embargo, otros materiales aislantes fuera de los convencionales, como los de base biológica permiten mejorar su reciclado, como pueden ser los derivados de fibras naturales, como madera, cáñamo o lino.

En este sentido, alternativas sostenibles pueden ser: utilizar aislantes térmicos de fibras de bambú o similares como la caña común que, además es una especie invasora, y, diferentes biopegamentos mediante termoprensado; o utilizando de desechos de paja de trigo como agregado y geopolímero como aglutinante.

Los materiales de aislamiento de base biológica contribuyen a reducir la energía incorporada del edificio. El aislamiento de la cubierta es uno de los elementos que hay que estudiar más a fondo para mejorar la eficiencia energética. Además, cualquier modificación sobre la envolvente térmica afectará durante toda la fase operativa del edificio. Es decir, los materiales utilizados contribuirán aportando mayor o menor energía consumida durante toda la vida útil del edificio.

La fibra de vidrio, la lana de roca junto con el poliestireno expandido y el extruido son los materiales de aislamiento más utilizados en la construcción a pesar de que no son completamente sostenibles además de presentar algunos otros problemas importantes como alta inflamabilidad y liberación de humos tóxicos. Por todo ello, hay mucho camino que andar hacia una construcción más sostenible y descarbonizada, pasando por el desarrollo e innovación de nuevos materiales más sostenibles y reciclados.

Además, en alguno de los casos, el uso de materiales de construcción hechos de materias primas renovables o biológicas no solo permite reducir la demanda de energía, mejorando el impacto ambiental, sino que también tiene otros beneficios importantes, como puede ser la calidad del aire, la salud humana, etc.

La sostenibilidad de los materiales de aislamiento de los edificios del futuro debe evaluarse desde aislamiento térmico, la demanda de energía, las emisiones de GEI y sus propiedades ecológicas



La innovación en estos materiales debe permitir mejorar la sostenibilidad de la construcción y los edificios, sin que tengan efectos nocivos para la salud humana. En este sentido, los materiales orgánicos pueden desempeñar un papel importante.

Como resumen o conclusión, en los edificios sostenibles del futuro, no solo se debe trabajar en la reducción del consumo de energía y las emisiones de GEI, sino también en la utilización de materiales naturales y locales respetuosos con el medio ambiente, además de renovables y reciclables. Hay que trabajar y evolucionar la idea de una construcción más ecológicamente racional.

### MATERIALES DE BASE BIOLÓGICA

Una de las opciones de mejorar la sostenibilidad de los edificios del futuro es utilizar materiales más respetuosos con el medio ambiente, como lo son los de origen natural.

La sostenibilidad de estos materiales de base biológica contribuye por su abundancia y disponibilidad local, reciclabilidad, biodegradabilidad, renovabilidad y costo al ahorro de energía y a la sostenibilidad de los edificios mediante su energía incorporada, el agotamiento y la generación de residuos.

Los materiales de construcción de base biológica por lo general provienen de plantas y/o animales por lo que los recursos para estos productos pueden obtenerse de cultivos, residuos agrícolas, desechos animales, materiales forestales, incluso de desechos posconsumo.

Algunos ejemplos de estos materiales puede ser el bambú, la paja, otras fibras, aceites de semillas y muchos residuos naturales como la biomasa etc.

En este sentido, el bambú es un ejemplo claro de material sostenible, pudiendo a tener impacto ambiental muy bajo, hasta 20 veces mejor que un material convencional equivalente. Es un material abundante en las regiones tropicales y de costos relativamente bajos en esas zonas. Cuenta con excelentes propiedades mecánicas, peso ligero y alta tasa de crecimiento. Con él se están creando nuevos materiales y aplicaciones como suelos laminados, paneles, aglomerado, tableros, etc.

Otro ejemplo de estos materiales es sostenible de aislamiento es la lana de oveja dadas sus características. Es un material natural, renovable y sostenible que no causa irritaciones ni tiene impacto negativo en la salud humana. Es transpirable, no fomenta la combustión y absorbe de forma natural la humedad del aire, así como el ruido.

### GEOPOLÍMEROS

Las emisiones totales de CO<sub>2</sub> atribuidas a la producción de cemento pueden contribuir con alrededor del 7% de las emisiones mundiales. La emisión media resultante de la fabricación de cada tonelada de clínker es de alrededor de 0,87 toneladas de CO<sub>2</sub>.

La fabricación de materiales de construcción agota los recursos no renovables a causa de la extracción ilimitada de materias primas y del consumo de recursos fósiles. Por todo ello, es vital reducir ambos términos para construir edificios más sostenibles.

Esto se puede obtener a muchos niveles, por ejemplo, valorizando residuos de construcción que generan las propias empresas (aplicando principios de economía circular y Km 0). Por otro lado, utilizando los propios RCD u otros residuos activados alcalinamente se puede eliminar hasta el 100% del Clinker de los hormigones diseñados (geopolímeros).

Los conglomerantes hidráulicos a partir geopolímeros sin clínker pretenden resolver parte de esta problemática. Además, estos hormigones sin Clinker pueden presentar ventajas técnicas importantes en determinadas aplicaciones respecto a los cementos convencionales. Pueden tener mejoras en el comportamiento al fuego, resistencia frente a ataques ácidos, resistencia a la presencia de yesos, aguas puras, etc.

Los cementos sin clínker pueden denominarse descarbonizados por dos motivos, por sus menores emisiones de CO<sub>2</sub> eliminando del proceso la calcinación de la piedra caliza en los hornos y por la posibilidad del empleo de grandes cantidades de residuos valorizados utilizados como precursor (ceniza volante, escoria, cenizas de biomasa, RCD, etc.).



Como un punto intermedio, también existen los denominados cementos híbridos que son mezclas de cementos alcalinos sin cemento de clinker y el tradicional Cemento Portland.

En la actualidad, existen varios proyectos de investigación que pretenden, principalmente, la valorización los residuos de construcción y demolición (RCD).



*Figura 112. Desarrollo de geopolímeros con RCD*

Por un lado, se están desarrollando hormigones sin cemento de Clinker (geopolímeros) utilizando como material cementante residuos de construcción seleccionados. Por otro lado, los propios RCD son utilizados como áridos en los geopolímeros. Con la combinación de ambos ejes de innovación se está trabajando en obtener una amplia gama de hormigones más sostenibles y ecológicos que van desde el geohormigón con 0% de clinker y con 100% de árido reciclado hasta combinaciones de geohormigones con diferentes porcentajes de RCD con la intención de poder ser usados en diferentes aplicaciones, incluso estructurales.

Para desarrollar estos hormigones sin cemento de clinker se puede partir de la valorización de multitud de residuos, desde industriales (escorias, cenizas o polvo), hasta de la industria alimentaria o forestal.

Este tipo de proyectos debe nacer de la necesidad de la empresa por construir con materiales más sostenibles, a la vez que de dar una salida sostenible a las grandes cantidades de materiales de desecho que se generan en las obras o en cualquier industria.



*Figura 113. Investigadores de la UPCT formulan y testan hormigón sin cemento y de reciclaje*



### HORMIGÓN LIGERO SOSTENIBLE

El hormigón ligero sostenible se puede conseguir de forma resumida suprimiendo las fracciones más finas del árido (0-5mm) o sustituyendo estos áridos por residuos ligeros como por perlas EPS, corcho o equivalentes.

También se puede añadir agentes incorporadores de aire. Se les denomina también hormigón celular, hormigones aireados, hormigones espuma, etc.

Con ello, se obtiene una reducción de la densidad y mejoran sus prestaciones como aislante térmico, aunque sus propiedades mecánicas descienden.

### HORMIGONES AUTOREPARABLES Y/O AUTOCURATIVO

El hormigón, es uno de los materiales más utilizado en el mundo, es asequible, tiene un bajo costo de producción y posee propiedades mecánicas considerables. El hormigón para la construcción se ha visto potenciado su uso desde mediados del siglo XX, y se presagia que su incremento continúe. No obstante, el envejecimiento del parque constructivo está experimentando en los últimos años un deterioro sin precedentes, ocasionado un gasto anual en reparación y mantenimiento elevado.

Este problema ha ocasionado especial atención a la durabilidad y longevidad de las infraestructuras de hormigón, afectando a la sostenibilidad de los edificios.

Uno de los importantes problemas del hormigón es su vida útil y cometido durante la misma, principios que se ven dañados por mecanismos de fisuración causados en primer lugar por la naturaleza del material, y en segundo lugar por la acción de agentes externos, pudiendo distinguirse las de:

La fisuración del material tiene como consecuencia penetración de agentes agresivos que provocan una disminución en sus prestaciones mecánicas y consecuentemente una disminución en su potencial vida útil. Por todo ello es necesario recurrir a los hormigones autorreparables, definiéndose esta como cualquier proceso ejecutado por el mismo material que involucre la recuperación y por lo tanto, la mejora de su comportamiento después de una acción que haya causado, por todo ello nació la búsqueda de un hormigón autorreparable (self-healing en inglés).

Se ha estudiado y comprobado que el hormigón tiene ciertas capacidades de autoreparación de las fisuras en condiciones específicas que recibe el nombre de "reparación autógena", gracias a los componentes propios del hormigón que lo conforman inclusive cuando el material no fue creado para ser auto-reparante.

### HORMIGÓN ECOLÓGICO O BIOCONCRET

El crecimiento urbano sobre el territorio de las ciudades europeas durante los últimos años, resultado de la extraordinaria expansión de la urbanización, ha causado un abuso de recursos y del suelo, llevando como consecuencia la falta de espacios urbanos verdes.

De tal manera las ciudades, y sobre todo sus cascos antiguos, no suelen tener suficientes espacios verde urbano y a menudo no llegan tampoco a los valores mínimos de espacios verdes prescritos por las normas vigentes, con el resultado de que las ciudades se hacen menos habitables en muchos aspectos.

En primer lugar, la ausencia de zonas verde hace las ciudades más estériles estéticamente, de hecho, la presencia de vegetación tiene efectos terapéuticos a nivel psicológico de los ciudadanos y además ofrece la oportunidad de percibir la diferencia entre las estaciones.

En términos energéticos la vegetación, gracias a la respiración de las plantas, ayuda a mantener una temperatura óptima de las ciudades, contribuyendo a evitar el actual fenómeno de las islas urbanas de calor, o sea de esas zonas edificadas que, a causa de la acumulación de calor debida a la construcción con materiales absorbentes.



Durante los meses de verano las plantas pueden proporcionar una refrigeración de los edificios debido a la evapotranspiración (mejoras térmicas). Esto conduce a una reducción en la temperatura máxima, que a su vez ayuda a reducir el sobrecalentamiento del edificio. En el invierno, los hormigones con plantas pueden proporcionar aislamiento al edificio.

Diversos estudios muestran que hay una relación directa entre las altas temperaturas urbanas y la falta de vegetación y obviamente dentro de las causas de este fenómeno está la energía gastada por la refrigeración, actualmente utilizados en exceso porque, por un lado, los cerramientos no son suficientemente eficaces y por otro porque ellos mismos forman parte de un círculo vicioso, ya que generan un calor extra y su uso se incrementa con la temperatura.

La incorporación de sistemas de paredes verdes como componente integrada en el edificio permite minimizar la penetración de las radiaciones solares dentro del edificio, influyendo de tal manera en la temperatura tanto del aire interior como la del ambiente exterior; por esta razón constituyen excelentes sistemas de ahorro de energía.

Las fachadas vegetales pueden también desempeñar un papel en la reducción de la contaminación atmosférica, atrapando las partículas y la concentración de determinados contaminantes en sus tejidos. El funcionamiento deriva simplemente de la fotosíntesis de las plantas, por la cual el dióxido de carbono contenido en la atmósfera reacciona con agua y luz produciendo azúcar, que se convierte en su nutrimento, y oxígeno, que será devuelto al aire.

En particular, los musgos, algas y líquenes son más capaces de disminuir el carbono presente en la atmósfera, gracias a su capacidad de captar y absorber el CO<sub>2</sub> y también el nitrógeno. El nitrógeno en particular lo necesitan los líquenes para la formación de proteínas y ácidos nucleicos y los cianolíquenes y por esto son capaces de fijar el N<sub>2</sub> debido a que llevan una cianobacteria como fotobionte asociado.

Los líquenes y los musgos son organismos vivientes compuestos de dos partes que viven en simbiosis: un hongo y un alga. La ventaja de estos organismos es que pueden sobrevivir en todos los ambientes gracias a sus características morfológicas y fisiológicas, desde los naturales hasta los artificiales. Por esta razón los líquenes se establecen, además de en el terreno en diferentes sustratos, como la corteza de los árboles y las rocas, en las superficies producidas por la actividad humana, creando una pátina sobre estas superficies.

El incremento de la contaminación en las ciudades debido a la calefacción doméstica, al tráfico de coches y a las fábricas tiene la consecuencia de la necesidad de evaluar la calidad del aire. Uno de los métodos utilizados para este tipo de evaluación es a través del crecimiento de musgos y líquenes, ya que estos son sensibles a sustancias tóxicas como dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, entre otras.

De hecho, los líquenes tienen la capacidad de conservar incluso en sus partes muertas la memoria histórica de los agentes contaminantes. Las principales características que hacen que los líquenes sean buenos indicadores de contaminación atmosférica son las siguientes:

- Capacidad de absorción y de almacenamiento de sustancias de la atmósfera;
- Resistencia a los estreses medioambientales;
- Incapacidad de deshacerse de las sustancias contaminantes;
- Crecimiento lento y longevidad de los líquenes;
- Sensibilidad a los agentes contaminantes.

El desarrollo de este hormigón puede ayudar a mejorar una ciudad desde el punto de vista medio ambiental y la calidad del aire, ayudando a mejorar la calidad de vida y salud de la población.

Las ventajas del uso de los líquenes como bioindicadores en el hormigón de los edificios son la economicidad del método de evaluación de la calidad del aire y la posibilidad de obtener de manera rápida una estimación de las áreas a mayor riesgo debido a sustancias tóxicas.



### 3.8.3. Comportamiento al fuego

Otro de los puntos clave a tener en cuenta sobre los materiales que integren la Estación del Futuro es la seguridad y, por ello, no se debe olvidar que los materiales de construcción se deben clasificar según su comportamiento al fuego que incluye:

- La reacción al fuego evaluando su comportamiento (ignición, liberación de calor, propagación de fuego, humo, goteo). Para ello, los materiales y productos de construcción están regulados y estandarizados según la norma EN13501-1:2019 donde se aplica un sistema de clasificación con clases A1-F con subcategorías para “s” humo y “d” gotas.
- La resistencia al fuego de los sistemas de uso final (paredes, techos, elementos estructurales, etc.) se evalúa, en función de un tipo de incendio específico, por su comportamiento estructural y de estabilidad, aislamiento térmico, integridad, etc. En este caso, los sistemas de uso final están regulados y estandarizados según la norma EN 13501-2 a 4, y para cubiertas, la resistencia al fuego exterior de acuerdo con una clasificación siguiendo la EN 13501-5:2019.

Además, la investigación en nuevos materiales debe ir más allá a través de la inclusión de nuevas tecnologías como los ensayos virtuales o los gemelos digitales que puedan minimizar el impacto de la realización de los ensayos destructivos necesarios para su validación.

## 4. Mapa de tecnologías

La Estación del Futuro deberá responder a las nuevas necesidades y retos que se plantean en relación con la sostenibilidad. Para ello, es necesario plantear una Hoja de Ruta, sobre aquellas temáticas y tecnologías clave que permitan establecer las líneas de investigación prioritarias que lideren este cambio a través de la investigación, el desarrollo y la innovación. Alguno de los elementos clave identificados pueden ser transversales, como pueden ser la eficiencia o la seguridad, pero debido a su impacto en la sostenibilidad también deben estar aquí considerados.

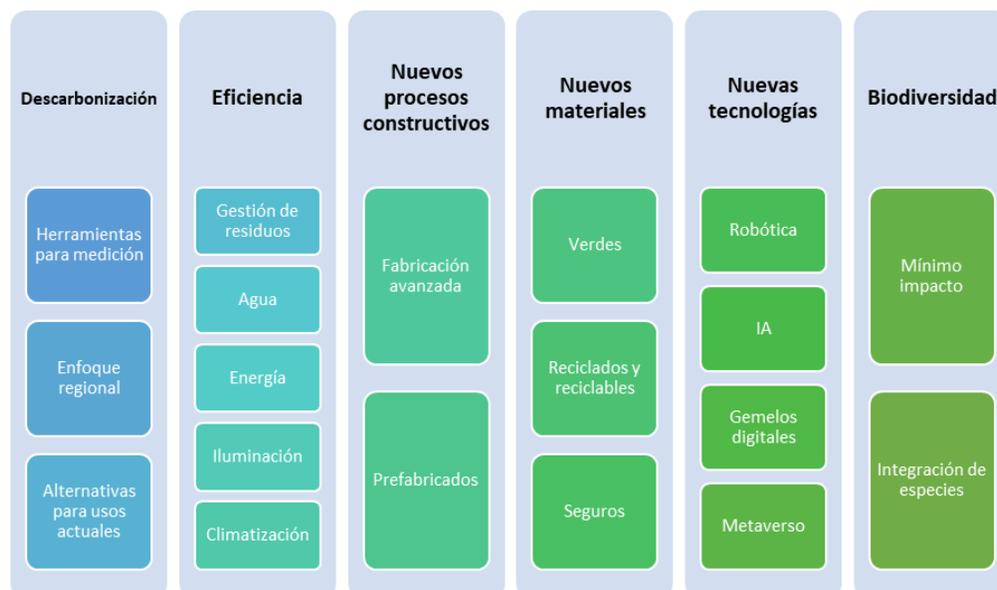


Figura 114. Temáticas y tecnología clave para la Estación del Futuro

## 5. Conclusiones y retos

Las estaciones no dejan de ser edificios que, como tales deben ser cada vez más sostenibles, con el uso de materiales km 0 o reciclados, la introducción de la luz natural y la naturalización de las mismas, pero también en la eficacia de sus procesos y un diseño intuitivo, de manera que el usuario, permanezca el menor tiempo posible en la infraestructura y encuentre rápidamente su objetivo.

El reto más interesante es quizás confeccionar, desde ADIF o la autoridad competente, una guía de sostenibilidad actualizada en la que tengan cabida los materiales, conceptos, tecnologías y retos aquí planteados y con un claro objetivo de descarbonización.



## 6. Casos de uso

### Estación de Warm Springs/Souht Fremont en California, Estados Unidos de América

En 2017, Bay Area Rapid Transit (BART) inauguró oficialmente una nueva estación en Fremont, en el este de California. La nueva estación de Warm Springs/South Fremont fue anunciada como la estación más sostenible de BART hasta la fecha, construida con varias características ecológicas "incorporadas" al diseño de la estación.

Entre otras características, la nueva estación de Fremont incluye paneles solares en el techo de la estación, estaciones de carga para vehículos eléctricos y sistemas de filtración biológica del agua llamados "bioswales".

Los bioswales son sistemas de gestión de la escorrentía de las aguas pluviales hechos con hierbas autóctonas, guijarros, arbustos, robles de la colina del cisne y elementos paisajísticos similares. Estos sistemas recogen y filtran las aguas pluviales que normalmente escurren por los tejados y las superficies pavimentadas, arrastrando los contaminantes a las vías fluviales locales. En la nueva estación, el agua de lluvia se captura en una cuenca subterránea después de ser filtrada por el sistema de bioswale. El agua puede utilizarse en la propia estación o verterse lentamente para no saturar las zonas de drenaje locales.

Otro elemento innovador incorporado es el uso de neumáticos de desecho reciclados para reducir las vibraciones, donde se utilizaron neumáticos triturados en lugar de grava.

### Victoria Station en Londres, Reino Unido

El plan de reciclaje en la estación cuenta con una innovadora gestión de residuos para mejorar su proceso de recogida de residuos. El sistema utiliza un panel de control para registrar en tiempo real las entradas y salidas de residuos.

Los responsables de la separación manual de residuos los limpian para asegurarse de que no hay contaminación y luego procesarlos a través de máquina. Todo el proceso se lleva a cabo in situ para garantizar una menor huella de carbono. Los flujos de residuos se llevan a diferentes lugares para que los procesen por empresas de reciclaje especializadas.



Figura 115. Victoria Station - ©Michael Redina



### Estación Kowlong, Hong Kong

Otros proyectos más recientes han utilizado elementos de diseño paisajístico y natural para mejorar la sostenibilidad. Por ejemplo, la estación ferroviaria de Hong Kong West Kowloon, inaugurada en septiembre de 2018, cuenta con un "techo verde" curvo salpicado de más de 700 árboles. Construida para funcionar como espacio público y centro de tránsito, la estación también es notablemente sostenible. La cubierta verde, además de ser estéticamente agradable, también capta y filtra el agua de lluvia.



Figura 116. Kowloon Station - ©Virgil Bertrand/Aedas

### Intercambiador HS2 Birmingham, Reino Unido

En fase de construcción este intercambiador, uno de los cuatro que están planteados para la línea de alta velocidad de última generación HS2. Según Arup, la empresa encargada de su construcción, esta nueva estación ferroviaria, que se construirá en Solihull y el Centro Nacional de Exposiciones (NEC) en West Midlands, es la primera a nivel mundial en obtener la certificación BREEAM "sobresaliente" – una medida de sostenibilidad para edificios nuevos y rehabilitados. Además, se encuentra en el 1% de los mejores edificios de Reino Unido evaluados con esta medida. Tiene el objetivo de ser la red de alta velocidad más sostenible del mundo y la estación ha sido diseñada para ser de operativa neta cero. Entre las medidas planteadas se encuentran 2.000 m<sup>2</sup> de paneles solares, un tanque de recolección de agua 150 m<sup>3</sup> de capacidad para la recolección de agua de lluvia, estacionamiento para 176 bicicletas, un diseño arquitectónico y paisajístico ecológico, donde además se utilizan materiales sostenibles y bajos en carbono y se crearán hábitats naturales para la integración de las especies autóctonas-



Figura 117. Intercambiador HS2 Birmingham - <https://www.hs2.org.uk/building-hs2/stations/interchange>



Voted Best for  
Broadband + Mobile

STATION LINE 674

PHOTO

El documento  
ha sido editado  
e impreso con  
el patrocinio  
de:





# SEGURIDAD Y CIBERSEGURIDAD

1. Resumen ejecutivo	164
2. Introducción y objetivos	164
3. Estado del arte y retos	165
4. Mapa de tecnologías	168
5. Conclusiones	168
6. Casos de uso	169

## COORDINADORES



## OTRAS ENTIDADES PARTICIPANTES



En colaboración con:





## 1. Resumen ejecutivo

La estación del futuro se vislumbra como un espacio centrado en el pasajero, un entorno integrado y acogedor. Sentirse seguro es un elemento indispensable para alcanzar ese ideal y los recientes avances tecnológicos, nos obligan a afrontar la seguridad tanto desde una perspectiva física como cibernética.

Este documento pretende identificar las principales necesidades de seguridad y ciberseguridad en las estaciones del futuro atendiendo principalmente a la incorporación de nuevas tecnologías como el hidrógeno y los vehículos eléctricos, con los correspondientes nuevos riesgos asociados, y el impacto de las vulnerabilidades asociadas a la mayor conectividad y dependencia de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

Respecto al uso de hidrógeno, se plantea la necesidad de desarrollar un análisis de riesgos para evaluar las necesidades en materia de seguridad del tren de hidrógeno, explorar aplicaciones alternativas del hidrógeno para cubrir otras necesidades de la estación (p.e., climatización), revisar la normativa internacional de seguridad ATEX en particular en lo referente a la incorporación del tren de hidrógeno y examinar posibles metodologías de detección de fugas y concentración de hidrógeno. De forma similar, se considera necesario desarrollar un análisis de riesgos que evalúe las necesidades en materia de seguridad del vehículo eléctrico y del uso de baterías, junto con la revisión de normativa internacional de seguridad y de metodologías de detección de incidencias. Un punto esencial a tener en cuenta y con impacto en varios niveles, incluyendo el arquitectónico, será el diseño y posterior monitorización de los sistemas de ventilación que ayudarán a reducir los riesgos y el impacto de estas nuevas tecnologías.

El siguiente punto importante es el despliegue de infraestructura de telecomunicación y servicios telemáticos asociados. La estación del futuro se caracterizará por una hiper conectividad también desde el punto de vista de las telecomunicaciones. Si el transporte de pasajeros y de mercancía es categorizado como una infraestructura crítica, la correspondiente infraestructura de telecomunicación, los servicios telemáticos asociados y los datos generados deberán mantener el mismo nivel de ciberseguridad exigido para la estación del futuro. Es necesario destacar, que también se debe tener garantías de la seguridad de los propios mecanismos de inteligencia artificial que se apliquen para alcanzar servicios inteligentes.

Se finaliza el capítulo identificando algunos casos de éxito en el ámbito de la seguridad, como son el uso de cargas térmicas en tanques de hidrógeno y riesgos asociados, estudios de riesgos asociados a los estacionamientos de vehículos eléctricos, sistemas inteligentes de gestión de incidencias en ferrocarriles de cercanías, software de simulación de evacuación en tiempo real para eventos multitudinarios, herramientas de análisis de riesgos de atentados terroristas, y el uso de la tecnología blockchain, también denominada Tecnologías de Registro Distribuido (Distributed Ledger Technologies, DLT) tanto en aplicaciones de pago como en soluciones que faciliten el intercambio seguro de información y transacciones asociadas a la estación del futuro.

## 2. Introducción y objetivos

El objetivo principal del proyecto es identificar las principales necesidades en términos de **seguridad y ciberseguridad** en las Estaciones del futuro debidas a los drivers clásicos y a nuevos como son el vehículo eléctrico, hidrógeno y los sistemas ciber físicos.

Se propone enmarcar la gestión de los activos en un entorno de virtualización/digitalización de los entornos físicos incluyendo las posibles réplicas en entornos virtuales que permitan la gestión integral de la estación del Futuro. Se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Condiciones de seguridad relacionadas con la integración de las tecnologías de hidrógeno en el ferrocarril y los entornos ATEX
- Condiciones de seguridad relacionadas con la integración del vehículo eléctrico en las estaciones de ferrocarril y los entornos ATEX
- La ventilación del espacio y la dispersión de H<sub>2</sub>/gases tóxicos en caso de posibles fugas para determinar el tamaño y las zonas susceptibles de concentración de nubes inflamables



- El fenómeno de incendio y/o deflagración provocada por la concentración de H<sub>2</sub> y vehículo eléctrico (y otros orígenes de incendio) para analizar la capacidad del sistema para controlar el evento
- Sistema de ventilación para asegurar una concentración inferior al límite máximo de referencia (4%). Prestaciones de diferentes soluciones y tipologías de ventilación natural, así como diferentes estrategias de mitigación y sectorización
- Análisis y recomendaciones de ciberseguridad para la estación del futuro, así como su posible virtualización
- Desarrollo de un sistema ciber-físico (CPS) en el que herramientas computacionales colaboren con los sistemas que monitorizan y controlan diferentes parámetros de la estación (cámaras, detectores, sensores, actuadores, etc.)
- Seguridad categorizada por tipología de estaciones (mercancías, pasajeros, intermodales, etc.)
- Ciberseguridad entendida como “garantizar la comunicación” en el entorno construido de la estación
- Ciberseguridad entendida como “garantizar la seguridad en las comunicaciones ferroviarias”
- Interoperabilidad de sistemas

### 3. Estado del arte y retos

Los vehículos de hidrógeno y eléctricos suponen una novedad en la sociedad por lo que los riesgos asociados a los mismos no tienen la misma aceptación social que los riesgos asociados a los vehículos convencionales.

No hay mucha experiencia en cuanto a Pruebas de incendio en vehículos a escala real, ni tampoco en cuanto a Pruebas de incendio en batería, ni simulaciones de emisión y dispersión de gases tóxicos en aparcamientos.

#### Hidrógeno

- Desarrollar un completo análisis de riesgos para evaluar las necesidades en materia de seguridad del tren de hidrógeno. Composición de los escenarios de riesgo del caso particular del contenedor del tren de hidrógeno, analizando en detalle las principales variables tales como: Características físicas/explosivas hidrógeno, Trenes, depósitos, pilas, contenedores, Entornos de almacenamiento con tren parado (cocheras, aire libre...), Otros posibles elementos / condiciones de seguridad.
- Explorar aplicaciones alternativas del hidrógeno y sus posibles impactos como por ejemplo su uso para la operación de la estación (climatización, energía, etc.) o el aumento del parque móvil del coche de hidrógeno.
- Revisión de la normativa internacional de seguridad ATEX y en entornos con hidrógeno para determinar necesidades y criterios de diseño comunes a la casuística particular asociada al tren de hidrógeno. Esta revisión servirá para sentar las bases de futuros documentos pre-normativos, así como para establecer el criterio de validación y los requisitos técnicos que el tren de hidrógeno debe cumplir para alcanzar los requerimientos de seguridad establecido.
- Metodologías para evaluar diferentes escenarios de fugas y concentración de hidrógeno. El análisis de los procesos de dispersión y evolución de la concentración de hidrógeno para el estudio de la potencial peligrosidad de nubes de gas y el diseño de sistemas de protección adecuados.



### Vehículos y baterías eléctricas

- Desarrollar un completo análisis de riesgos para evaluar las necesidades en materia de seguridad en las estaciones del futuro por la llegada del vehículo eléctrico junto con la presencia de baterías (actualmente de Li-on) en los mismos, así como en el tren de hidrógeno. Composición de los escenarios de riesgo analizando en detalle las principales variables tales como: Características físicas/explosivas, baterías y vehículos eléctricos.
- Revisión de la normativa internacional de seguridad en entornos con vehículos eléctricos para determinar necesidades y criterios de diseño comunes. Esta revisión servirá para sentar las bases de futuros documentos pre-normativos, así como para establecer el criterio de validación y los requisitos técnicos que el tren de hidrógeno debe cumplir para alcanzar los requerimientos de seguridad establecido.
- Metodologías para evaluar diferentes escenarios por duración del incendio y la toxicidad de los gases y metales emitidos.

### Ventilación

- Necesidades de ventilación para alcanzar los objetivos de seguridad establecidos. (Integración de IOT en las estaciones y su despliegue seguro)
- El análisis detallado de los procesos de dispersión y evolución de la concentración de H<sub>2</sub> para el estudio de la potencial peligrosidad de nubes de gas y el diseño de sistemas de protección adecuados.
- La ventilación del espacio y la dispersión de hidrógeno en caso de posibles fugas para determinar el tamaño y las zonas susceptibles de concentración de nubes inflamables.

Cuestiones fundamentales desde el punto de vista de las infraestructuras físicas de las estaciones son el equipamiento IT y su despliegue físico en la estación, temas como el despliegue de los centros de datos de tipo EDGE y redes 5G con los futuros avances en el área, como la red 6G que ya se está desarrollando, tendrán una repercusión directa en el diseño de las estaciones del futuro, y de cómo funcionarán.



Figura 118. Integración de equipamiento IT en entornos de uso

Las estaciones del futuro tienen un componente de Smart City, así como el despliegue de redes basadas en “SDN” software define Networks que permitirán la integración de sistemas de control y acompañamiento como la tecnología de full-stack observability de diversos fabricantes y proveedores.



Figura 119. Descripción general de un Full-stack

Así mismo muchas de las interacciones entre la infraestructura física y lógica serán por medio de microservicios en un formato de Cloud distribuida, y de alta disponibilidad, lo cual requiere introducir dentro del diseño el despliegue de una "Cloud Pública de transporte basada en nuevos estándares de diversos fabricantes, la Cloud soberana es una de las cuestiones a tener en cuenta, por lo que se han de integrar soluciones flexibles que permitan interactuar con soluciones híbridas, de Cloud pública y privada.

Los datos son el oro líquido de las estaciones del futuro, igual que el sector del automóvil el ferroviario tendrá un alto componente de software que tendrá que interactuar con las infraestructuras físicas.

El diseño de las estaciones va a requerir de una conectividad con los principales nodos de internet e implicaran la puesta en marcha de sistemas de ciberseguridad y ciber inteligencia, dado que se habla de infraestructura críticas como son el transporte de pasajeros y mercancías, que generaran gran cantidad de datos.

El perímetro de actuación de este documento inicial necesita identificar un caso real en un núcleo urbano o más donde se pueda poner a prueba los conceptos y medidas que se van a proponer, así como otros posibles emplazamientos para diseñar una estación del futuro totalmente funcional.

Esto permitirá poner a prueba todos los conceptos y nuevas medidas de actuación, e integración de nuevas tecnologías que requieren de automatización completa de los sistemas, a tanto a nivel físico como lógico.

Ciberseguridad e interoperabilidad de sistemas:

- Establecimiento de los estándares a nivel de red y de despliegue de servicios, dado que existirá un alto componente de software.
- Conseguir una red inteligente que permita la gestión de eventos relacionados con el incendio consistirá en los múltiples instrumentos de medida y sensores ya incluidos en la propia estación (tanto sensores de incendios como de otras aplicaciones), junto con un marco computacional basado en tecnologías BIM para la representación de la estación (propuesto por la Universidad de Cantabria).



## 4. Mapa de tecnologías

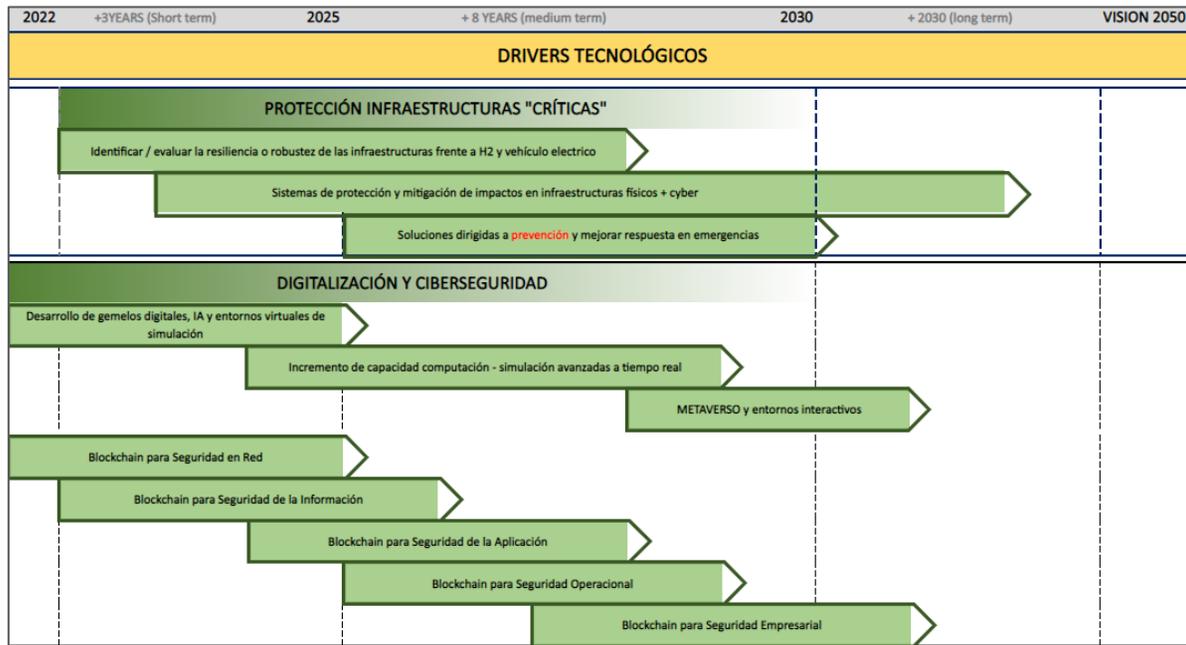


Figura 120. Drivers tecnológicos en la Estación del Futuro (fuente TECNALIA).

## 5. Conclusiones

El gran problema con el H<sub>2</sub> y las **baterías** es la falta de experiencia ahora mismo en cuanto a los riesgos asociados.

En el caso concreto de las baterías, se sabe que en caso de incendio de un vehículo de combustión frente al de uno eléctrico aumenta la **duración** que se está liberando calor. Otra diferencia es que los **gases tóxicos liberados** por los coches eléctricos son ligeramente superiores a los liberados en coches de combustión interna, a excepción del fluoruro de hidrogeno, que su cantidad es muy superior.

Este último elemento es de gran interés ya que en grandes cantidades puede ser absorbido por la piel directamente. Aunque en estas primeras pruebas se observe que las cantidades de fluoruro de hidrogeno producido en estas combustiones no son lo suficiente como para suponer un riesgo, se asemeja al caso anterior, y es que, cuanto mayor es la energía de la batería, mayor es la cantidad de fluoruro de hidrogeno generada.

Todo lo que se hace hasta la fecha es **modelización y simulación estática** cuando lo mejor sería que fuera **dinámica** de tal manera que su pudieran tomar decisiones en tiempo real en función de la complejidad y lo cambiante de las condiciones del entorno.

Dada la complejidad de las estructuras existentes y sus equipamientos se plantearía la generación de la integración de sensorica que midiera la generación del evento, la evolución, recuperación etc. muy del lado de la resiliencia de las infraestructuras críticas.

Por otro lado, **la cadena de bloques es una tecnología transformadora** que abre una nueva ventana relacional para las organizaciones, **sobre la que construir nuevos procesos**. Su potencial, no se puede negar. No obstante, la aplicación de esta tecnología no resuelve los problemas actuales de la ciberseguridad.

Aun así, es cierto que **la tecnología de la cadena de bloques contribuye en este ámbito añadiendo una nueva capa en el stack de tecnologías para la seguridad**, la cual se tiene que contemplar desde una perspectiva de blockchain, y no una visión actual.



## 6. Casos de uso

### Innovación en el área de la seguridad

#### Cargas térmicas en Tanques de hidrógeno

El empleo del H<sub>2</sub> como medio de alimentación del tren del hidrogeno, coches o de la propia estación hará necesario disponer de tanques de almacenamiento que en caso de un evento de incendio pudieran llegar a poner en peligro la seguridad de los ocupantes.

El Proyecto “Fuel Cell Hybrid PowerPack for Rail Application (FCH2RAIL)” financiado por el Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking FCH2 JU (GA101006633) tiene como objetivo desarrollar, construir, probar, demostrar y homologar un PowerPack híbrida de pilas de combustible escalable, modular y polivalente aplicable a diferentes aplicaciones ferroviarias.

Adicionalmente se considera la necesidad de establecer normas específicas con los organismos de seguridad ferroviaria, los operadores, los fabricantes de material rodante y los fabricantes de pilas de combustible sobre la seguridad, la instalación y las pruebas de rendimiento.

Una posible aplicación en este caso sería el uso de modelos de simulación computacional para poder estimar las cargas térmicas a las que se vería sometido un tanque de hidrógeno debido a un incendio de elementos adyacentes al mismo, por ejemplo, baterías de Li-ion. El cálculo de esas cargas térmicas permitiría saber si se va a producir el venteo del gas, y por lo tanto poder prever diferentes soluciones de protección que eviten que se alcancen condiciones críticas.

#### Vehículos eléctricos en estacionamientos

La National Fire Protection Association (NFPA) completó recientemente la Fase I de un proyecto sobre los Peligros de los vehículos modernos en las estructuras de estacionamiento, para documentar la comprensión actual del peligro de incendio que presentan este tipo de vehículos en los parkings.

Los hallazgos del estudio indicaron que la propagación del fuego entre los automóviles en un garaje, especialmente desde el vehículo inicial hasta el segundo y tercero, es fundamental para determinar el alcance del incendio y la capacidad bomberos para controlarlo y extinguirlo con éxito.

Actualmente se está trabajando en el siguiente paso que consiste en la realización de ensayos a gran escala con gran gama de configuraciones que permitan evaluar la propagación de un incendio y los parámetros críticos que influyen en los incendios de vehículos eléctricos.

#### Proyecto SIGNAL “Sistema Inteligente de Gestión de Incidencias en Ferrocarriles de Cercanías”

Las incidencias y emergencias en el transporte ferroviario de pasajeros pueden ocurrir y ocurren. Una de las máximas prioridades es minimizar las consecuencias de este tipo de eventos garantizando el bienestar de los pasajeros. Esta responsabilidad recae frecuentemente en personas que deben tomar decisiones de forma rápida y eficiente. Para alcanzar este objetivo se cuenta con planes predefinidos que establecen una secuencia ordenada de actuaciones y que la experiencia ha demostrado pueden resultar poco efectivos e insuficientes.

En SIGNAL se desarrolló y testó un prototipo de sistema inteligente de gestión capaz de dar apoyo a decisores y gestores frente a incidencias y emergencias en ferrocarriles de cercanías. El Sistema será capaz de brindar propuestas de decisiones y acciones en tiempo real, principalmente orientadas a garantizar la seguridad y asistencia de los viajeros, basadas en el análisis de múltiples alternativas con técnicas avanzadas de modelado y simulación computacional y el empleo de métodos de inteligencia artificial, sistema experto y árboles de decisiones. Esto permite al gestor-decisor tomar medidas científicamente fundamentadas, reducir los ciclos de decisión e incrementar, por lo tanto, la efectividad en la resolución del suceso.

Esta herramienta fue desarrollada al amparo de las ayudas Retos Colaboración 2016 (RTC-2016-5474-4) (AEI/FEDER, UE). La replicabilidad de este tipo de herramientas en la Estación del Futuro permitiría la gestión de incidencias en el entorno estación-tren permitiendo un enfoque integral de la emergencia.



### **Real Time Evacuation Tool: software de simulación de evacuación a tiempo-real para eventos multitudinarios**

Herramienta dinámica que realiza una estimación en tiempo real sobre los tiempos de evacuación durante un evento considerando el impacto que la emergencia puede tener en la disponibilidad y capacidad de las salidas.

Esta herramienta además de ser de gran utilidad durante la planificación de los eventos, durante una emergencia puede aportar información de gran valor para gestionar una situación crítica de la manera más eficiente posible.

En la primera ronda de demostraciones prácticas se han realizado dos ejercicios (MTV Music Awards Bilbao y en la Escuela de Servicio Público de Baviera en Múnich) donde la RTE Tool fue validada por la Ertzaintza, la Policía Municipal de Madrid, el Ministerio del Interior Italiano y la Policía Bávara.

Desarrollada dentro del proyecto europeo LetsCrowd financiado por Programa de investigación e innovación H2020 de la Unión Europea bajo el contrato de subvención GA740466.

Esta herramienta puede ser escalable para su utilización en la Estación del Futuro como una infraestructura crítica de uso público con gran afluencia de pasajeros.

### **Pre-event Security Decision Support for LEAs (PSD)**

Pre-event Security Decision Support for LEAs (PSD) una herramienta que realiza un análisis preliminar del evento ofreciendo niveles de riesgo y que es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones durante la planificación de los eventos. Esta herramienta fue validada por la Ertzaintza y el Ministerio del Interior Italiano durante los MTV Music Awards de Bilbao.

Desarrollada dentro del proyecto europeo LetsCrowd financiado por Programa de investigación e innovación H2020 de la Unión Europea bajo el contrato de subvención GA740466.

En el entorno de la Estación del Futuro esta herramienta permitirá la evaluación de diferentes escenarios de emergencia que pueden desarrollarse en la estación permitiendo una evaluación de la seguridad y de asignación eficiente de recursos.

### **TAHAT: Herramienta para el análisis de riesgos (tirador e IED) de un atentado terrorista**

Esta herramienta está diseñada para apoyar a los cuerpos de seguridad a tomar decisiones sobre la protección de espacios públicos y espacios de concurrencia masiva de forma imparcial. Las contramedidas implementadas por las fuerzas y cuerpos de seguridad utilizando el análisis de riesgos y las sugerencias ofrecidas por la herramienta facilitará la mejora de políticas y medidas de protección y a su vez minimizando el número de víctimas en caso de ataque terrorista.

Desarrollada dentro del proyecto europeo S4AllCities financiado por Programa de investigación e innovación H2020 de la Unión Europea bajo el contrato de subvención GA883522.

La lucha contra el terrorismo es una prioridad de máximo orden en la UE, debido a un aumento significativo en el número de amenazas, generando un gran impacto en la seguridad de las personas. A través de este tipo de herramientas la Estación del Futuro podrá evaluar las consecuencias de este tipo de eventos y le permitirá una gestión más eficiente en caso necesario.



## Innovación en el área de la ciberseguridad

### Banco de Santander

Santander utiliza la seguridad blockchain para mejorar sus servicios de pago internacionales. Es el primer banco en adoptar blockchain por motivos de seguridad. Con la ayuda de blockchain y ciberseguridad, ayudan a sus clientes a pagar en Latinoamérica y Europa utilizando su cuenta de Santander.

Con la ayuda de **Ripple**, ahora el servicio **One Pay Fix** está disponible en Polonia, Reino Unido, Brasil y España.

Santander también está utilizando la seguridad blockchain para salvaguardar todas sus redes internas.

### Banco Nacional de Canadá

El Banco Nacional de Canadá está utilizando blockchain y la red de ciberseguridad para la emisión de deuda. En la actualidad, están utilizando **Quorum Enterprise-Ethereum** de J.P. Morgan como la red base. Quorum es una versión empresarial de Ethereum con protocolos de seguridad adicionales para proteger a cualquier organización de ataques cibernéticos.

El Banco Nacional de Canadá también está utilizando el aspecto de seguridad blockchain para garantizar el 100% de seguridad en las transacciones. También está trabajando en otros proyectos, como ofrecer un canal seguro para las industrias de la cadena de suministro.

Recientemente pasaron por una fase de prueba de emisión de deuda, donde emitieron \$ 150 millones de deudas en un año utilizando la plataforma.

### Barclays

Barclays está utilizando blockchain y ciberseguridad para ofrecer seguridad en las transferencias de fondos. No solo eso, sino que también tienen una patente para usar la tecnología de seguridad blockchain.

En realidad, el objetivo principal de esta empresa es usarla para aumentar la estabilidad y la popularidad de las transferencias de divisas.

También la están utilizando para mantener todas sus bases de datos internas fuera del alcance de los hackers.

### Change Healthcare

Change Healthcare está utilizando blockchain y ciberseguridad para ofrecer soluciones de atención médica en todos los hospitales de los EE. UU. También la usan para su propia gestión de seguridad TIC.

La compañía sabe cómo la industria de la salud se está debilitando debido a los ataques y el abuso de los ciberdelincuentes. Es un factor cotidiano que mucha información confidencial del paciente se filtre o hackee de la base de datos del hospital.

### Health Linkages

Health Linkages está utilizando la seguridad blockchain para garantizar una transferencia de datos transparente y procesos de auditoría para el sector de la salud, utilizando su plataforma, solo puedes compartir datos del paciente si tienes las credenciales adecuadas.

Además, clasifica todos los eventos de atención médica y hace que la toma de decisiones sea más fácil para los médicos. Sin embargo, asegurarse de que ningún hacker o un tercero tenga acceso a esta información es la prioridad.

En la actualidad están trabajando en una prueba diferente del proyecto blockchain y ciberseguridad donde los profesionales pueden ver la información del paciente en un canal seguro.



### Estado de Colorado

El estado de Colorado está utilizando la seguridad blockchain para casos de uso gubernamentales relacionados con la protección de datos. El Gobierno de Colorado aprobó un proyecto de ley sobre el uso de la seguridad blockchain para asegurar su almacenamiento de registros.

Colorado sufre 6-8 millones de intentos de piratería todos los días. Y muchas veces los hackers salen victoriosos, dañando la estructura de la administración. Colorado está utilizando el cifrado de blockchain en sus datos para mantenerlos alejados de cualquier intento de piratería.

### Australia

El gobierno australiano está utilizando blockchain y ciberseguridad para almacenar sus documentos, recientemente priorizó el uso de la red de seguridad blockchain para toda la administración.

A pesar de que la red aún se encuentra en las primeras etapas, los funcionarios del gobierno aún piensan que la tecnología pronto se convertirá en un activo realmente valioso.

En la actualidad, reciben el apoyo tecnológico de IBM para crear su ecosistema.

### Malta

Actualmente, Malta está utilizando la seguridad blockchain para respaldar sus sectores financieros. Sin embargo, los funcionarios del gobierno también están investigando el aspecto de seguridad de blockchain. ¿Por qué? Bueno, principalmente quieren salvaguardar todos sus documentos, así como mantener toda la información de los ciudadanos alejada de los cibercriminales.

Malta es pionera y trata de trasladar blockchain a todos los sectores. De hecho, quieren convertirse en la isla Blockchain.

Es por eso por lo que el gobierno también quiere usar blockchain como capa de seguridad para sus bases de datos.

### Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa (DARPA)

La Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa o DARPA es la agencia del Departamento de Defensa de los Estados Unidos que trabaja en tecnologías para el ejército, desarrollan principalmente diferentes tecnologías emergentes para el ejército estadounidense.

DARPA está investigando cómo puede usar blockchain para la seguridad y el cifrado de las transferencias de datos. Es por eso que están trabajando en un sistema de mensajería basado en la seguridad blockchain que puede ayudar a los militares a compartir la información en cualquier ubicación al instante y también para asegurarse de que ningún tercero pueda acceder a su mensaje en la red de blockchain y ciberseguridad.

### Ejército chino

El ejército chino está interesado en la seguridad blockchain para mejorar los protocolos de seguridad dentro de su red militar y gubernamental. Además, piensan que la seguridad blockchain tiene el potencial de evitar que los adversarios extranjeros cambien o alteren información militar o gubernamental vital.

Por lo general, tienen que manejar una gran cantidad de información que se filtra y altera. Y definitivamente, la información militar de un país no debería estar en manos de terceros.

Todavía no se sabe en qué proyectos están trabajando debido a razones de confidencialidad. Pero sí se sabe que buscan cubrir la información de las operaciones de inteligencia y la comunicación entre oficiales.



### **Lockheed Martin**

Lockheed Martin es el primer contratista de defensa de los Estados Unidos que usa blockchain y ciberseguridad para mejorar sus procesos y protocolos.

También está utilizando la seguridad blockchain en la gestión de riesgos de la cadena de suministro, los sistemas de ingeniería y el desarrollo de software.

Quiere asegurarse de que cada uno de estos campos tenga una seguridad estricta.

Otra posible razón para elegir la red de seguridad blockchain es asegurarse de que todo el I+D de armamento se mantenga seguro y no caiga en las manos equivocadas porque es una parte vital dentro de un país y un gobierno.

### **Flex y Rockwell Automation**

Flex es una compañía de cadena de suministros que utiliza la tecnología blockchain en varios departamentos y una de ellas es la seguridad.

Están utilizando la seguridad blockchain para ofrecer una infraestructura más segura a su proceso de fabricación y logística.

En la actualidad, ambas obtuvieron el soporte tecnológico de Cisco quién, como parte de la Alianza de IoT Confiable (Trusted IoT Alliance), está impulsando integrar blockchain con dispositivos IoT.

### **El Departamento de Energía de EE. UU.**

El Departamento de Energía de los Estados Unidos está trabajando con Guardtime para garantizar una red totalmente segura para los recursos de energía distribuidos en el borde de las redes eléctricas (intersección donde la red eléctrica se divide a otros clientes y redes distribuidas).

Además, quieren detener cualquier mal uso de la energía antes de que se divida en otras redes.

Usar blockchain para soportar el sistema no solo los ayudaría a combatir los ataques de terceros, sino también para garantizar una mayor confiabilidad en la infraestructura.

### **Ethical**

Ethical actualmente utiliza la seguridad blockchain para seguimiento de auditoría.

Están trabajando con Guardtime para garantizar la seguridad total de las pistas de auditoría. Cada vez que se realiza una operación, se agrega a la base de datos. Además, para cada registro, se introduce una nueva firma KSI.

Lo que Ethical hace aquí es almacenar la firma como prueba de la evidencia, si la firma está presente en la base de datos, entonces es prueba de que la autoría, el tiempo o la integridad de la auditoría aún están intactos. Todas las evidencias se registran en la red Blockchain de Guardtime para su uso futuro.

### **Sector Energético de Reino Unido**

El Sector de Energía de Reino Unido está investigando la seguridad blockchain, y para eso, actualmente están considerando la tecnología de Guardtime.

Todos los proyectos en el entorno energético tienen diferentes entornos, escenarios y simulaciones de la vida real para comprender cómo funciona realmente. Sin embargo, en la actualidad, el objetivo principal era ayudar a los participantes a detectar el ataque, evitar que se propague y recuperarse de él.

Los proyectos ejercicios fueron exitosos y el sector energético de Reino Unido probó el poder de blockchain.



### **Sector Nuclear Civil de Reino Unido**

Otro gran sector que busca la seguridad blockchain es el Sector Nuclear Civil de Reino Unido.

El sector nuclear necesita tener medidas de seguridad de prueba completa si quieren defenderse de todos los ataques que enfrentan a diario.

Es por eso que están trabajando con Guardtime para comprender mejor las consecuencias del uso de la tecnología. En la actualidad, Guardtime les mostró un ciberataque en la vida real contra una planta nuclear y cómo pueden defenderla. Parece que fue un gran éxito.

### **Danieli**

Danieli está tomando la solución de seguridad blockchain de Naoris. Danieli es uno de los mayores proveedores de acero en la industria y es absolutamente necesario que obtenga protección para todos los clientes e información confidencial.

En su estado actual, cada uno de los dispositivos de sus empleados puede actuar como un camino de entrada hacia red, para asegurarse de que no se exponen a ninguna consecuencia cibernética grave, le pidieron a Naoris seguridad blockchain para sus servidores de datos en todo el mundo.

El proyecto aún está en curso en esta etapa.

### **Ministerio de Defensa de Estonia**

El Ministerio de Defensa de Estonia otorgó un contrato para Guardtime sobre la seguridad de blockchain. Quieren desarrollar la próxima generación de rango cibernético de la OTAN para el gobierno, el nuevo diseño ayudará en resolver problemas en ámbitos como la guerra electrónica, la inteligencia, las capacidades de refinamiento de la misión, los valores cibernéticos y muchos más.

Por lo tanto, para asegurarse de que todo esté en su lugar, debe tener una copia de seguridad cibernética completa y por eso están usando la seguridad blockchain.



El documento  
ha sido editado  
e impreso con  
el patrocinio  
de:





# INTERMODALIDAD E INTEGRACIÓN CON EL ENTORNO

1. Introducción y objetivos	177
2. Estado del arte y retos	180
3. Soluciones para una mejor planificación de las estaciones	183
4. Soluciones tecnológicas	187
5. Mapa de tecnologías	189
6. Conclusión y retos para el futuro	192
7. Casos de uso	193

## COORDINADORES



## OTRAS ENTIDADES PARTICIPANTES



En colaboración con:





## 1. Introducción y objetivos

### **“Nos movemos más, tendremos que movernos mejor”**

Europa, con toda probabilidad, no será climáticamente neutra en 2050 con la tendencia actual en movilidad. Prácticamente todos los sectores han reducido sus emisiones de efecto invernadero respecto a 1990, a excepción de la movilidad y el transporte. A pesar de los continuados esfuerzos en mejorar las tecnologías de los motores de combustión, el incremento acelerado en la movilidad ha supuesto un incremento en las emisiones. En 1990 la movilidad promedio de un español era de 19 km / día, mientras que en la actualidad alcanza los 41 km / día.

En este incremento está el problema, pero también parte de la solución. Las personas se mueven más, pero también de forma diferente, aprovechando el mejor medio de transporte en cada trayecto y combinándolos todos. Esto es la intermodalidad. Por tanto, facilitar que las estaciones permitan el intercambio eficaz entre modos de transporte es un vector alineado con una movilidad creciente y unas emisiones compatibles con los objetivos del Pacto Verde Europeo.

El modo de moverse condiciona la forma de vivir de las personas. A lo largo del documento se seguirá la experiencia de Pilar, quien viajará desde Calamocha en Teruel hasta Santiago de Compostela, quien acude a una feria donde se exponen los mejores productos porcinos de la península. Se seguirá su trayecto, con los medios de transporte actuales, pero con una visión de estación intermodal del futuro. Quedará reflejado cómo consigue un ahorro significativo en costes, emisiones, tiempo y confort.

Adicionalmente al viaje de Pilar, a lo largo del documento se expondrá exhaustivamente las tendencias y soluciones en intermodalidad, tanto desde el punto de vista de la arquitectura de género, aquella que facilita el tránsito natural entre modos, como desde el punto de vista de las tecnologías.

Los últimos años, en particular después de la pandemia provocada por la COVID-19, se han vivido circunstancias que han cambiado, desde el modo de comprar, de trabajar, de desplazarse, etc.

El coche particular, pierde protagonismo. Las ciudades ofrecen más espacio para peatones, más espacio verde y sistemas de transportes sostenibles como la bicicleta o mayores posibilidades para trasladarse a pie. La movilidad va a cambiar más en los próximos cinco años que lo que ha hecho en los 50 anteriores.

#### **Comienza nueva época donde nuevos factores van a cambiar el estilo de vida y el modo de desplazarse.**

En este sentido, el desarrollo de estaciones intermodales es crucial para ofrecer a los ciudadanos un servicio que cubra sus necesidades de desplazamiento eficiente de puerta a puerta, cómodo, seguro y competitivo. Las estaciones del futuro deben dar respuesta a las nuevas necesidades de movilidad convirtiéndose en nodos de intermodalidad (buses, metros, tranvías, trenes, ferris, taxis, bicis, patinetes, etc.), provisión de información y servicios a los viajeros y en general asegurar una óptima experiencia de viaje.

Y si se habla de la estación del futuro, se debe hablar de los medios de transporte del futuro y preparar las intermodales para captar también la movilidad aérea urbana o interurbana cuando sea necesario.

#### **1. 1. Objetivo 1. Entender qué es una estación intermodal y su impacto urbano**

Las estaciones intermodales son infraestructuras que tienen como objetivo la integración de diferentes modos de transporte. Integran cualquier modo de transporte desde medios ferroviarios, como el tranvía, el metro, los servicios de cercanías, largo recorrido o alta velocidad, medios viarios como el autobús, el taxi, el vehículo privado y el compartido, los vehículos de movilidad personal como la bicicleta o el patinete eléctrico, los medios aéreos o el transporte fluvial y marítimo, el transporte peatonal y en general.

La relación ciudad- estación intermodal es uno de los factores críticos para su correcto dimensionamiento y funcionamiento. Considerando que el trasbordo suele identificarse como una de las desventajas comparativas del transporte público respecto al vehículo particular, la adecuada planificación y diseño de estas infraestructuras adquiere una gran relevancia [33].

El tamaño de la ciudad en el que se implanta la estación o estaciones, los sistemas de transportes a integrar, la ubicación dentro de la propia ciudad en función de la demanda y aceptación por parte de los



ciudadanos determinarán las características óptimas de la misma por lo que la particularización para cada localización resulta fundamental.

La capacidad de la ciudad de acercar sus medios de transporte a la estación y la integración de esta en la ciudad son básicas para minimizar los intercambios de los distintos modos de transporte. La estación ya no es un punto de origen/destino, sino un elemento más de un trayecto puerta a puerta, donde los medios utilizados entre la estación y el destino final forman parte de la ecuación.

El estudio de los accesos, la integración y puesta en valor de la denominada “última milla”, el recorrido previo o post a la estación, son elementos sin los cuales la estación carece de sentido.

## 1. 2. Objetivo 2. Diseñar la intermodalidad en las estaciones del futuro

El óptimo de un sistema complejo, se consigue aprovechando las ventajas de cada modo de transporte. Las estaciones del futuro facilitarán a los viajeros la intermodalidad de forma intuitiva, fluida y eficiente gracias a una adecuada integración entre los sistemas, modos de transporte y espacio físico.

El objetivo principal es la definición de las líneas maestras que caractericen las estaciones del futuro en lo que se refiere a la intermodalidad, su integración en el entorno con aprovechamiento de la tecnología del futuro y respeto del medio ambiente.

A lo largo de este capítulo se analizarán los siguientes aspectos clave en el desarrollo de estaciones que faciliten el uso de modos de transportes sostenibles (modal shift) y faciliten una intermodalidad “seamless”:

- Entender las características propias de una estación intermodal, los usos y las necesidades de los diferentes trabajadores, operadores de la Estación y operadores de transporte, para proponer servicios e infraestructuras flexibles y optimizar los costes de operación
- Definir los indicadores de eficiencia intermodal en las estaciones y las maneras de medir y calcularlos (típicamente el tiempo de tránsito o de espera de los pasajeros), incluyendo la integración en el entorno de la estación (Acceso, last-miles, etc.)
- Entender los usos, los flujos y las necesidades de los pasajeros para adaptar servicios e infraestructuras de las estaciones (mejorar la experiencia y optimizar los costes de operación)
- Entender los usos, necesidades y relaciones que el núcleo urbano demanda de la estación como espacio de atracción
- El tratamiento e integración del entorno de la estación.
- Informar y guiar los usuarios de las estaciones para una mejor experiencia, fluidez y también promover las zonas comerciales, facilitar el pago digital integrado

Específicamente el documento tratará de reflexionar sobre los siguientes objetivos específicos que deberán ser tenidos en cuenta en toda estación intermodal.

- Los indicadores de “calidad de servicio” para el uso de una estación del futuro, orientado a la intermodalidad
- Las necesidades para una información eficaz y las consecuencias sobre la integración de los sistemas tecnológicos (incluido el aspecto de flujos de datos, interoperabilidad, standards, etc.)
- Optimizar y sincronizar los servicios de movilidad dentro y alrededor de las estaciones de manera dinámica e integrada, fomentar la multimodalidad
- Las tecnologías y su evolución para implementar sistemas integrados de gestión de la estación del futuro
- La repercusión de la implementación de medidas que cumplan con la Arquitectura de género
- Los requerimientos mínimos de Integración urbana



## 2. Estado del arte y retos

En 2022 el Gobierno de España tramita el Anteproyecto de Ley de Movilidad Sostenible. Esta ley tiene como objetivo promover en toda España una movilidad más limpia, más activa respetuosa con la salud y el medio ambiente.

Incluye apartados para reforzar la multimodalidad y los proyectos de infraestructura que lo permitirán. Esta ley, sin duda, aporta nuevas herramientas para facilitar la planificación de una estación multimodal y el intercambio de informaciones que son fundamentales para las nuevas tecnologías de movilidad.

El análisis más reciente de la movilidad en España es la Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada publicada por el gobierno en 2022 en el que se identifican tres causas que impulsan los cambios en la movilidad:

- La necesidad de alcanzar en las próximas décadas los objetivos de descarbonización de 2030 y 2050
- La incorporación masiva de la tecnología y la digitalización a la movilidad
- La mayor concentración de población en las grandes ciudades y zonas periurbanas, lo que conlleva retos importantes de gestión tanto en estas grandes ciudades como en las áreas rurales y las ciudades medianas, que se enfrentan a la despoblación y precisan soluciones de movilidad específicas

De esta forma la movilidad adquiere un sentido amplio con el viajero en el centro de la experiencia y en torno al cual surgen diferentes modos y servicios que se combinan entre sí.

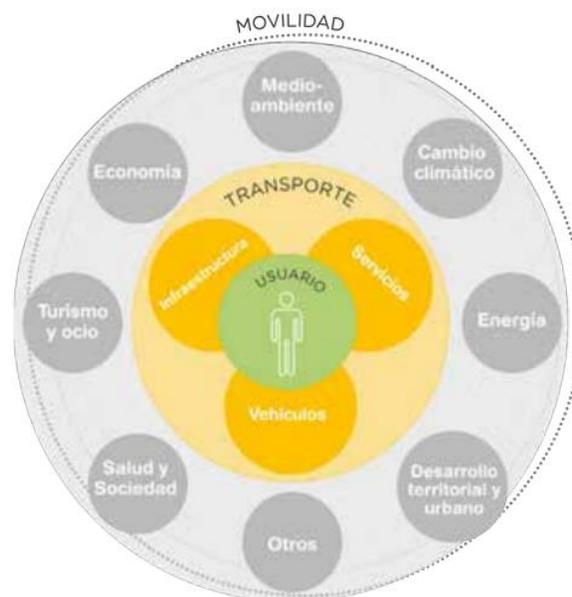


Figura 121. Las relaciones multidisciplinares de la movilidad

La experiencia para mejorar la intermodalidad, hay que verla como un servicio al ciudadano, lo que se denomina “**Movilidad como Servicio**” (MaaS por sus siglas en inglés). MaaS son plataformas digitales que integran la planificación, reserva y pago de viajes de puerta a puerta articulados por combinaciones de todos los modos de transporte, ya sean privados o colectivos (Goodall, Dovey Fishman, Bornstein, & Bonthron, 2017).

Las rutas se proponen al usuario según información en tiempo real, teniendo en cuenta todas las posibles opciones y las preferencias del usuario. Estas plataformas facilitan el pago único y la contratación combinada de servicios integrados de movilidad (Goodall et al., 2017).

Algunas de las primeras iniciativas de MaaS se pusieron en marcha en Finlandia y Suecia sobre el 2012. Actualmente, las más utilizadas son:



- Google Maps
- Moovit, tiene más de 400 millones de usuarios en todo el mundo y es la aplicación más usada
- Citymapper, con 50 mill de usuarios, ofrece una plataforma MaaS que permite planificar viajes utilizando varios modos de transporte, como el transporte público, la bicicleta, los coches, motos, bicicletas y patinetes de alquiler por minutos, y los desplazamientos a pie
- En la actualidad, se debe mencionar la última plataforma lazada al mercado por RENFE, DOCO, siglas que vienen de ¿dónde? Y ¿cómo? que integra en una única plataforma todo el transporte público urbano e interurbano y servicios privados y compartidos de transporte. Esta plataforma permite planificar, reservar, pagar y viajar en tren, taxi, VTC, moto o patinete

El principal reto que se afronta en el futuro es la reducción del uso del transporte privado en favor del transporte público. Para ello, es necesario el planteamiento de la Estación como un servicio puerta a puerta, transformándose la estación ferroviaria clásica desde un concepto puramente “estático”, de origen-destino, a un concepto “dinámico”, donde los movimientos y operaciones sean cómodos, ágiles, flexibles y eficientes para el usuario la estación intermodal.

### El viaje de Pilar. Calamocha intermodal a Zaragoza InterDelicias

Pilar quiere viajar desde el secadero de jamones en el que trabaja, en Calamocha, hasta la feria de muestras de Santiago de Compostela, para ofrecer su producto a los visitantes. El estado del arte de su viaje se lo proporciona Google Maps y le ofrece una combinación de ferrocarriles, autobuses, trayectos en coche y a pie que suman 20h y 23 minutos.

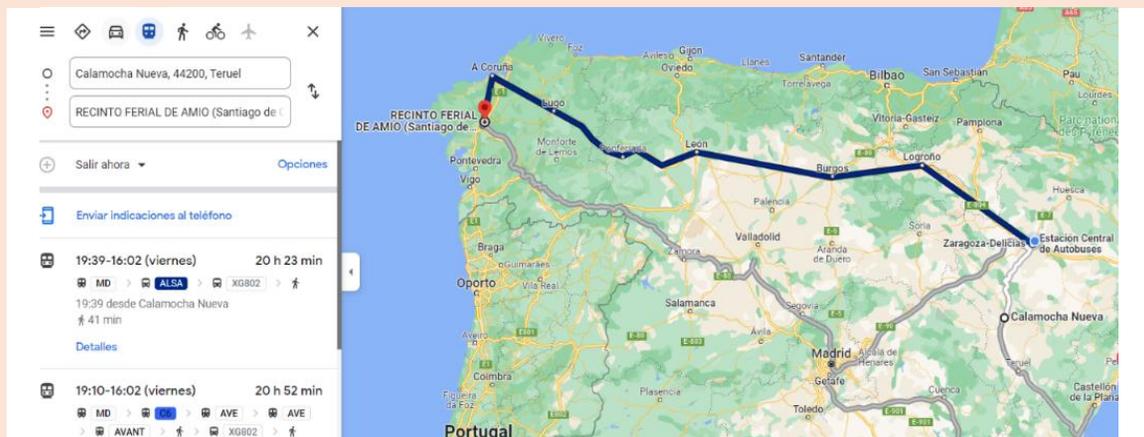


Figura 122. Trayecto facilitado por Google Maps

Hay margen de mejora y Pilar se traslada a la estación del futuro, aquella que le llevará a su destino combinando un óptimo en emisiones, tiempo de viaje, coste, confort e impacto sobre el entorno.

#### **Parada 1. Estación del futuro intermodal de Calamocha (Teruel)**

Consulta su móvil e identifica un vehículo compartido (car-sharing) que puede acercarle desde el secadero hasta la estación. El conductor no conoce la zona, pero identifica perfectamente la estación, su arquitectura habla por sí sola. La señalización da paso al vehículo a la zona de descarga de viajeros y controla mediante sistemas IoT que no supera los 15 minutos establecidos. Pilar se baja del vehículo y un chatbot le saluda en su móvil: ¿A dónde quieres desplazarte? A la feria de muestras de Santiago de Compostela, responde.

No tendrá que repetir esta información. Un sistema de IA descentralizado e interconectado le reconocerá y acompañará en cada cambio de modo hasta su destino. La estación, a través de su terminal, le recomienda el ferrocarril hasta Zaragoza – Delicias, le informa del coste del trayecto y hasta destino final y una vez aceptado le indica su asiento.

El tren, que no tenía parada prevista, cambia sus planes y realiza una breve parada para Pilar, que espera justo donde aparecerá la puerta de su vagón. El diseño de la estación permite un acceso inmediato e inequívoco al tren, donde sube hasta su próxima estación.



Los retos a los que se tiene que enfrentar Pilar son los siguientes:

### Retos de coordinación en diferentes niveles

Para que la estación del futuro ofrezca el servicio esperado por el usuario, se deben aunar los intereses de los diferentes actores en la movilidad, tanto de redes de transporte público que dependen de distintas administraciones como de las empresas privadas que trabajan en el sector.

En este sentido, un usuario no debería percibir que su experiencia de viaje está siendo realizada por distintos operadores (reserva, pago, información, trayectos, coordinación, etc.) como en Suiza (ver casos de uso)

### Retos en gestión de demanda: Anticipar/ Adaptar los servicios de transporte

El aumento de oferta ferroviaria tanto como consecuencia de la liberalización de operadores como por la propia demanda de los viajeros (comprender el comportamiento de los pasajeros, correlación con otros actores del transporte, operadores, etc.) proporciona una estupenda oportunidad para mejorar los servicios de transporte público y mejorar por tanto la movilidad de manera eficiente y sostenible, pero indudablemente supone un reto en cuanto a la gestión de la demanda.

Este desafío lleva consigo la mejora de los métodos la predicción de demanda de pasajeros por ejemplo con el apoyo de modelos de big data gestionados centralmente e inteligencia artificial (IA) para la predicción avanzada de fluctuaciones e incidentes en tiempo real, análisis esos patrones de flujo de pasajeros y su comportamiento, es decir, la aplicación de los conocidos como métodos de **Crowd Management** o Sistema de gestión de multitudes.

En este sentido, los retos a destacar son:

- La gestión de las horas punta e incidentes, adaptando los servicios a esas horas punta o imprevistos
- Limitar los tiempos de espera
- Adoptar acciones rápidas frente a incidentes/imprevistos: redirigiendo a los pasajeros a la ruta más adecuada

### Retos tecnológicos

Como se ha visto, la información en tiempo real, el billete único, las actuaciones en caso de incidente, aplicar modelos de big data e inteligencia artificial (IA) para la predicción avanzada de fluctuaciones e incidentes en tiempo real, o la toma de decisiones rápidas para proponer mejoras operativas son clave en la estación del futuro.

Contar con equipos de innovación constante, conocimiento de las tecnologías y de escucha, tanto a los usuarios como a los operadores/gestores de las infraestructuras de la estación, para que las actuaciones respondan a una mejora continua alineada con las necesidades del servicio y de los pasajeros.

### Retos en seguridad

Las estaciones son, lugares donde se cruzan todo el tipo de gente. Para ello es necesario prever, desde el diseño, los espacios necesarios para la implantación de distintos sistemas de seguridad activa y pasiva integrados y adaptados por los diferentes modos de transporte y operadores.

De la misma manera, la delincuencia es un problema recurrente en este tipo de infraestructuras y sus alrededores, por lo que deben ser tenidos en cuenta y estar resueltos con soluciones planificadas y coordinadas con la ciudad donde se implanta.



### Retos en Arquitectura de género

Las infraestructuras deben diseñarse para que su recorrido sea fundamentalmente intuitivo, huyendo de arquitecturas que únicamente se alimentan de señalización.

El diseño debe ser en base a espacios amplios y seguros que permitan ver claramente qué ocurre o a dónde voy al final de un determinado recorrido.

### Retos ecológicos

Promover en la estación los medios de transporte más sostenibles y materiales de Km 0.

### Retos en la infraestructura

Por una parte, la estandarización e industrialización, de cara a una construcción más eficiente y sostenible y, por otra, el gemelo digital.

Los sistemas industrializados ayudan a la descarbonización y minimizar las emisiones. El gemelo digital es un reto para las infraestructuras del futuro con grandes capacidades.

- Gestión de activos
- Simulaciones de flujos y testado de capacidades de una estación
- Mantenimiento predictivo
- Ayuda a la implantación de sistemas de guiado en ese intercambio en el interior de la infraestructura

## 3. Soluciones para una mejor planificación de las estaciones

La clave en la estación del futuro para ser capaces de aportar una respuesta a cada uno de estos retos es una adecuada planificación. Esta planificación debe realizarse a diferentes niveles, proponiendo en cada uno de ellos, soluciones que aporten a los viajeros comodidad y atractivo frente al transporte privado. Se propone analizar los niveles siguientes: regional, urbano y micro planificación de la propia estación.

Estas soluciones están basadas en la experiencia que vive un viajero en cada etapa de su trayecto.

### 3.1. Planificación nacional y regional

En primer lugar, todas las administraciones implicadas tienen que acordar el objetivo común de ofrecer a todos los ciudadanos un transporte sencillo de utilizar, fluido y a un precio razonable. Deben preparar los retos como, por ejemplo: "30% de transporte desde/hasta la estación a pie o en bicicleta", "intercambio entre modos de transporte por ejemplo en menos que 4 minutos", etc. Estos retos deben ser un acuerdo preliminar firmado entre todos.

Es de ámbito regional y/o nacional interconectar todas las redes de transporte proponiendo a cada posible usuario una solución fácil para llegar incluso hasta los aeropuertos. El planificar nuevas estaciones intermodales en los aeropuertos, donde coincidan líneas de alta velocidad, ferrocarril de cercanías, metro, bus y taxi, supone una solución más racional a la movilidad general, minimizando el uso del transporte privado y dimensionando adecuadamente las infraestructuras aeroportuarias de un país o de una región.

La intermodalidad no debe limitarse a los pasajeros, sino que debe extenderse también al equipaje. Proponer el servicio de recogida y entrega de maletas puerta a puerta, como ya está implantado en Suiza, para que los pasajeros viajen más ligeros y minimizar el uso del coche privado para llevar su equipaje.



### 3.2. Planificación urbana

Dentro de la ciudad, las estaciones intermodales deben estar bien situadas y conectadas con su entorno. Hay que organizar bien el intercambio de transporte en la ciudad – dedicándole un espacio suficiente y de calidad y separando espacio para coches, peatones y espacios verdes de manera adecuada alrededor de la estación. La prioridad absoluta deben ser las personas como en Tours en Francia (ver casos de uso).

El camino para llegar a la estación multimodal – siendo esto un cambio de modo de transporte debe ser agradable y seguro. Una protección, por ejemplo, contra el sol y la lluvia entre los modos podría servir, al mismo tiempo, como una guía para llegar a la entrada de la estación.

Alrededor de la estación, debe preverse una secuencia y posición de cada modo de la forma más cercana y cómoda:

- peatones
- bicicletas
- autobuses, tranvías
- transporte privado

La estación debe estar pensada acercando al máximo e incluso superponiendo los modos para reducir las distancias (p.e. Estación Lodz Fabryczna en Polonia, ver casos de uso).

Es necesario organizar un sistema de aparcamiento seguro para los patinetes y las bicicletas, dando a los usuarios la oportunidad de dejarlos durante varios días en el entorno de la estación, como ya sucede en Utrecht y Paris Región (ver casos de uso).



Figura 123. Nueva taquilla segura para bicicletas, Paris, Francia

Finalmente, cabe recordar que, para encontrarlas fácilmente, estas estaciones deben tener un tipo de landmark (hitos), que permita, a la vez, una orientación fácil y dar sentido al lugar.

La intermodalidad pasa por integrar, además, la estación de autobuses (entre ciudades) lo más cerca posible de la estación de tren, de modo que los pasajeros puedan fácilmente pasar de un servicio al otro. Esto incrementará el confort y simplificará el transporte en la denominada última milla (ver casos de uso).

### 3.3. Micro planificación. Planificación local y de la estación

#### 3.3.1. Intercambio intuitivo

En primer lugar, los centros de movilidad deben ser impulsados por un servicio de alta calidad al cliente.

Tener servicio humano es fundamental: proporciona confort, seguridad y facilidad a todos los tipos de usuarios. Hay que tener en cuenta que en las estaciones hay todo tipo de viajeros - desde los que utilizan el sistema diariamente y conocen la estación de memoria, hasta personas que están por primera vez en el lugar o solamente están de paso, como es el caso de los turistas. Hay también personas con necesidades especiales, como podría ser el caso de familias o de edad avanzada.

Se hace especial énfasis en la seguridad mediante iniciativas que crean un sentido de lugar y promueven la seguridad. Han de evitarse los pasajes interiores oscuros, las escaleras y rincones sin visibilidad (aspectos tratados por la denominada arquitectura de género). El espacio debe ser y parecer seguro -



todos los puntos visibles en las estaciones sin rincones ocultos con suficiente luz. La seguridad también pasa por pensar en cómo se cruzan las calles, si los pasajes tienen suficiente visibilidad, separando los flujos de los peatones y zonas de los vehículos, evitando la segunda o tercera fila, caminando entre ellos.

Hay que evitar pasarelas o túneles estrechos y prever espacios amplios y abiertos. Cuando sea posible, estas conexiones deben estar a nivel de calle, y con espacios vegetales, evitando provocar sensación de inseguridad.

Cuidar el ambiente nocturno, cuando hay menos gente, empleando espacios verdes de poca altura que permitan una buena visión del entorno al usuario, y, si es posible, protegido por personal de seguridad, no solamente cámaras. Se debe restringir, además, el acceso a la estación a personas que no sean viajeros durante la noche.

Al mismo tiempo, los recorridos entre modos deben ser óptimos y razonables, incentivando a los ciudadanos a usar los sistemas de transporte públicos.

### 3.3.2. Con aeropuertos

En los aeropuertos, la distancia entre el tren y el acceso al aeropuerto debe ser mínima, de modo que los viajeros encuentren el transporte público antes que los parkings o los taxis. Cabe mencionar en este caso ejemplos como el de Ginebra, Zúrich, Kuala Lumpur (ver casos de uso).

Los horarios de tren llegando a la estación deben adaptarse a las necesidades. Debe haber llegadas cada 15 o 20 min. y tener en cuenta que los pasajeros quieren estar al aeropuerto con suficiente antelación.

La estación, los trenes y los autobuses deben tener en cuenta la problemática de las maletas (accesos adaptados, tamaño de los trenes y buses y sus zonas para colocar el equipaje).

### 3.3.3. Con ferroviario larga distancia

El transporte ferroviario de larga distancia tiene estaciones grandes, en general, por la longitud de los trenes, y la gente suele viajar lejos y con equipaje. Existen muchos viajeros puntuales que temen el intercambio y de debe pensar en facilitar la vida de cada uno de sus viajeros. Al final hay que pensar en NO PERDER EN LA ESTACION EL TIEMPO QUE SE GANÓ EN AVE. Podrían proponerse las siguientes:

- Crear más salidas de los andenes para reducir el recorrido hasta la salida (especialmente cuando los andenes son muy largos - hasta 500m en algunas estaciones de AVE). Esto mejora el tratamiento de última milla
- Crear cruces y accesos acordándolos con los ayuntamientos, las salidas adicionales de la estación ayudan a acortar el viaje de los pasajeros diarios y a ampliar el área de influencia de esa última milla
- Mejorar acceso de pasajeros con movilidad reducida a y en los andenes. Servicio de asistencia con sillas mecánicas o micro coches eléctricos como ocurre en algunos aeropuertos
- Coordinar y sincronizar la frecuencia y horarios de los trenes y los otros modos de transporte - para que la espera no sea mayor de 10min al siguiente modo de transporte. Por ejemplo, los autobuses tienen que esperar a los pasajeros que salen del tren como ya sucede en Suiza

### 3.3.4. Con ferroviario cercanías/corta distancia

El ferroviario de cercanías es un sistema que sirve, en su enorme mayoría, a transporte recurrente. Tiene que ser fácil y cómodo porque en este caso el ahorro de tiempo es absolutamente clave. Algunas propuestas se recogen a continuación:

- Limitar las barreras debidas al control de billetes. Buscar otras soluciones para validación de billetes para evitar colas que alargan el trayecto completo. En el futuro, la tecnología debería permitir un chequeo automático de billetes hasta el interior del tren (por ejemplo, con validadores en los asientos)
- Revisar las informaciones en estación. Tienen que estar preparados para todos pasajeros nuevos que no conocen bien la estación y que necesitan estar bien acompañados (estación St. Lazare Paris) (ver casos de uso)



- Tener en cuenta la última milla - un espacio dedicado para aparcamientos seguros para bicicletas, aparcamientos y cargadores de patinetes, aparcamientos, Kiss&Ride y otros
- Aumentar las frecuencias de cercanías en la hora punta para una espera no mayor de 10min



Fuente: [www.altinova.com](http://www.altinova.com)

Figura 124. Aparcamientos y cargadores de patinetes

### 3.3.5. Entre medios individuales

Este es el caso de los aparcamientos que probablemente se vean en el futuro próximo convertirse en verdaderos polos de multimodalidad.

Los centros de movilidad tienen como objetivo aumentar el uso de modos de transporte sostenibles y los servicios de automóviles desempeñan un papel importante en la provisión de viajes de primera y última milla. Estos servicios suelen adoptar la forma de servicios de movilidad compartida, de modo que los viajeros no están obligados a poseer un coche privado, sino que pueden utilizar los servicios de coche a la carta.

Cabe destacar la importancia de organizar puntos de encuentro para compartir coches utilizando nuevas tecnologías.

Además, cada aparcamiento debe proponer soluciones de movilidad local para la última milla - bicicletas, patinetes, sistemas para personas de baja movilidad (Kavalir de Liubliana).



Fuente: <http://www.lemonde.fr/international/article/2022/10/04/>

### Liubliana (Eslovenia)

Vehículos eléctricos, bautizados como KAVALIR, en el centro de Liubliana el 24 de septiembre de 2022. Las personas con movilidad reducida pueden acceder así a toda la zona peatonal de Liubliana de forma gratuita

Figura 125. Vehículos eléctricos. Liubliana, Eslovenia

### 3.3.6. Servicios privados adicionales en la estación

Por último, los centros de movilidad pueden crear una vía para que las asociaciones público-privadas exploren ideas nuevas e innovadoras en el transporte que ayuden a mejorar la integración de diferentes opciones de movilidad para cubrir los desplazamientos.



### El viaje de Pilar. Zaragoza InterDelicias a Red Madrid Intermodal

Al aproximarse a la estación de Delicias el sistema avisa a Pilar. Se ha producido una cancelación y hay plaza disponible en un AVE hacia Madrid que hará ganar 45 minutos de viaje. Una vez confirmado al asistente el tren de Pilar se detiene de forma sincronizada en un lado del andén, de tal forma que su AVE está justo enfrente. En menos de 10 metros ha realizado el transbordo. La señalización interactiva y el asistente le guían y detectan cualquier desviación para poder reaccionar a tiempo. Una hora y 35 minutos después Pilar llega a Madrid -Intermodal, la red de estaciones del futuro de la capital.

Esta red de estaciones se integra en la ciudad a modo de rizoma, conectando de forma distribuida todos los modos del entorno. Es hora de comer y Pilar pregunta a su asistente, le recomienda un menú del día y le da varias opciones de transporte; un tren de Cercanías desde la propia estación combinado con la bicicleta, taxi, metro o dos conexiones de autobús. Aunque podría acceder directamente a la parada de autobús urbano desde el elevador próximo, Pilar decide usar el tren de Cercanías. No compra billete, simplemente se aproxima hacia el andén indicado de tal forma que la app de su móvil, integrada con la estación, ha detectado su intención, comprado y validado el billete necesario y reservado una bicicleta en destino. Pilar dispone de un tiempo extra, por tanto, se dirige a un restaurante, sugerido igualmente por la app. Sabe que si se retrasa la app le avisará o reprogramará su viaje y podrá intercambiar sus billetes con otro usuario de forma segura gracias a blockchain.

En el restaurante, decide no volver en bici por lo que se acerca a la estación de metro próxima, el sistema ha identificado sus intenciones y su destino y la señalización se adecúa para orientarle hasta el AVE que le llevará a Santiago. Aún le han sobrado unos minutos que aprovecha para elegir qué comerá en el tren, la oferta es variada, ya que se carga en el tren desde la propia estación. Pilar ya circula a alta velocidad hacia Santiago de Compostela.

## 4. Soluciones tecnológicas

En general, las soluciones tecnológicas tendrán como objetivo principal:

- Integración del sistema de billeteaje y medios de pago que faciliten que el ciudadano opte por los diversos sistemas de transporte.
- Información al viajero: planificadores del viaje, señalización interna en la estación
- Transbordos sencillos
- Estaciones “seguras”: protección a los pasajeros y las estaciones tanto de ataques terroristas y ciberataques como de delitos menores (robo, vandalismo, etc.)
- Estaciones eficientes:

En concreto, se habla de las siguientes tecnologías:

### Billeteaje y forma de pago

La emisión de billetes en papel se está dejando de lado lentamente a favor de sistemas basados en tarjetas inteligentes y tecnología sin contacto. El concepto sin billete va un paso más allá, con tarjetas inteligentes con chips de comunicación de campo cercano (NFC) que se pueden colocar dentro de tarjetas de crédito y teléfonos inteligentes para pagar tarifas.

Países asiáticos altamente desarrollados como Japón y Corea del Sur llevan años liderando el mundo en el desarrollo de esta tecnología. Londres ya permite acceder a cualquier medio de transporte con una tarjeta de crédito tipo VISA, y cobrando lo justo usado con un máximo diario, semanal, mensual, anual. En España, existe el ejemplo de los tornos de acceso al Metro de Madrid que se han actualizado con esta tecnología para pagar el billete simple o utilizar el abono, desde el móvil o con una tarjeta 'contactless'.

### Información “continua” a y desde el viajero y en tiempo real

Los sistemas de información son vitales. La estación del futuro debe ser un lugar donde sea fácil orientarse para dirigirse de un modo de transporte en el **mínimo tiempo posible**



La información continua y en tiempo real se puede mostrar en varias formas:

- Señalización fija, monitores de TV, etc.
- Aplicaciones móviles: para los distintos dispositivos que permiten al ciudadano organizar su viaje según sus necesidades mostrando las distintas opciones de transporte y conexiones. Esta solución además muestra indicaciones de cómo llegar a la terminal de salida, ofertas comerciales de las tiendas por las que pasa el usuario o incluso descuentos en hoteles cercanos, en función del destino.
- Información del viajero. Capturar y procesar en tiempo real la información procedente de las encuestas de satisfacción realizadas a los usuarios de la estación intermodal, tanto para mejorar el servicio en el medio plazo como para actuar en tiempo real. Esta información se puede captar a través de aplicaciones móvil, en concreto de la misma aplicación móvil que utiliza para gestionar el viaje. Esta información es fundamental en procesos de mejora continua que también debe asumir la Estación del Futuro.

### Seguridad al pasajero

Las luminarias, la integración de varias tecnologías de cámaras, iluminación y comunicaciones juegan un papel muy importante al ser el elemento que siempre existe en cualquier local y donde se pueden complementar gran parte de sistemas de seguridad y comunicación.

*Bosch Security desarrolló su iluminador de luz blanca Aegis UFLED en respuesta al aumento de informes de vandalismo en estaciones del Reino Unido y robo de cables. Este sistema inteligente puede emitir advertencias de voz a los intrusos, capturar imágenes y enviar automáticamente alertas al personal a través de mensajes de texto y correo electrónico. Por la noche, el iluminador inunda el área con luz, lo que permite tomar una fotografía a todo color.*

### Seguridad predictiva

Utilizar la tecnología de vídeo de forma proactiva, todavía está en la etapa de concepto hoy en día. La seguridad predictiva implica entrenar a la tecnología para reconocer comportamientos que generalmente conducen a un accidente y advertir a las personas antes de que entren en una situación potencialmente mortal. Por ejemplo, utilizando la tecnología de video térmico para proteger la identidad, el sistema reconoce a alguien que se tambalea en el borde del andén. El sistema alerta a los servicios de emergencia, y hablan con la persona a través de un altavoz en la cámara para advertirle que está en peligro.

### Eficiencia energética

El consumo energético tiene que basarse en energía limpias, ya sea por la incorporación d energías renovables en la propia estación, (solar, eólica, geotermia, aerotermia,) o por el aprovechamiento de la fuerza del frenado de los trenes. En este sentido, existen varias iniciativas dignas de mención.

- Transportes Metropolitanos de Barcelona (TMB) ha llevado a cabo una prueba piloto en la estación de metro de Ciutadella-Vila Olímpica para que los coches eléctricos puedan recargar sus baterías mediante la energía recuperada en la frenada de los trenes que circulan por la red.
- "Ecopassenger" es una herramienta desarrollada por el Instituto Alemán para Energía y Medio Ambiente e IVEmbH, por encargo de UIC y sus miembros europeos. Permite medir el consumo de energía de un viaje intermodal y sugiere la mejor forma posible
- RESPIRA de Sener permite, a través de la digitalización y la aplicación de algoritmos de inteligencia artificial la operativa de sus sistemas de climatización, mejorando el confort térmico, la calidad del aire y la eficiencia energética. Como el de Metro de Barcelona, que recientemente anunció un ahorro de 1,7 MEUR en su factura energética de este año 2022 gracias a la implantación de RESPIRA



### Tecnología para interoperar con la ciudad

Los datos que se generan en las estaciones pueden ser utilizados por otros actores públicos de las **smart cities** (empresas públicas, ayuntamientos, agencias de viajes, etc.) y viceversa. El “open data” es una base fundamental para el desarrollo de la movilidad sostenible.

***MASTRIA**, es una plataforma desarrollada por Alstom, que permite la supervisión y orquestación de movilidad multimodal del mundo, utilizando Inteligencia Artificial para proporcionar a los operadores y las autoridades de transporte herramientas mejoradas de gestión del flujo de pasajeros. Ofrece a los operadores una mayor visibilidad sobre la distribución y el flujo de pasajeros en trenes y estaciones, así como capacidades predictivas mejoradas. Esto equivale a la capacidad de anticipar y controlar la densidad y las operaciones de los pasajeros en tiempo real, adaptando la frecuencia del tren, la capacidad y la cantidad requerida de trenes, así como los flujos de pasajeros hacia las estaciones.*

### Mantenimiento predictivo

Se trata de un análisis del tráfico en tiempo real a través de sistemas sofisticados, pronósticos de tráfico y rutas predictivas precisas. Por ello es importante, integrar la más avanzada tecnología en mapeo y alertas. Dentro del vehículo, los sensores ya permiten a los operadores del sistema monitorear remotamente aspectos como el rendimiento, la ubicación, las cámaras de video, las advertencias de fallos

Los gemelos digitales y la realidad virtual para el mantenimiento de estaciones. El operario hace la revisión y allí donde ve una anomalía levanta una incidencia que queda grabada.

### El viaje de Pilar. Llegada a la Estación Futuro Santiago de Compostela

Pilar disfruta de los paisajes a orillas del Sil, pero también aprovecha para hacer unas compras desde el tren. Las recogerá de una taquilla automática al llegar a la estación. El tren llega puntual a la capital gallega y la estación ofrece opciones para conocer la ciudad. Desde rutas en segway o patín eléctrico, a pie como peregrina o en bus turístico. Es apetecible, pero Pilar ha venido a trabajar, se reserva un tiempo a la vuelta para visitar la ciudad.

Se acerca al mostrador táctil de información donde consulta la ubicación de la feria de muestras, está cansada y prefiere acercarse en taxi. Selecciona esta opción, así no tendrá que hacer cola, cuando le surge un aviso. “Otro viajero desea compartir viaje a la Feria de muestras”. Tiene 5 estrellas de reputación y también es del sector del jamón así que Pilar acepta y automáticamente se reparten los costes.

El taxi espera en el slot previsto, sin esperas, y Pilar viaja ya hacia su destino final. Las estaciones intermodales le han facilitado el desplazamiento desde Calamocha, de forma proactiva y multimodo, resolviendo los trámites necesarios y ofreciendo servicios y valor añadido. Así son las estaciones multimodales del futuro.

## 5. Mapa de tecnologías

Se identifican a continuación las tecnologías y ejemplos de uso que podrían tener un mayor impacto en la estación intermodal del futuro.

### 5.1. Internet de las Cosas o *Internet of Things* (IoT).

Se puede definir el IoT como un conjunto de dispositivos electrónicos de tamaño reducido con capacidades de detección, comunicación, colaboración y coordinación, entre otras. Estos dispositivos (things) suelen tener recursos limitados en términos de computación, energía (duración de la batería) y memoria. De forma muy resumida, la principal misión de estos dispositivos es la captura de datos a través de sensores, su posterior envío y compartición con servicios que residen en la nube (*cloud computing*) o en el borde de la red (*edge computing*) utilizando protocolos de comunicación interoperables basados en estándares, y por último, ejecutar una acción como resultado del procesado de datos y la toma de decisiones por parte de esos servicios con el fin de impactar en una determinada funcionalidad o mejorar



las operaciones. En el ámbito de la estación intermodal, permite realizar la conexión entre instalaciones de la estación y sistemas de información. Nivel de madurez: Alto.

Ejemplos de utilidad del IoT:

- Evita aglomeraciones: Monitoreo de la densidad de pasajeros a través de análisis de video y el uso táctico de sensores en toda la estación.
- Supervisión de las condiciones ambientales y calidad del aire. Las condiciones ambientales y la calidad del aire forman parte de la experiencia del cliente. El IoT permite que aparatos de climatización, ventiladores, calefacción y unidades de aire acondicionado estén conectados a sensores, trabajando juntos para garantizar los niveles perfectos de temperatura y humedad y calidad del aire, si uno de ellos falla o si se alcanza un cierto nivel de partículas contaminantes en el aire, se detecta rápidamente para actuar en el mínimo tiempo posible.
- Iluminación. Al integrar IoT en el sistema de iluminación, los sensores pueden controlar el ambiente general de la estación, asegurándose de que permanezcan en un nivel ideal de iluminación.
- Mejora en la limpieza de las instalaciones. Para los viajeros, este puede ser uno de los temas que pueden afectar a su experiencia de viaje.
- Monitorización de flujos de pasajeros y su comportamiento. Soluciones basadas en IoT también se pueden emplear para conocer el uso de las diferentes zonas de la estación, mapas de calor, y los recorridos más frecuentes.

Como evolución, el termino Internet de los Servicios (IoS) proporciona una envoltura de servicio que sostiene todo lo que el IoT concierne. El Internet of Services es una evolución del IoT. El valor añadido del IoS es que son los propios dispositivos los que aprendan los hábitos de comportamiento de los viajeros y consumo para configurarse automáticamente y adelantarse a sus necesidades.

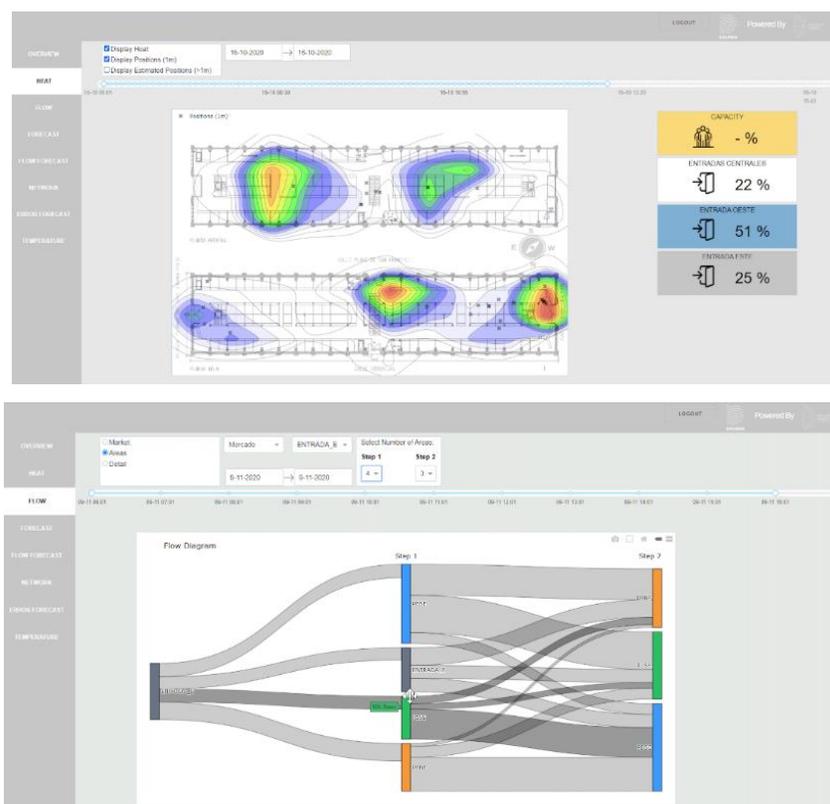


Figura 126. Ejemplo de despliegue de sistemas de geocalización en interiores en tiempo real (imagen superior) y flujos de movimiento (imagen inferior) basados en IoT (Solución desarrollada por DecisionHabitat - UPCT)



## 5.2. Inteligencia Artificial y Machine Learning

Según varias fuentes, se puede ver la IA como la ciencia que imita las habilidades humanas. Entre las tareas necesarias para la IA se encuentra el aprendizaje automático, machine learning (ML), que es un subconjunto específico de la IA que estudia cómo emplear datos y algoritmos para imitar la forma en que los humanos aprenden, mejorando gradualmente su precisión. Dentro del ML está el campo de las redes neuronales (Neural Networks) y dentro de las redes neuronales está el aprendizaje profundo (Deep Learning). El aumento de la capacidad de cómputo ha permitido un auge sin precedentes en el uso de estas técnicas de IA y, por ende, en un aumento del número de soluciones que se basan en ellas. Existe un abanico enorme de aplicaciones “smart” tanto en la infraestructura de transporte como en los propios vehículos que integran una amplia gama de tecnologías basadas en la inteligencia artificial

- Detección. Sistemas de monitorización de seguridad en andenes mediante procesado de imágenes o monitorización de movilidad de viajeros.
- Optimización. Optimización de rutas y sistemas de recomendación.
- Predicción. optimización de sistemas de climatización.

Se debe tener en cuenta que la aplicación de IA requiere de sistemas con capacidad de cómputo a veces elevada, de suficientes datos fiables y, en ocasiones, requerirán de un tiempo mínimo para su ejecución. Nivel de madurez: Medio/Alto.

## 5.3. Cloud Computing y Edge Computing

El cloud computing aporta la escalabilidad necesaria para afrontar el uso de algoritmos de IA que requiera de un elevado cómputo/recursos y también la capacidad de almacenamiento requerida. Es por ejemplo el lugar idóneo para almacenar los datos capturados por los dispositivos IoT, para su procesado y para la toma de decisiones, por ejemplo, haciendo uso de Machine Learning. No obstante, para determinados servicios, por ejemplo, aquellos que requieran una latencia ultra baja, se optará por el uso de edge computing. La diferencia entre cloud computing y edge computing es principalmente dónde se ubican físicamente estos sistemas de mayor capacidad de procesado (en comparación con los dispositivos IoT). Por simplicidad, se puede decir que cuando se habla de cloud computing se está hablando de centros de datos (data centers, p.e., AWS o Azure), y la distancia entre el lugar de captura de datos y el cloud puede ser de elevada (escala de km) mientras que cuando se habla de edge computing se refiere a dispositivos que se van a encontrar cerca, a menudo en las mismas instalaciones (escala de metros). Nivel de madurez: Alto.

- Detección. Sistemas de monitorización de seguridad en andenes mediante procesado de imágenes o monitorización de movilidad de viajeros. A desarrollar en sistema edge para disminuir tiempo de respuesta
- Optimización. Optimización de rutas y sistemas de recomendación. A desarrollar en sistema híbrido edge-cloud para disminuir tiempo de respuesta en sistema de recomendación (edge) pero con menos restricciones temporales para rutas y más necesidad de cómputo (cloud)
- Predicción. Optimización de sistemas de climatización - A desarrollar en sistema cloud al tener condicionantes estrictos de tiempo de respuesta

## 5.4. Tecnologías de realidad extendida (extended Reality, xR)

El término realidad extendida se emplea para hacer referencia a las tecnologías inmersivas, abarcando el espectro de los entornos de realidad virtual (Virtual Reality, VR), realidad aumentada (Augmented Reality, AR) y realidad mixta (Mixed Reality, MR). VR y AR utilizan gráficos por ordenador para generar contenidos en 3D y entornos simulados. La VR sustituye la visión del mundo real del usuario por una completamente artificial. Sin embargo, la AR complementa la visión del mundo real del usuario con contenidos adicionales generados por ordenador, creando un entorno que mezcla ambos. Nivel de madurez: Bajo.

Una de las aplicaciones más directas de esta tecnología son los gemelos digitales, a través de los que se puede crear, por ejemplo, sistemas de control y monitorización.



## 5.5. Blockchain

Tecnología facilitadora del guardado seguro de datos. Entre otras ventajas presenta no repudio, fundamental en transacciones digitales, inmutabilidad y confianza. Esta tecnología de cadena de bloques también es referida como tecnologías de registro descentralizado o Distributed Ledger Technologies (DLT). Esta tecnología se puede ver como una alternativa para el almacenamiento de información y de transacciones descentralizadas, seguras y transparentes, quedando ésta disponible para un sinfín de aplicaciones basadas en blockchain permiten establecer las condiciones de transporte, así como compartir y actualizar de forma segura el estado y la información de las infraestructuras sin necesidad de intermediarios. Nivel de madurez: Medio/bajo.

Ejemplos de utilidad: Contratos inteligentes, smart contracts, aplicaciones construidas sobre la base de blockchain, para la gestión de diferentes servicios (por ejemplo, alquiler de patinetes, compra de billetes, fidelización,) asociados a la estación. Su implementación es factible como blockchain privadas o federadas (de consorcio).

## 5.6. Data Lakes, Big Data: Análisis en tiempo real

Conocido como Big Data, consiste en la acumulación de grandes volúmenes de datos de la organización, para la generación y gestión de información relevante. Los espacios de datos proporcionan confianza y seguridad para la compartición voluntaria de datos entre diversos agentes de manera interoperable y homogénea a través de mecanismos combinados de gobernanza, organizativos, legales y técnicos, haciendo especial foco en la privacidad, seguridad y soberanía del dato. Nivel de madurez: Medio/bajo.

Ejemplos de utilidad: La característica principal de los data lakes es que son de formato abierto, por lo que se evita la dependencia de un sistema propietario como podría ser un almacén de datos (data warehouse), esto hace que su principal aplicación sea obtener información y tomar decisiones basadas en datos que ayuden a mejorar las operaciones, impulsar el crecimiento y mantener la competitividad mediante el uso en muchos casos de inteligencia artificial. Por ejemplo, la empresa Mistral Data (UK) emplea actualmente los Data Lakes de la siguiente forma: 1) el sector ferroviario utiliza una serie de aplicaciones de mapas esquemáticos que muestran la ubicación de los trenes, estos datos se pueden complementar con datos GPS asociados a señales y puntos de atraque proporcionando una visión más detallada de la ubicación de cada tren y una capacidad de repetición que permite comparar el movimiento de los trenes con el aspecto de las señales para planificar las medidas correctoras, y 2) incorporando los datos generados a partir de las cajas negras de cada tren en tiempo real y usando los cambios en el comportamiento del tren, como el patinaje de las ruedas o el frenado, para identificar aquellos lugares en los que los trenes experimentan una baja adherencia, en ambos casos mejorando el rendimiento del servicio ferroviario.

## 6. Conclusión y retos para el futuro

Las estaciones intermodales del futuro deben ser infraestructuras capaces de albergar el mayor número de modos de transporte, diseñadas teniendo en cuenta todos los agentes participantes, con parámetros de optimización de mínimo intercambio, intuitivas, con diseño universal, sostenibles, seguras, sensorizadas y conectadas.

El reto de la estación intermodal del futuro es implementar y hacer uso de las nuevas tecnologías como palanca tractora para maximizar la coordinación de modos agentes y servicios implicados mejorando la experiencia del viajero. No se debe perder en la estación el tiempo que se ha ganado en la alta velocidad.

Para realizar este reto es fundamental un diálogo constructivo entre los diferentes gestores de los modos de transporte y asegurarse así que las decisiones están tomadas por el bien de todos los pasajeros.



## 7. Casos de uso

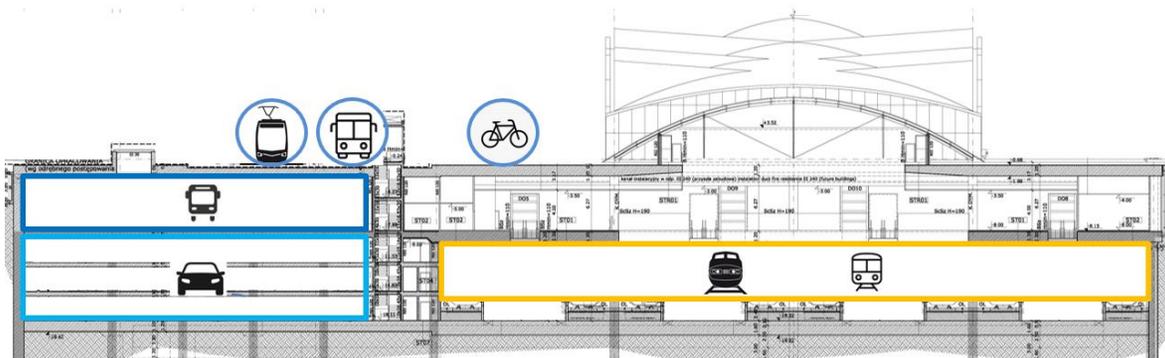
### Estación multimodal Lodz Fabryczna (Polonia).

Ejemplo de cooperación entre PKP (Ferrocarriles Nacionales Polacos) y la Ciudad de Lodz para crear un nudo de transporte en el centro histórico de la ciudad. Este enorme intercambiador es un modelo de estación óptima, donde las distancias entre diferentes modos de transporte se han reducido al mínimo. Esta estación de tren tiene 400m de longitud, pero es muy cómoda para hacer una escala.



Figura 127. Estación Lodz Fabryczna, Polonia

Tal y como se muestra en la sección, se observa que la estación de autobuses de larga distancia, el aparcamiento, las paradas de autobuses urbanos y tranvías están justo al lado de la estación ferroviaria.



Fuente: autor del proyecto Ewelina Oskroba Hanna

Figura 128. Sección de la estación de autobuses Lodz Fabryczna, proyecto Ewelina Oskroba



### Estación Central Utrecht (Holanda)-aparcamiento para las bicicletas

Utrecht Central Station. El parking cuenta actualmente con 12.500 plazas de aparcamiento, siendo el estacionamiento de bicicletas más grande del mundo.

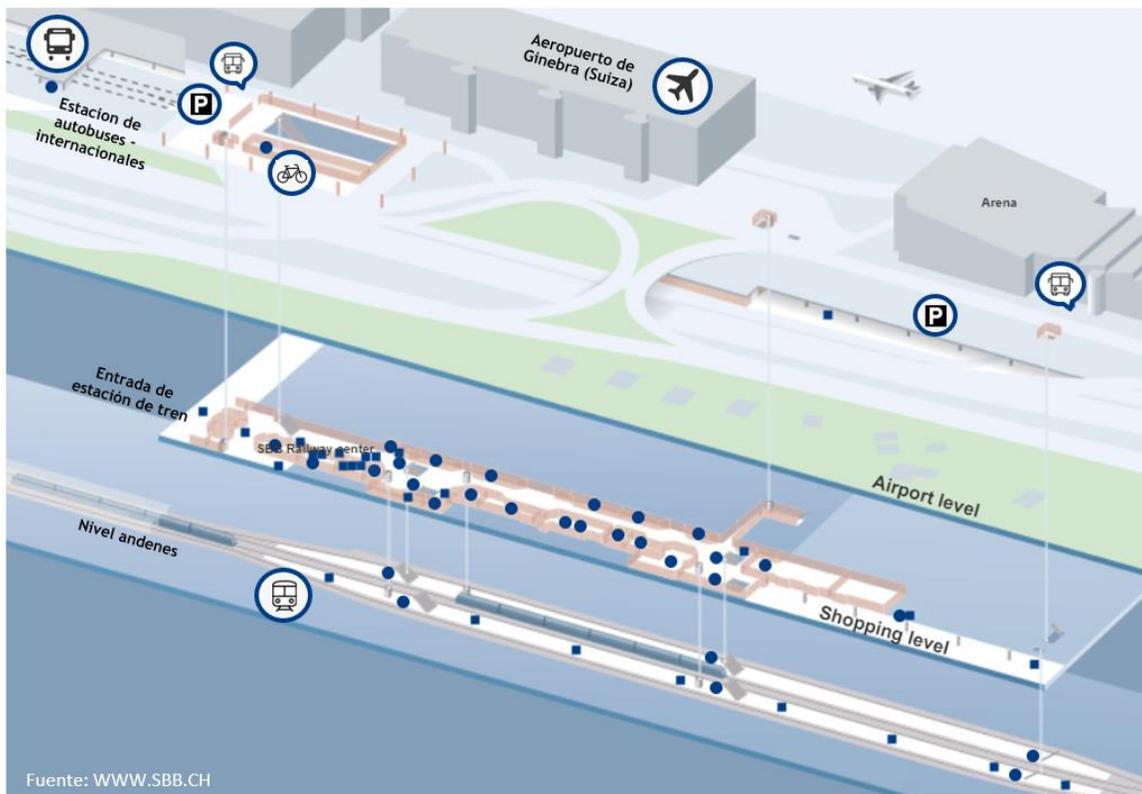


Figura 129. Utrecht Central Station, Holanda

El municipio de Utrecht, ProRail y NS (Dutch Rail) realizan y gestionan conjuntamente el aparcamiento para 1200 bicicletas junto a la estación del tren. Los 3 entes se aseguran de forma conjunta de que la estación de tren sea de fácil acceso, con estacionamientos para bicicletas atractivos, seguros y de uso eficiente en todo Utrecht. El Aparcamiento es gratuito durante las primeras 24 horas, está abierto 24/7 y permanentemente vigilado. Cuenta también con 1.000 bicicletas de transporte público, realizando el check-in y check-out con su tarjeta con chip de transporte público.

### Estación de tren en los aeropuerto - Ginebra (Suiza)

En el aeropuerto de Ginebra, la estación de tren esta justo enfrente de la salida del aeropuerto. El camino es muy intuitivo, bien señalizado y corto. Además, el precio de billete de Swiss Air incluye el coste del trayecto en tren desde aeropuerto hasta el centro de la ciudad.



Fuente: WWW.SBB.CH

Figura 130. Plano de ubicación estación de tren y aeropuerto, Suiza



### Estación de Saint-Lazare de París (Francia)

Información ampliada sobre los pasajeros en la estación Saint-Lazare de Paris.

En la estación se ha instalado un nuevo tipo de paneles de información al pasajero. Estos paneles indican los horarios de los dos próximos trenes por destino. Además, un código de colores especifica dónde se encuentra el acceso al tren, ya que los trenes para el mismo destino no siempre salen de la misma zona. Por último, para fomentar la intermodalidad, las principales conexiones en la estación de destino también aparecen indicadas.

### Página web SBB de Ferrocarriles Federales Suizos

En la página web SBB de Ferrocarriles Federales Suizos (www.sbb.ch) se encuentra toda la información relativa a **planificación del viaje**, tales como: Horario con intercambio, precio único, billete único para todo itinerario, información de andén de salida y llegada, información gráfica de intercambio sobre el mapa. Además, esta información está disponible en la página web varios meses antes de la fecha del viaje.

A continuación, se muestra una captura de la página web en la que se muestra un ejemplo de cómo se puede planificar un trayecto en Suiza, desde Zúrich Aeropuerto hasta una estación de esquí, Las Diblerets:

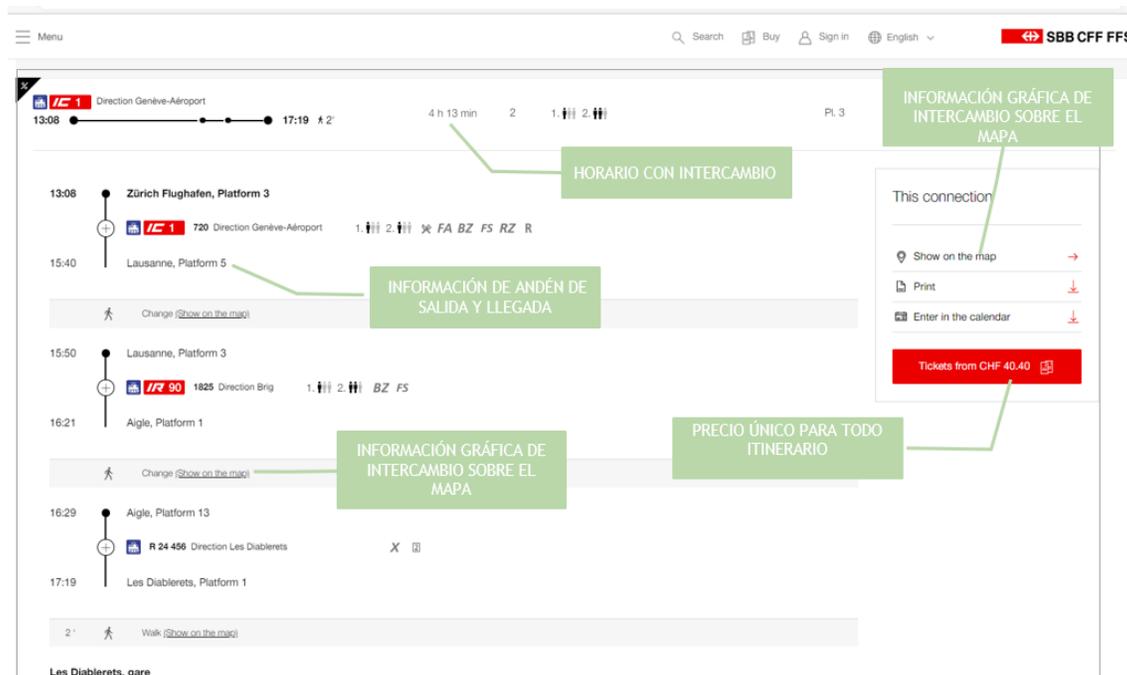


Figura 131. Planificación de viaje a través de la web SBB

Existen mapas disponibles en el web que muestran los traslados en cada cambio para el trayecto desde Zúrich Aeropuerto hasta Las Diblerets. Es información gráfica de intercambio sobre el mapa.

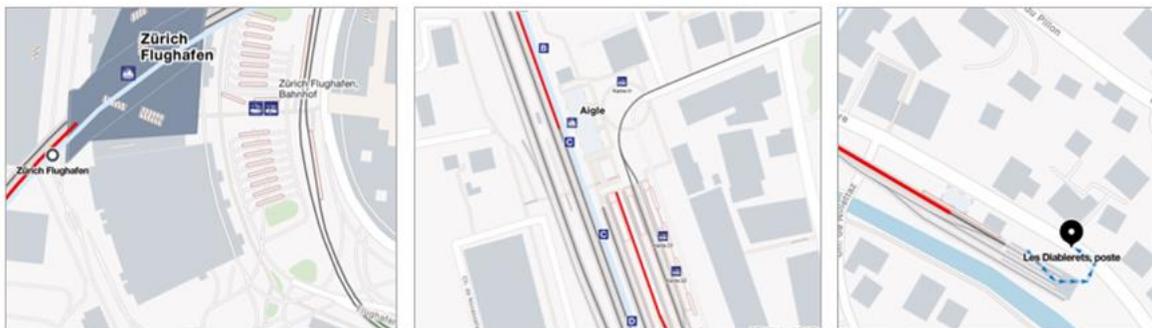


Figura 132. Información sobre traslados. Web SBB



### Tours (France) integración en la zona urbana

La plaza del General Leclerc a Tours (Francia) es un buen ejemplo de integración de intercambiador en el centro urbano de Tours (Francia), donde los itinerarios son bien identificados y revisados. Los obstáculos y las diferencias entre niveles de las carreteras han sido eliminados.

Los principales objetivos del diseño eran: dar prioridad a los desplazamientos caminando sobre los otros modos de transporte y garantizar la fluidez de una gran cantidad de pasajeros. Los intercambios entre los modos de transporte se hacen en un lugar atractivo y amable. El tamaño del espacio público dentro de zona de intercambio está bien optimizado. Varias salidas de la estación de tren permiten llegar rápidamente a otros modos como el tranvía que esta justo al lado, a una estación de autobuses que está en frente de estación, así como a varios aparcamientos de bicicletas y a un aparcamiento subterráneo.

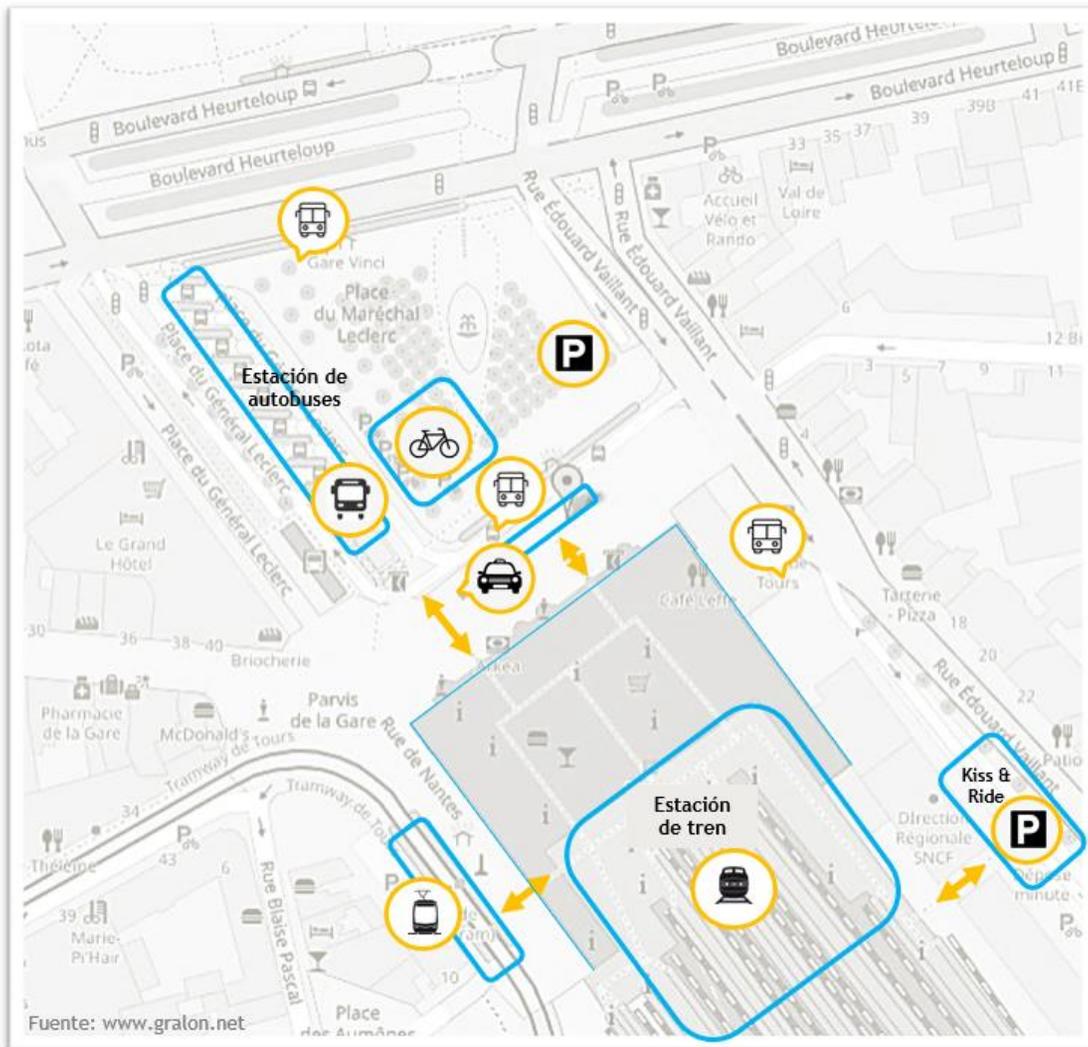


Figura 133. Distribución de los distintos modos de transporte

### Estación Barcelona-Sants

El Anteproyecto de la Estación Barcelona-Sants es un claro ejemplo de la denominada Estación del Futuro, un centro urbano sostenible y punto de encuentro, rodeado de espacios verdes y abierto a la vida social, cultural y económica de la ciudad.

Destaca por su importancia el planteamiento realizado para la optimización de la intermodalidad,

- Ferroviaria: desde Rodalies hasta Alta velocidad



- Sistemas sostenibles de transporte urbano: accesibilidad a diferentes tipos de movilidad sostenible (bicis y patines). Se construirá un aparcamiento robotizado para vehículos de movilidad urbana con una mejor conexión con las paradas de autobús.
- Red de autobuses

El entorno y las pasarelas de acceso serán lugares de paso donde los locales tendrán carácter urbano, y estarán orientados a la ciudad con áreas de coworking, vinculadas a empresas tecnológicas y de innovación, restauración de calidad y zonas lúdicas para eventos socioculturales. La propuesta de diseño aprovecha además la oportunidad de integrar la estación en un nuevo modelo urbano, eliminando el efecto rotonda y facilitando la permeabilidad de las conexiones a pie.

Como resultado, se espera reducir el tráfico del entorno en un 75% y ampliar la superficie peatonal a un 85%. Las obras comenzarán en 2023 para finalizar una primera fase en 2026 y completarse en 2030.

### **Intercambiador de Madrid Nuevo Norte**

El proyecto de Madrid Nuevo Norte desarrolla un modelo de ciudad que fomenta el uso del transporte público, favorece la reducción de la congestión del tráfico, y promueve una movilidad sostenible que pueda extender sus beneficios a la zona norte de la ciudad de Madrid e incluso al norte de la región.

Este intercambiador se convertirá en un nodo estratégico de movilidad para Madrid, con conectividad local, regional, nacional, por la Alta Velocidad de Chamartín, e internacional gracias a la futura conexión directa con el aeropuerto.

Contará con una gran infraestructura subterránea, conectará Metro, autobuses urbanos e interurbanos con los trenes de Cercanías, de media y larga distancia de la estación de Chamartín.

Se ubicará en pleno Centro de Negocios de Madrid Nuevo Norte, junto a la que será la torre de oficinas más alta del país y conectado con la red regional de parques. Se priorizará al ciudadano de a pie con una gran plaza peatonal y dos nuevos parques que rodearán los accesos al intercambiador y a la propia estación de Chamartín a la altura de la calle Agustín de Foxá.

El nuevo intercambiador unirá la Alta Velocidad y la red de Cercanías de la estación de Chamartín con 37 dársenas para autobuses regionales. Para albergar todo ello, contará con cuatro niveles subterráneos.

El nivel más profundo corresponderá a los andenes de la estación de Metro de Chamartín. Dos niveles intermedios albergarán un aparcamiento disuasorio con capacidad para 412 vehículos. Uno de ellos, la planta -2, servirá también para el acceso de pasajeros desde Cercanías, media y larga distancia de RENFE y la conexión con el aeropuerto de Barajas.

### **Navilens. Señalética para personas con discapacidad visual**

NaviLens, un sistema de señalética pionero, con carácter universal, que facilita a las personas con discapacidad visual orientarse simplemente con un ligero movimiento de la mano en la que sostienen su smartphone.

El sistema permite, a través de unas señales colocadas en los sitios idóneos, que las personas con discapacidad visual las detecten con su teléfono. Cada una de estas señales indica, de forma auditiva, en qué dirección debe ir y cuál es la situación de la persona respecto del cartel indicador, además de contener información de todo tipo. El sistema se compone de unas etiquetas con códigos de colores similares a los códigos de barras o códigos QR que se sitúan en los puntos que se desean identificar o en los que se desea colocar información relevante para la persona usuaria. Estos códigos son leídos mediante una aplicación que hace uso de la cámara del terminal móvil. La información obtenida de cada etiqueta es leída mediante voz. El sistema consta de una aplicación web con la que se diseñan y gestionan las etiquetas y una app móvil para leerlas. Es un producto de bajo coste que no tiene apenas mantenimiento. La aplicación funciona en cualquier dispositivo móvil y es totalmente accesible.

El sistema se ha instalado en la red de paradas de autobuses urbanos de Zaragoza, entre otras ciudades.





# REFERENCIAS, FIGURAS y TABLAS

1. Referencias	200
2. Figuras	202
3. Tablas	205



## 1. Referencias

### 1. 1. Referencias bibliográficas mencionadas en el documento

- [1] What passengers really want: Assessing the value of rail innovation to improve experiences. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Volume 1, June 2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198219300144>
- [2] Railway Technology. Smart railway stations: how cities are creating 'living' transport hubs. Analysis. Updated 05 Feb 2020. <https://www.railway-technology.com/analysis/smart-railway-stations-cities-creating-living-transport-hubs/>
- [3] Smart Stations in Smart Cities. Intelligent & Resilient. [https://uic.org/IMG/pdf/smart\\_stations\\_in\\_smart\\_cities.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/smart_stations_in_smart_cities.pdf)
- [4] Proximity Studio. "The complete beacon industry report: industry insights and use cases" [Industry\\_report\\_II\\_2.pdf](https://www.hubspot.net/hubspot/industry-report-ii-2.pdf) ([hubspot.net](https://www.hubspot.net)). Available on June 10<sup>th</sup>, 2022
- [5] InfSoft. "Finding the right track at the Zürich main train station using indoor navigation" <https://www.infsoft.com/company/press/indoor-navigation-zurich-main-station/>. Available on June 10<sup>th</sup>, 2022.
- [6] D. Miorandi, E. Jaupaj, C. Caprini, A. Zito, R. Bartolacelli, L. Carreras, A. Anagnostopoulos, A. Trypitsidis, M. Bonazountas, G. Conti, S. Pier, N. Dorigatti, T. Feng, J. Jesurun, and T. Arentze, «GuideMe: an outdoor/indoor navigation app based on the i-locate open toolkit» *Geomatics Workbooks n. 12 - «FOSS4G Europe Como 2015»*, At Como, Italy, Volume: 12
- [7] International conference on indoor positioning and indoor navigation. <https://ipin-conference.org/>. Available on June 10<sup>th</sup>, 2022
- [8] A. Naguib. «The great indoors: challenges and use cases» *InNav Overview* (wpi.edu). Available on June 10<sup>th</sup>, 2022
- [9] R.F. Brena, J.P. García-Vázquez, C.E. Galván-Tejada, D. Muñoz-Rodríguez, C. Vargas-Rosales, and J. Fangmeyer Jr." Evolution of Indoor Positioning Technologies: a survey. <https://doi.org/10.1155/2017/2630413>. Available on June 10<sup>th</sup>, 2022
- [10] Libro blanco sobre espacios inteligentes y tecnologías de posicionamiento y navegación en entornos de interior. 2019. I.S.B.N.: 978-84-17729-47-9
- [11] F. Espinosa, A.B. Bartolomé, P. Villoria Hernández and M.C. Rodríguez-Sánchez. "Contribution of Singular Spectral Analysis to Forecasting and Anomalies Detection of Indoors Air Quality". *Sensors* 2022, 22(8), 3054; <https://doi.org/10.3390/s22083054>.
- [12] D. Miorandi, E. Jaupaj, C. Caprini, A. Zito, R. Bartolacelli, L. Carreras, A. Anagnostopoulos, A. Trypitsidis, M. Bonazountas, G. Conti, S. Pier, N. Dorigatti, T. Feng, J. Jesurun, and T. Arentze, «GuideMe: an outdoor/indoor navigation app based on the i-locate open toolkit» *Geomatics Workbooks n. 12 - «FOSS4G Europe Como 2015»*, At Como, Italy, Volume: 12
- [13] R.F. Brena, J.P. García-Vázquez, C.E. Galván-Tejada, D. Muñoz-Rodríguez, C. Vargas-Rosales, and J. Fangmeyer Jr." Evolution of Indoor Positioning Technologies: a survey. <https://doi.org/10.1155/2017/2630413>. Available on June 10<sup>th</sup>, 2022
- [14] A. Bahillo, J. Blas, P. Fernández, R.M. Lorenzo, S. Mazuelas, y E.J. Abril, «E-Field Assessment Errors Associated with RF Dosimeters for Different Angles of Arrival, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 132 (1), pp. 51-56, septiembre 2008. DOI:10.1093/rpd/ncn275
- [15] Dell'Olio, L., Ibeas, A., & Cecin, P. (2011). The quality of service desired by public transport users. *Transport Policy*, 18(1), 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.08.005>
- [16] Dell'Olio, L., Ibeas, A., Cecin, P., & dell'Olio, F. (2011). Willingness to pay for improving service quality in a multimodal area. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(6), 1060–1070. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2011.06.004>
- [17] Grönroos, C. (2001). The perceived service quality concept – a mistake? *Managing Service Quality: An International Journal*, 11(3), 150–152. <https://doi.org/10.1108/09604520110393386/FULL/XML>
- [18] Transportation Research Board. (1999). *A Handbook for Measuring Customer Satisfaction and Service Quality | Blurbs New | Blurbs | Publications* (TCRP Report 47). Transportation Research Board. <https://www.trb.org/Publications/Blurbs/153801.aspx>
- [19] Dell'Olio, L., Ibeas, A., Oña López, J. de, & Oña López, R. de. (2018). *Public transportation quality of service: factors, models, and applications* (L. Dell'Olio, A. Ibeas, J. de Oña López, & R. de Oña López, Eds.; 1st edición). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/book/9780081020807>
- [20] Hensher, D. A., & Prioni, P. (2002). A Service Quality Index for Area-wide Contract Performance Assessment. *Journal of Transport Economics and Policy*, 36(1), 93–113. <https://ideas.repec.org/a/tpe/jtecpo/v36y2002i1p93-113.html>
- [21] Louviere, J. J., Hensher, D. A., Swait, J. D., & Adamowicz, W. (2000). Stated Choice Methods: Analysis and Applications. In *Stated Choice Methods*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511753831>
- [22] Aguilera, V., Allio, S., Benezech, V., Combes, F., & Milion, C. (2014). Using cell phone data to measure quality of service and passenger flows of Paris transit system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 43, 198-211
- [23] Hussain, K. F., Radwan, E., & Moussa, G. S. (2012). Augmented reality experiment: drivers' behavior at an unsignalized intersection. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(2), 608-617
- [24] Milne, D., & Watling, D. (2019). Big data and understanding change in the context of planning transport systems. *Journal of Transport Geography*, 76, 235-244
- [25] Díaz Velázquez, E. y García García-Castro, C. (2019): *Estudio integral sobre la accesibilidad a los medios de transporte públicos en España*



- [26] Ariel López. Diseñando estaciones de Metro más eficientes.
- [27] [https://ec.europa.eu/environment/levels\\_es](https://ec.europa.eu/environment/levels_es)
- [28] <https://www.usgbc.org/leed>
- [29] <https://breeam.es/>
- [30] <https://www.behqe.com/>
- [31] <https://gbce.es/certificacion-verde/>
- [32] [https://iea.blob.core.windows.net/assets/6cca78af-2327-4e97-868c-294d48cb66b3/GlobalABC\\_Roadmap\\_for\\_Buildings\\_and\\_Construction\\_2020-2050.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/6cca78af-2327-4e97-868c-294d48cb66b3/GlobalABC_Roadmap_for_Buildings_and_Construction_2020-2050.pdf)
- [33] Pitsiava-Latinopoulou y Iordanopoulos (2012). Intermodal Passengers Terminals: Design Standards for Better Level of Service

## 1. 2. Otras referencias utilizadas para la elaboración del documento

- Nota de prensa de ADIF del 15 de junio 2022.
- “Energy storage devices in electrified railway systems: A review”, Xuan Liu, Kang
- “Building Integrated Photovoltaics: A Concise Description of the Current State of the Art and Possible Research Pathways”, Bjørn Petter Jelle
- “An overview of regenerative braking systems”, Ahmed T. Hamada, Mehmet F. Orhan
- “Enviline™ ESS – Energy Storage System”
- [Construcción asequible hacia edificios sostenibles: revisión sobre la energía incorporada en los materiales de construcción - ScienceDirect](#)
- [Herramienta de evaluación de sostenibilidad basada en indicadores para tecnologías de construcción de viviendas asequibles - ScienceDirect](#)
- [Energía incorporada de materiales y tecnologías de construcción comunes y alternativos - ScienceDirect](#)
- [Evaluación incierta de sostenibilidad multicriterio de materiales de aislamiento de edificios ecológicos - ScienceDirect](#)
- [Propiedades higrotérmicas de materiales aislantes avanzados de base biológica - ScienceDirect](#)
- [Dinámica higrotérmica para el desarrollo de edificios energéticamente eficientes: materiales de construcción y consideraciones sobre el sistema de ventilación - ScienceDirect](#)
- [Comparación ecológica de construcciones de suelos higrotérmicamente seguras basadas en materias primas renovables para edificios de varios pisos - ScienceDirect](#)
- [Mejorar la habitabilidad de arquitecturas de emergencia ligeras: una investigación numérica sobre un nuevo sistema de construcción basado en EPS reforzado - ScienceDirect](#)
- [Revisión de hormigón con poliestireno expandido \(EPS\): Aspectos ambientales y de rendimiento - ScienceDirect](#)
- [Una evaluación cuantitativa y cualitativa de la sostenibilidad de los sistemas de construcción industrializados: una revisión bibliográfica y análisis de estudios de caso - ScienceDirect](#)
- [Energía incorporada de materiales y tecnologías de construcción comunes y alternativos - ScienceDirect](#)
- [Papel de los subproductos industriales y el metacaolín en el desarrollo de mezclas sostenibles de geopolímeros: ampliación de la escala de laboratorio a escala piloto - ScienceDirect](#)
- [Sostenibilidad | I | de texto completo gratuito Materiales de construcción no metálicos sostenibles | .HTML \(mdpi.com\)](#)
- [Energía incorporada inicial o recurrente: importancia en la vivienda asequible india - ScienceDirect](#)
- [Un marco espacio-temporal para la planificación sostenible de edificios basada en las emisiones de carbono a escala de ciudad - ScienceDirect](#)
- [Análisis del ciclo de vida: un estudio de caso de una vivienda en Escocia - ScienceDirect](#)
- [Estudio cuantitativo sobre los beneficios externos de los edificios prefabricados: desde perspectivas de economía, medio ambiente y sociedad - ScienceDirect](#)
- [Arrojando luz sobre los esfuerzos en la rehabilitación de uno de los principales culpables de las emisiones de carbono: un análisis cuantitativo de cero neto en el sector del entorno construido - ScienceDirect](#)
- [Armonizar el pensamiento de sostenibilidad del ciclo de vida en la sustitución de materiales para edificios - ScienceDirect](#)



## 2. Figuras

Figura 1. Customer Journey de Viajero. Van Hagen y Van der Made .....	13
Figura 2. Diferentes Canales y Dispositivos de comunicación .....	16
Figura 3. Flujo de análisis y procesamiento de textos.....	17
Figura 4. Fases de la analítica de textos, palabras, sentimientos, emociones, etc. ....	17
Figura 5. Ejemplo de Cuadro de Mando.....	19
Figura 6. Arquitectura plataforma cloud .....	21
Figura 7. Sistema de climatización/ventilación .....	22
Figura 8. Sistema de iluminación .....	23
Figura 9. Sistema de transportes verticales y movilidad en estación.....	23
Figura 10. Sistema de información al pasajero .....	24
Figura 11. Sistema de ticketing.....	25
Figura 12. Sistema contra incendios .....	26
Figura 13. Tecnologías de comunicación IoT.....	27
Figura 14. Cuadrante de Gartner de plataformas IoT .....	28
Figura 15. Arquitectura cloud para IA con CCTV.....	29
Figura 16. Panel con información sobre ocupación .....	30
Figura 17. Ilustrativo de cuadro de mando con información de pasajeros .....	31
Figura 18. Imagen sensor Lidar .....	39
Figura 19. Algoritmos de análisis de imagen para estimación de densidad (fuentes Thales).....	39
Figura 20. Componentes de Puesto de Mando Integrado (fuente Thales).....	40
Figura 21. Ocupación en tren (fuente Thales).....	41
Figura 22. Mapas de densidad de red en vivo (fuente Thales).....	42
Figura 23. Indicadores de ocupación en andenes (fuente Thales).....	42
Figura 24. Integración solución de análisis en plataforma OCC integrada (fuente Thales).....	43
Figura 25. Revisión de tecnologías de posicionamiento en interiores .....	46
Figura 26. Resumen de posibles funcionalidades analíticas .....	49
Figura 27. Elementos implicados en intermodalidad .....	50
Figura 28. Conectividad en estaciones .....	52
Figura 29. Mobility as a Service .....	52
Figura 30. Diferentes estándares en el ecosistema Transmodel.....	54
Figura 31. Intercambio de información entre nodos y usuarios .....	54
Figura 32. Identificación de elementos IFC.....	55
Figura 33. Intercambio de información entre sistemas .....	55
Figura 34. Recogida información usuarios.....	59
Figura 35. Satisfacción general reportada .....	61
Figura 36. Símbolo de Accesibilidad Universal de la ONU.....	65



Figura 37. Diagrama de la cadena de accesibilidad en el viaje en tren (fuente: Ineco).....	67
Figura 38. Diagrama de Autonomía en la Cadena de Viaje en tren en España (fuente: Ineco) .....	68
Figura 39. Dispositivos y asistencia para el embarque al tren.....	68
Figura 40. Provisión de información en las estaciones (fuente: Adif) .....	69
Figura 41. Tecnologías para el reconocimiento de sonidos (fuente Visualfy) .....	70
Figura 42. Solución Visualfy Connect (fuente Visualfy).....	70
Figura 43. Sistema de guiado Navilens Go (fuente Navilens).....	72
Figura 44. Rubber Gap Filler (fuente Acosta Ingenieros).....	74
Figura 45. AccessRobots en las estaciones de Madrid Chamartín y Málaga Maria Zambrano (fuente Inserta Innovación) .....	75
<i>Figura 46. Sistema dinámico de posicionamiento de vagones accesibles en andenes (fuente Ineco) .....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 47. Distribución y disposición de dispositivos para señalética dinámica inteligente en Serie 730 (fuente Ineco) .....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 48. Esquema de distribución y disposición de dispositivos para señalética dinámica inteligente en andenes con diferente tipología de material rodante (fuente Ineco) .....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 49. Tótem de información accesible (fuente Ineco) .....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 50. Tótem de información accesible para situaciones provisionales (fuente Ineco) .....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 51. Solución Visualfy Places. Cuadrante de Gartner (fuente Visualfy) .....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 52. Entrada a la estación (fuente Visualfy) .....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 53. Lámparas instaladas a lo largo del recorrido por la estación (fuente Visualfy).....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 54. Lámparas instaladas a lo largo del recorrido por la estación (fuente Visualfy).....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 55. Mostradores de atención al viajero (fuente Visualfy).....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 56. Máquinas de venta automática de billetes (fuente Visualfy).....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 57. Actuación en los andenes (fuente Visualfy) .....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 58. Identificación de los sectores del andén (fuente Ineco).....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 59. Esquema con instrucciones de uso en los andenes (fuente Ineco) .....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 60. Panel informativo. Estación Central de Viena (fuente Ineco) .....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 61. Panel informativo ubicación tren-andén Estación Central de Viena y Señalización de zona de andén, correspondiente a zona accesible (fuente Ineco).....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 62. Señalética instalada y mensajes proporcionados durante la prueba (fuente Adif).....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 63. Modelo de pirámide con los requisitos genéricos de los usuarios (izqda.). DAFO (dcha.) .....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 64. Bicicletas de alquiler en las estaciones en los Países Bajos. (fuente: NS) .....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 65. Diferentes dominios de la estación de Lille (Francia) .....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 66. Sistema de mamparas o puertas de andén en la Jubilé Line de Londres.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 67. Disposición de elementos verticales y esquema de flujos en una estación tipo con vestíbulo intermedio y andén central .....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 68. Perfil longitudinal de estación con vestíbulo intermedio – esquema de flujos.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 69. Solución andén central (izqda.); Acceso desde vestíbulo a andén central (dcha.). Metro de Málaga .....</i>	<i>95</i>



Figura 70. Panorámica de vestíbulo de una estación tipo metro de Málaga con dos accesos .....	95
Figura 71. Puertas de andén en la estación Montequinto del metro de Sevilla – andén central .....	95
Figura 72. Estación de Lieja, Bélgica. Ubicación: Lieja, Bélgica. Arquitecto: Santiago Calatrava.....	97
Figura 73. Estación Grand Central. Ubicación: Nueva York, EE.UU. Arquitecto: Reed y Stem; Warren y Wetmore .....	97
Figura 74. Tres configuraciones de andenes: Andenes laterales, andén central y andenes mixtos .....	98
Figura 75. Estación modular por fases: Andén central (arriba), Andén mixto (abajo). Flujo peatonal de acceso (rojo) y egreso (azul) .....	98
Figura 76. Estación modular de la Alta Velocidad ferroviaria en Arabia Saudita .....	99
Figura 77. Concepto de inspección y de la monitorización estación del futuro .....	103
Figura 78. Ejemplos de drones aéreos y acceso a zonas de difícil acceso .....	104
Figura 79. Ejemplos de drones terrestres. Foto izqda.: robot cuadrúpedo de inspección. ANYbotics ....	104
Figura 80. Robots realizando operaciones de mantenimiento .....	104
Figura 81. Transporte de materiales realizado por robots .....	104
Figura 82. Plataforma autónoma de inspección, Proyecto DG RAIL .....	105
Figura 83. Detalle Plug and Play, plataforma de mantenimiento e inspección .....	105
Figura 84. Ejemplos de robots de vigilancia.....	106
Figura 85. Ejemplos de robots de asistencia al usuario .....	106
Figura 86. Simulación conversación entre Mario, supervisor turno de noche y, Luis, director estación .	107
Figura 87. Recreación de inundación en túnel.....	107
Figura 88. Simulación conversación entre Luis, director estación y, Andrés, jefe de bomberos .....	108
Figura 89. Simulación conversación entre Luis, director estación y resto equipo técnico .....	109
Figura 90. Simulación continuación conversación entre Luis, director estación y resto equipo técnico .	110
Figura 91. Simulación conversación entre Luis, director estación y, Adela, jefa comunicación .....	110
Figura 92. Simulación continuación conversación entre Luis, director de la estación y resto de equipo técnico.....	111
Figura 93. Simulación continuación conversación entre Luis, director estación y, Andrés, jefe bomberos .....	111
Figura 94. Simulación final de la conversación entre Luis, director de la estación y, resto de equipo ....	112
Figura 95. Ejemplos de arquitectura Edge Computing. ....	114
Figura 96. Estructura de una red Blockchain. ....	115
Figura 97. Datos de un bloque de una red Blockchain .....	115
Figura 98. Estructura del Árbol de Merkle .....	116
Figura 99. Modos de transporte público (izda.); ejemplo servicio Maas (drcha.) .....	116
Figura 100. Sistemas de consumo en una estación .....	126
Figura 101. Sistema de aprovechamiento de energía cinética generada durante el frenado.....	129
Figura 102. Sistema de almacenamiento de energía basado en batería .....	131
Figura 103. Sistema de almacenamiento de energía basado volante de inercia .....	131
Figura 104. Sistema de almacenamiento de energía basado bobinas superconductoras .....	133



Figura 105. Estación de Blackfriars en Londres, Reino Unido .....	135
Figura 106. Visualización instalación eléctrica .....	137
Figura 107. Elementos de transmisión y control para la gestión de la energía eléctrica (fuente: REE) ...	139
Figura 108. Inversiones de Red Eléctrica de España según plan estratégico en el periodo 2018-2022 (fuente: EnerTIC).....	139
Figura 109. Cadena de Valor para los futuros mercados de flexibilidad energética (Fuente: USEF 2021) .....	140
Figura 110. Propuesta de integración de mercados de flexibilidad local (Fuente: proyecto IREMEL) ....	140
Figura 111. Sistema de gestión energética inteligente .....	146
Figura 112. Desarrollo de geopolímeros con RCD.....	155
Figura 113. Investigadores de la UPCT formulan y testan hormigón sin cemento y de reciclaje .....	155
Figura 114. Temáticas y tecnología clave para la Estación del Futuro.....	158
Figura 115. Victoria Station - ©Michael Redina .....	159
Figura 116. Kow Loon Station - ©Virgil Bertrand\Aedas .....	160
Figura 117. Intercambiador HS2 Birmingham - <a href="https://www.hs2.org.uk/building-hs2/stations/interchange">https://www.hs2.org.uk/building-hs2/stations/interchange</a> .....	160
Figura 118. Integración de equipamiento IT en entornos de uso .....	166
Figura 119. Descripción general de un Full-stack .....	167
Figura 120. Drivers tecnológicos en la Estación del Futuro (fuente TECNALIA). .....	168
Figura 121. Las relaciones multidisciplinares de la movilidad .....	180
Figura 122. Trayecto facilitado por Google Maps .....	181
Figura 123. Nueva taquilla segura para bicicletas, París, Francia .....	184
Figura 124. Aparcamientos y cargadores de patinetes .....	186
Figura 125. Vehículos eléctricos. Liubliana, Eslovenia .....	186
Figura 126. Ejemplo de despliegue de sistemas de geolocalización en interiores en tiempo real (imagen superior) y flujos de movimiento (imagen inferior) basados en IoT (Solución desarrollada por DecisionHabitat - UPCT) .....	190
Figura 127. Estación Lodz Fabryczna, Polonia .....	193
Figura 128. Sección de la estación de autobuses Lodz Fabryczna, proyecto Ewelina Oskroba.....	193
Figura 129. Utrecht Central Station, Holanda.....	194
Figura 130. Plano de ubicación estación de tren y aeropuerto, Suiza .....	194
Figura 131. Planificación de viaje a través de la web SBB .....	195
Figura 132. Información sobre traslados. Web SBB.....	195
Figura 133. Distribución de los distintos modos de transporte .....	196

### 3. Tablas

Tabla 1. Comparación entre tecnologías de posicionamiento en interiores .....	45
Tabla 2. Tipos de conexión y factores clave de cada uno .....	51

