



Agenda Estratégica de Investigación del Sector Ferroviario



Agenda Estratégica de Investigación del Sector Ferroviario

PLATAFORMA TECNOLÓGICA FERROVIARIA ESPAÑOLA

Impreso en España, abril 2008

Depósito legal: M-25045-2008

Diseño, maquetación y producción gráfica:
Vibra Diseño S.L.

Fotografías:
Archivo Adif Comunicación interna
Archivo Renfe
Archivo Vía Libre
LUNA

Proyecto ref.: RET-370400-2005-1
Financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia dentro
del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e
Innovación Tecnológica 2004-2007



La **Plataforma Tecnológica Ferroviaria Española (PTFE)**, es una agrupación de entidades públicas y privadas con intereses en el Sector Ferroviario. Constituida, con el impulso de los Ministerios de Educación y Ciencia y Fomento, en Asamblea del 23 de mayo de 2006, como **herramienta, al servicio de todo el Sector, cuyo objetivo es movilizar la masa crítica de innovación** necesaria para el logro de los avances científicos y tecnológicos que aseguren la competitividad, la sostenibilidad y el crecimiento del ferrocarril español.

Desarrolla su actividad estructurada en Grupos de Trabajo especializados, cuyo análisis de la I+D+i del Sector Ferroviario: situación de partida, visión 2020, identificación y priorización de líneas prioritarias de investigación y de proyectos para su implementación, se resumen en este documento **"Agenda Estratégica de Investigación del Sector Ferroviario"**.

Índice

1	Introducción	5
2	Situación de partida	9
3	Visión 2020	15
4	Análisis y diagnóstico	23
	4.1 Política, planificación, economía y energía y sostenibilidad	23
	4.2 Interoperabilidad y ERTMS	25
	4.3 Material móvil	28
	4.4 Vía, superestructura e instalaciones	36
	4.5 Explotación, operación y seguridad del sistema ferroviario	37
	4.6 Infraestructura y plataforma	37
	4.7 Carencias formativas	40
5	Resumen del DAFO	43
6	Líneas de investigación	45
	6.1 Política, planificación, economía y energía y sostenibilidad	45
	6.2 Interoperabilidad y ERTMS	48
	6.3 Material móvil	49
	6.4 Vía, superestructura e instalaciones	56
	6.5 Explotación, operación y seguridad del sistema ferroviario	57
	6.6 Infraestructura y plataforma	66
7	Consideraciones finales	69
8	Priorización de líneas de investigación	75
9	Catálogo de proyectos para la implementación de las líneas de investigación	85
10	Anexo I: Análisis DAFO	96
11	Anexo II: Organización de la PTFE	108
	11.1 Asamblea	108
	11.2 Comité Directivo	115
	11.3 Comité Ejecutivo	115
	11.4 Secretaría Técnica	116
	11.5 Grupos de Trabajo, Coordinadores y Miembros destacados	117



1. Introducción

En Septiembre del 2002 la Plataforma Tecnológica Ferroviaria Europea, ERRAC, publicó la **Agenda Estratégica Europea de Investigación Ferroviaria 2020, SRRRA, "A Turning Point for European Rail Research"**. Este documento y sus posteriores desarrollos, y documentos de implementación, han marcado un hito en el Sector Ferroviario, ya que, por primera vez, la industria ferroviaria europea realizó un ejercicio conjunto para definir las líneas de desarrollo del Sector Ferroviario en un horizonte determinado y paralelamente identificar las necesidades de investigación que deberían satisfacerse para hacer factible dicho desarrollo. Gran parte de estas prioridades de ERRAC fueron incorporadas en la definición de los Programas de Trabajo del VII Programa Marco de la UE, instrumento de financiación comunitario de la I+D+i.

El objetivo de la Agenda Estratégica Europea es conseguir el desarrollo de un sistema ferroviario moderno, adaptado al crecimiento del siglo XXI y a las pautas de movilidad europea de un territorio que podría contar con más de 30 países en este siglo, y que debe afrontar un cambio radical tanto en su funcionamiento interno como en el mantenimiento de su competitividad externa.

La consecución de un modelo sostenible en el ámbito urbano y metropolitano es otro de los grandes retos en el transporte. Los sistemas guiados, metros y tranvías, pueden satisfacer las necesidades de movilidad, contribuyendo a la reducción de los efectos negativos generados por el transporte en las ciudades, mejorando la eficiencia de los servicios y la calidad de vida de su ciudadanía.

España, que ocupa una situación geográfica de país periférico dentro de la Unión Europea, está viendo en los últimos años como el centro de gravedad de la Unión se aleja de sus fronteras con la incorporación de los países del centro y este de Europa. Esto hace que sea imprescindible contar con una potente red de infraestructuras, que ha de conjugar con un sistema de movilidad que apoye el mantenimiento de la competitividad económica sin perjuicio del respeto al medioambiente y del crecimiento sostenible de su territorio. Naturalmente, nuestro país comparte también la necesidad de solucionar, con criterios de sostenibilidad, la demanda creciente de movilidad en sus ciudades.

Al igual que en el resto de Europa, en España **el ferrocarril puede, y debe, ser un elemento clave para el futuro de la movilidad**, pero para ello hay que dotarle de los medios que hagan de él un modo de transporte eficaz y competitivo. El esfuerzo realizado por la administración ferroviaria española para adaptarse a las Directivas de la Comisión Europea, la **gran inversión** realizada en los últimos años por el Ministerio de Fomento para la modernización de la red, junto con los **presupuestos** asignados al Ferrocarril en el Plan Estratégico de Infraestructuras de Transporte (PEIT) y en los **Contratos Programa de los Gestores y Operadores Públicos del Sector**, auguran un futuro prometedor.

Ante retos tan relevantes se hace necesaria una **reflexión ordenada sobre el Sector Ferroviario español, realizada por la industria ferroviaria y sus principales agentes**, que señale cuál debe ser el futuro óptimo del ferrocarril en España, qué necesidades de investigación existen y cuáles deben ser los medios adecuados para ponerlas en práctica.

Es en este sentido en el que se presenta **esta Agenda Estratégica de Investigación del Sector Ferroviario**, que debe evolucionar, actualizarse y enriquecerse para conseguir un documento consensuado que sea **"guía y faro del ferrocarril en nuestro país"**, herramienta básica del Sector,

para el conjunto de organismos responsables de la planificación e investigación ferroviaria en España, a partir de la cual podrán estructurarse líneas y grupos de investigación.

El presente documento ha sido redactado a partir de las aportaciones de los distintos Grupos de Trabajo que participan en la Plataforma Tecnológica Ferroviaria, puestas en común por el Grupo de "Situación, estrategia y planificación de I+D+i" y sometidas a **valoración por el conjunto de la miembros de la Plataforma en su segunda Asamblea**.

En el documento se han agrupado las aportaciones de los Grupos de Trabajo en función de las afinidades que presentan las distintas temáticas abordadas, resultando las siguientes áreas:

Área 1: "Política, planificación, economía y energía y sostenibilidad" que corresponde al grupo de trabajo del mismo nombre.

Área 2: "Interoperabilidad y ERTMS", que corresponde al grupo de trabajo del mismo nombre.

Área 3: "Material móvil" que incluye la temática tratada por los siguientes Grupos de Trabajo:

- ➔ Material móvil para transporte metropolitano
- ➔ Factores humanos y ergonomía
- ➔ Vehículos para alta velocidad
- ➔ Material rodante y tracción ferroviaria
- ➔ Mantenimiento de material rodante

Área 4: "Vía, superestructura e instalaciones" que incluye la temática tratada por los siguientes Grupos de Trabajo:

- ➔ Mantenimiento de instalaciones fijas
- ➔ Instalaciones y ancho variable
- ➔ Superestructura

Área 5: "Explotación, operación y seguridad del sistema ferroviario" que incluye la temática tratada por los siguientes Grupos de Trabajo:

- ➔ Explotación de la infraestructura y operación de trenes
- ➔ Seguridad del sistema ferroviario

Área 6: "Infraestructura y plataforma" que corresponde al grupo de trabajo del mismo nombre.





2. Situación de partida

Con objeto de enmarcar adecuadamente el análisis de la situación actual del Sector Ferroviario español conviene considerar su **relación con la estrategia común europea**. Esta pivota, según puede extraerse del **Libro Blanco del Transporte**¹, en las siguientes consideraciones:

- El pensamiento en materia de transportes debe ser global, ya que la política europea, y las nacionales que a ella se adhieren, deben garantizar que se alcanzan los **objetivos de movilidad y eficiencia en el transporte comunitario**.
- Los planes nacionales deben enfocarse hacia la **implantación práctica efectiva de las directrices comunitarias**: las acciones deben ser locales y desarrollar el pensamiento global.

Consecuentemente, **en algunos aspectos, a nivel nacional hay muy poco que pueda establecerse con criterio propio**. De hecho, muchas de las Directivas tienen su propia regulación técnica (ETIs², por ejemplo) por lo que el campo de actuación está limitado a buscar la mejor manera de llevarlas a cabo y no a su modificación.

No obstante, **en un contexto de altísima y rápida evolución de los sistemas ha de preverse y defenderse la inversión nacional**, muy particularmente en el caso de España, donde se está realizando una importante inversión para la modernización de la red ferroviaria, con especial incidencia en la alta velocidad y donde, por ejemplo, la implantación del ERTMS/ETCS está, en relación con otros países, muy avanzada.

El **Libro Blanco** también ha determinado cuáles son los principales **cuellos de botella en el transporte** así como las sinergias que deben tenerse en cuenta para su desarrollo. Sucintamente son:

- El **transporte ferroviario**, comparado con los otros modos de transporte, está **en claro desequilibrio**, debiendo potenciar su cuota de participación.
- **Los otros modos de transporte están cercanos a su saturación**, y no son los más efectivos en consideración a factores cada vez más importantes como la eficiencia energética y la sostenibilidad.
- Deben aprovecharse al máximo iniciativas Sectoriales de la sociedad de la información (notablemente GALILEO) y las nuevas tecnologías.

En un primer momento **el esfuerzo inversor comunitario ha estado enfocado en la consecución de la regulación técnica interoperable de los diferentes subsistemas**, lo que ha quedado recogido en las ETIs correspondientes, por lo que, en la actualidad, los países miembros tienen a su disposición un marco normativo suficientemente estable y razonablemente útil para su utilización sin reservas en aplicaciones comerciales. Así, las especificaciones técnicas están prácticamente consolidadas y satisfacen las necesidades básicas de los usuarios (gestores de infraestructura y operadores) como se ha demostrado en diversos países y de forma notable en España.

¹ COM(2001) 370 final. LIBRO BLANCO. La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad.

² Technical Specification for Interoperability. Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad Ferroviaria

Otro aspecto muy relevante es que, en el marco actual de la Unión Europea, la **reglamentación de obligado cumplimiento es cada vez más estricta en cuanto a la protección del medio ambiente**, lo que ofrece grandes oportunidades al modo ferroviario, pero al mismo tiempo plantea nuevas exigencias, tanto en la construcción y mantenimiento de las infraestructuras, como en los materiales y el diseño del material rodante, en la operación y en la propia gestión de las empresas.

Centrándonos en el **escenario español**, el que presenta el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (**PEIT**) 2005-2020, respecto al Sector Ferroviario es, comparativamente con el resto de modos, **mucho más ambicioso**, previendo alcanzar una **red de alta velocidad - altas prestaciones que alcanzará los 10.000 km de vía doble en ancho UIC, equipada toda ella con sistema European Rail Traffic Management System (ERTMS/ETCS) Niveles 1 y 2.**

Se pretende con ello que el **90 por 100 de la población esté a menos de cincuenta kilómetros de una estación de alta velocidad y que todas las capitales de provincia tengan acceso directo a la red de alta velocidad.**

En cuanto a la red convencional plantea lograr la **interoperabilidad de nuestra red con el resto de la red europea**, con especial incidencia en los tráficos de mercancías, a través de una programación ordenada de actuaciones y del máximo aprovechamiento de las distintas tecnologías y sistemas de cambio de ancho.

Por otro lado, el sistema ferroviario español debe ser capaz de asumir los **retos que establecen los hitos establecidos en el documento ERRAC "Strategic Rail Research Agenda 2020"**:

- ➔ **Crecimiento del 40% en el número de pasajeros-kilómetro e incremento del 70% en el número de toneladas-kilómetro transportadas.**
- ➔ **El tiempo de transporte se habrá reducido en un 50%.**
- ➔ **La interoperabilidad será real y efectiva.**
- ➔ **La productividad de la infraestructura, material y gestión del sistema ferroviario será al menos el doble y, en casos concretos, llegará a cuadruplicarse.**
- ➔ **La capacidad se habrá incrementado considerablemente por el empleo de nuevos y eficientes sistemas de protección y control.**
- ➔ **La intermodalidad será una realidad, conectando los diferentes modos de transporte eficientemente. La información será en tiempo real a través de la monitorización continua del material.**
- ➔ **Existirá una especialización de la infraestructura con corredores separados para los transportes urbanos y de cercanías.**
- ➔ **La red europea de alta velocidad superará los 15.000 km.**
- ➔ **Los corredores europeos para el transporte de mercancías llegarán también a la longitud de 15.000 km.**

Respecto de la evolución de la I+D+i en el Sector Ferroviario nacional, puede generalizarse la experiencia del nacimiento de la alta velocidad:



Los proyectos de investigación de vehículos de alta velocidad comienzan en Japón en 1945, en Francia en 1951 y en Alemania a principios de los años 70 con el Maglev y entre 1975 y 1985, fruto de un programa alemán de investigación y desarrollo, el tren Intercity Experimental como prototipo del posterior tren ICE (Intercity Expres). Mientras, en esa etapa, en España se planteaba la viabilidad del ferrocarril.

Cuando RENFE convoca, en febrero de 1988, el concurso internacional para la adquisición de trenes de alta velocidad, se reciben seis ofertas de seis casas constructoras, ninguna española. **La industria ferroviaria española no estaba preparada con tecnología propia para competir** en igualdad de condiciones de concurrencia, echándose en falta la existencia de programas de investigación conjuntos entre las empresas del Sector, las universidades y los centros de investigación con los apoyos financieros precisos para llevar a cabo la investigación y desarrollo en torno a los requisitos tecnológicos de la alta velocidad.

Se produjo, no obstante, una amplia cooperación técnica de las empresas extranjeras adjudicatarias con la industria ferroviaria nacional. Esta transferencia de tecnología permitió a numerosas sociedades del Sector Ferroviario español, tanto de especialidades mecánicas, como eléctricas y electrónicas, adquirir y desarrollar los conocimientos necesarios para producir los elementos principales constitutivos de los vehículos de alta velocidad, además de su ensamblaje. Los niveles de calidad y fiabilidad alcanzados en la explotación comercial de estos trenes dan buena prueba del éxito de la transferencia tecnológica.

2. Situación de partida

Es importante remarcar que España presenta una serie de obstáculos que pueden dificultar la consecución de los desarrollos marcados a nivel de I+D+i, entre los que cabe destacar: dificultades de experimentación, escasez de circuitos de pruebas, restricciones normativas y de seguridad (homologaciones) y competencia con empresas extranjeras que reciben mayor apoyo institucional.

A pesar de ello y, en parte por la mencionada asimilación tecnológica, el Sector Ferroviario, apoyado en la estructura nacional de universidades y centros de investigación está cualificado para enfrentar los retos y desarrollos anteriormente mencionados.

Hay además un apoyo decidido por el fomento de la investigación: desde Europa con las convocatorias del VII Programa Marco y, en el ámbito exclusivamente español, con el muy ambicioso Plan Nacional de I+D+i 2008-2011, cuya estructura y presupuesto facilitarán y potenciarán la participación de las empresas ferroviarias, tanto en temas específicamente relacionados con el transporte por ferrocarril, como en otros de tipo transversal.

Ambos ofrecen buenas oportunidades para el Sector, que éste está en condiciones de aprovechar. Con el **objetivo fundamental de la mejora tecnológica y la competitividad**, los esfuerzos han de orientarse a:

- Participar más activamente, con peso en consorcios internacionales.
- Liderar proyectos ganadores.
- Conseguir mayores retornos, especialmente en el VII Programa Marco.
- Potenciar la colaboración entre empresas y grupos de investigación.





3. Visión 2020

Bajo este epígrafe se trata de plasmar los retos claves del Sector Ferroviario en el horizonte 2020. Se ha intentado ir más allá de las áreas en que se ha estructurado la Agenda para afrontar aquellos temas que vertebran el Sector y que son, además, fundamentales para enmarcar la situación deseable en dicho horizonte y los requisitos tecnológicos precisos para satisfacer la evolución de las demandas de la sociedad, sin con ello comprometer el futuro:

Medio ambiente y sostenibilidad.

Nuestro patrón de crecimiento, pese a sus éxitos, ha demostrado notables debilidades en materia medioambiental. Se ha producido un significativo incremento de consumo energético, ha aumentado la participación de energías fósiles en el balance energético y se ha empeorado el nivel de emisiones contaminantes. Una mejora del comportamiento medioambiental en el transporte debería articularse en dos ámbitos:

- Disminución de los impactos globales del transporte.
- Calidad ambiental en el entorno natural y urbano.

Se trataría de recuperar una senda de crecimiento sostenible con respecto al medio ambiente, ya que un descuido a corto y medio plazo puede suponer un factor limitativo de crecimiento en el futuro.

El Sector Ferroviario a 2020 deberá hacer frente a los siguientes retos:

- Reducción de emisiones de CO₂, así como de otros contaminantes cumpliendo con el Protocolo de Kioto y las Directivas Europeas de calidad del aire.
- Utilización de alternativas energéticas (biogás, tecnologías del hidrógeno, levitación magnética, sistemas híbridos).
- Incorporación de los diversos tipos de energías renovables, actualmente disponibles o de futura implantación, a los sistemas de alimentación de las infraestructuras ferroviarias.
- Reducción del ruido y vibraciones en espacios afectados por líneas de ferrocarril. Tanto para el cumplimiento normativo, como para la mejora competitiva frente a otros modos.
- Incremento de la utilización del transporte ferroviario, como modo de transporte colectivo de carácter sostenible.
- Diseñar las nuevas infraestructuras con criterios de cohesión social y territorial y de sostenibilidad medioambiental y económica.
- Restaurar ecológicamente los espacios afectados por la construcción de líneas de ferrocarril.
- Desarrollar nuevos materiales -ecocompras- y sistemas de diseño -ecodiseño- que, desde las primeras fases de la concepción del producto, garanticen el respeto al medio ambiente.

Interoperabilidad y ERTMS de la red convencional.

Los problemas nacionales encontrados durante el despliegue de la interoperabilidad y el sistema ERTMS/ETCS no serán ya acciones locales, sino que se habrán vinculado al ámbito comunitario, tal y como fija la Comisión Europea.

A 2020 el Sector debería:

- ➔ Disponer de laboratorios líderes ERTMS que presten servicios no sólo a España sino a toda Europa, así como asistencia técnica a la ERA (Agencia Ferroviaria Europea).
- ➔ Haber desarrollado el nivel 3 de ERTMS o híbrido.
- ➔ Haber integrado el sistema GALILEO en el ERTMS.
- ➔ Haber finalizado el proceso de introducción de la interoperabilidad en la mayor parte de la red nacional.
- ➔ Disponer de una red convencional interoperable con el resto de la red europea, incluidos los tráficos de mercancías, a través de una programación ordenada de actuaciones y del máximo aprovechamiento de las distintas tecnologías y sistemas de cambio de ancho.
- ➔ Disponer de una Autoridad nacional para la explotación y operación del sistema ERTMS/ETCS, ejecutiva y con participación activa en los foros europeos, que arbitre el desarrollo, aúne y coordine esfuerzos nacionales y defienda y realice sus propuestas ante los foros de discusión comunitarios.

Seguridad.

La “safety” es una virtud intrínseca del sistema, no obstante, debe continuarse en la línea de mejora continua de la seguridad en la operación ferroviaria, incluida la seguridad en la circulación, garantizando el control de todos los riesgos y, en particular, los derivados del factor humano y la gestión de las operaciones.



Otro ámbito de especial importancia es la investigación en materia de protección y gestión de las emergencias. Los mayores retos se plantean desde el punto de vista de la “security”. Además de la incorporación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC’s), debe producirse un importante incremento en la investigación que asegure el bienestar de las personas y la eficiencia en el transporte de las mercancías. El nuevo escenario mundial necesita de una mayor protección

frente a actos ilícitos, siendo preciso disponer de medios más eficaces para prevenir y disminuir los riesgos frente a las amenazas de piratería y terrorismo.

A 2020 el Sector, debería haber conseguido:

- Seguridad en el diseño, construcción y operación del sistema de transporte ferroviario frente a ataques intencionados o desastres naturales.
- Sistemas eficaces de seguridad y detección de actividades terroristas basados en visión /inteligencia artificial.
- Sistemas de detección automática de actividades sospechosas.
- Sistemas de seguridad integral para alta velocidad, tanto en las infraestructuras como en el transporte masivo de pasajeros y mercancías.
- Incorporar el impacto de los factores humanos en el diseño, construcción y gestión de sistemas.
- Implantar sistemas para la predicción de errores humanos desde una óptica integral.



Mercancías.

Los corredores de altas prestaciones, dando por supuesta la superación de un determinado umbral de tráfico, aseguran una mayor rentabilidad social y un impacto positivo sobre el territorio, con el ahorro de tiempo a los destinos servidos, pero introducen una evidente rigidez en el futuro de la red ferroviaria al utilizar parámetros que no siempre permiten cualquier tipo de tráfico mixto. Ello obliga a contar con la red convencional para mercancías, con riesgo de una posible infrautilización de las dos redes y aumento de costes en la administración de la infraestructura.

El reto y futuro de las mercancías estaría en:

- Maximizar la circulación de trenes de mercancías en las líneas modernas de altas prestaciones.
- Incrementar notablemente las velocidades de circulación de las mercancías (deseable como mínimo un 50% sobre las actualmente más reducidas).
- Incrementar en no menos del 70% las toneladas-kilómetro



servicios internacionales entre operadores ferroviarios y terminales (centros logísticos, puertos...)

- ➔ Potenciar la creación de nodos logísticos ferroviarios.
- ➔ Fomentar la logística basada en el ferrocarril (apartaderos, nuevas estaciones) apoyada desde las administraciones públicas.
- ➔ Potenciar el desarrollo Intermodal, tanto en terminales como en plataformas.
- ➔ Desarrollar un sistema de identificación normalizada para las mercancías.

Infraestructuras.

Los desarrollos en técnicas de diseño, trazado y construcción de la infraestructura ferroviaria, especialmente respecto de la plataforma y obras de fábrica y los avances e innovaciones en gestión de la obra civil, no son específicamente ferroviarios y corresponden en general al Sector de la Construcción. En este sentido, el Sector Ferroviario debería centrarse, con horizonte 2020, en lo relativo al comportamiento dinámico de la infraestructura sometida a grandes cargas y velocidades y a los aspectos financieros y de mejora del rendimiento en el mantenimiento:

- ➔ Profundización en el conocimiento de la degradación de las capas de asiento, del sistema de balasto y de la vía en placa.
- ➔ Avances en los métodos de cálculo y simulación.
- ➔ Perfeccionamiento de las técnicas de inspección y auscultación.
- ➔ Sistemas, tecnologías y metodologías para la reducción de los costes de mantenimiento, sin deterioro de las capacidades de la infraestructura.



Material rodante.

Su desarrollo debe acompañar las exigencias de los operadores ferroviarios que, en esencia, vienen determinadas a su vez por los requerimientos de los usuarios -viajeros y cargadores-, por la competencia de otros modos de transporte y por el imprescindible equilibrio de costes. Los vehículos deben ayudar a que el modo ferroviario sea más atractivo para los usuarios -ergonomía, versatilidad, entretenimiento a bordo, relación carga/tara,...- sin descuidar las potencialidades intrínsecas del

modo -seguridad, fiabilidad, sostenibilidad,...

A 2020 el Sector, debería haber conseguido:

- Técnicas innovadoras que permitirán una rápida implementación, y mejoren el servicio, la operatividad y la fiabilidad de los vehículos.
- Incorporación de tecnologías de diseño y fabricación rentables, flexibles y adaptadas al cliente -platforming, customización y modularidad.
- Vehículos cuyo diseño permita, al término de su ciclo de vida, su rehabilitación y adaptación a las necesidades competitivas del servicio y a las nuevas normativas, sin necesidad de realizar costosas inversiones.
- Utilización generalizada de materiales reciclados a partir de materiales de desguace y desgaste.
- Aligeramiento para la eficiencia energética, manteniendo la seguridad y durabilidad.
- Herramientas específicas para el control del mantenimiento de los vehículos por parte de los administradores de infraestructuras.
- Alianzas estratégicas entre el cliente y el mantenedor, que permitirán una participación directa del cliente en el servicio (MMR) y la materialización de contratos de mantenimiento a largo plazo.

Alta velocidad.

La alta velocidad, entendida como sistema de transporte -infraestructuras-vehículos y oferta de servicios- goza de una excelente aceptación social, que ha conseguido revolucionar el reparto modal. El reto será mantener e, incluso, incrementar su atractivo, respondiendo a las exigencias de los clientes y los políticos, con suficientes garantías de seguridad y de protección del medio ambiente y con los menores costes posibles.

A 2020 el Sector, debería haber conseguido:

- Una red de alta velocidad-altas prestaciones, que alcance los 10.000 km de vía doble en ancho UIC, equipada toda ella con sistema European Rail Traffic Management System (ERTMS/ETCS) Niveles 1 y 2.



3. Visión 2020

- Que el 90% de la población esté a menos de 50 km de una estación de alta velocidad y todas las capitales de provincia tengan acceso directo a la red de alta velocidad.
- Una alta velocidad muy competitiva en desplazamientos medios, para lo cual habrá de optimizarse el aprovechamiento de la capacidad de las infraestructuras y maximizar las velocidades de circulación con arreglo a sus criterios de diseño.
- Diferentes ofertas de servicios adicionales al de transporte de pasajeros en alta velocidad: bajo coste, mercancías de alto valor añadido, vehículos de transporte por carretera, etc.





4. Análisis y diagnóstico

A partir de la situación actual, que presenta una red ferroviaria con un **alto potencial de desarrollo**, pero con **importantes necesidades de inversión**, tanto en **infraestructura** como en mejora de la **gestión**, el análisis y diagnóstico se realiza particularizado para cada una de las áreas definidas:

4.1. Política, planificación, economía y energía y sostenibilidad

- La finalización de las nuevas líneas de ferrocarril de alta velocidad y su coexistencia con una red ferroviaria convencional permite **múltiples formas de explotación de la infraestructura en su conjunto**. Así, se están barajando **distintas opciones**, como por ejemplo realizar una **explotación mixta** (transporte de viajeros y de mercancías ligeras) de líneas de alta velocidad o **especializar corredores** (realizando el transporte de viajeros y de mercancías por líneas diferentes).
- Un aspecto muy relacionado con las distintas formas de explotación de la infraestructura lo constituye su mantenimiento. Por ello, se ha identificado la necesidad de **incorporar los criterios de mantenimiento en el diseño de la explotación de la infraestructura**.
- Cada vez más se hace imprescindible pasar del análisis individualizado al **análisis del ferrocarril comparado con los otros modos de transporte**. La modernización progresiva de las infraestructuras ferroviarias y del material rodante, junto con el desarrollo tecnológico que está viviendo el Sector, están aumentando la eficiencia del transporte por ferrocarril y modificando la forma en que compite (o colabora) con otros modos de transporte. Por otro lado, los compromisos internacionales de **reducción de emisiones** y la búsqueda de **modelos energéticos sostenibles** en nuestro entorno están dando cada vez más protagonismo a la eficiencia energética y a la reducción de las emisiones en el transporte. Inevitablemente, la forma en que el ferrocarril compite (o colabora) con otros modos de transporte se va a ver afectada al presentar el ferrocarril bastantes ventajas en este sentido.
- Debido a estos cambios que se están produciendo, se hace indispensable disponer de **herramientas de modelado y simulación** de mayor exactitud, fiabilidad y potencia que las actuales y específicamente desarrolladas o adaptadas al ferrocarril, que ayuden en la toma de decisiones de cara al diseño de políticas de transporte y del posicionamiento estratégico del ferrocarril.
- En los últimos años, con la aprobación de los “paquetes ferroviarios” se están dando pasos muy importantes hacia la creación de un espacio ferroviario europeo en el que coexistan varios operadores de servicios ferroviarios que compiten entre sí, tanto en transporte de mercancías como de viajeros. Por ello, la nueva regulación del transporte por ferrocarril es uno de los retos que tiene en estos momentos el Sector. Se hace pues necesario el modelado y posterior **estudio económico de la competencia entre operadores** para ayudar a perfilar las políticas de transporte de futuro.
- En un entorno que está cambiando tanto como el del ferrocarril, resulta cada vez más difícil diagnosticar con precisión el estado del Sector de transporte por ferrocarril. Con la creación de ADIF y la aparición de nuevos operadores ferroviarios, la información estadística está más fragmentada, no siempre está disponible y a menudo no es homogénea. Además, el nuevo

4. Análisis y diagnóstico

marco liberalizado va a obligar a caracterizar nuevos aspectos que hasta ahora no se estudiaban.

Por ello, y como factor determinante para la anteriormente mencionada modelización, es preciso efectuar una recopilación sistemática de la información relevante y su análisis y tratamiento continuado y con criterios científicos, al objeto de disponer de **estadísticas integradas, homogéneas y accesibles**, que permitan determinar las nuevas necesidades que irá teniendo el Sector, así como evaluar el impacto de las decisiones estratégicas que se adopten.

➔ En el marco de la construcción de nuevas infraestructuras ferroviarias que se vienen realizando en España y la ampliación (y renovación) del parque de material rodante, cobra especial relevancia la **búsqueda de nuevas fórmulas de financiación tanto en infraestructuras, como en equipamiento y material rodante**.

➔ Asimismo, con el desarrollo normativo en curso, la transposición de los “paquetes ferroviarios” y la Ley del Sector Ferroviario como escenario, cobra sentido estudiar la **posibilidad de traspasar competencias en materia de transporte ferroviario a las comunidades autónomas**.

➔ Aunque el desarrollo de técnicas para **reducir el impacto medioambiental** ha conocido un gran avance en los últimos años, sigue siendo aún un campo en el que queda mucho por explorar.

El concepto de medio ambiente ha sido tradicionalmente percibido como algo lejano, que no influía en el día a día y asociado a un aumento del coste que resultaba disuasorio. Pero hoy en día, sobre todo debido al cambio climático que se percibe como una realidad cercana, la sociedad está cada vez más concienciada de su importancia. Así, términos como ahorro energético y eficiencia

energética, que relacionan la **protección del medio ambiente con un ahorro económico y eficiente**, son cada vez más populares.

Además, los avances tecnológicos han permitido que las energías renovables, que resultaban caras y de bajo rendimiento, hayan avanzado enormemente en su desarrollo y rebajado sus costes, alcanzando o aproximándose a niveles asumibles. No obstante, queda todavía mucho por hacer para seguir introduciendo los conceptos medio ambientales en los diferentes sistemas dentro del Sector Ferroviario.



4.2. Interoperabilidad y ERTMS

El sistema de señalización estándar europeo debe permitir la eliminación de las fronteras de señalización entre las diferentes redes nacionales. Es de obligada instalación en las líneas de nueva construcción y recomendado para las ya existentes superponiéndose a la señalización convencional. El ERTMS nivel 2 está operativo en la línea Roma - Nápoles y también en la línea Madrid - Barcelona, donde su validación ha sido difícil y costosa, lo que demuestra su alto nivel de exigencia.

- Se han construido **líneas piloto y las primeras líneas comerciales**; se han creado y puesto a disposición de la industria y usuarios al menos **dos laboratorios de referencia en Europa**, y están en desarrollo los **primeros certificados de conformidad** para componentes, conjuntos, trenes y líneas (aplicaciones genéricas y específicas). Todo ello comenzó financiándose con los programas marco de investigación, también con los programas TEN y, a continuación, con fondos estructurales y de cohesión.
- La **capa de gestión de tráfico de ERTMS, vinculada a la sociedad de la información, es la que menor desarrollo ha tenido** y es en la que se espera se dediquen los mayores esfuerzos de inversión comunitarios, a través de los nuevos programas marco y entroncando con programas europeos específicos como el correspondiente a GALILEO.
- Puede observarse un **notable desequilibrio entre las distintas implantaciones nacionales** lo que indica que los países, aunque bajo un mismo marco, en algunos casos no han superado los problemas asociados al sistema o bien tienen necesidades no cubiertas con la especificación actual y/o restricciones de índole nacional (amortización de activos convencionales). Los países que mejor han sabido desarrollar la política común son, aparte de España, con una clara apuesta por la interoperabilidad y el sistema ERTMS/ETCS, Francia e Italia.
- En todo caso, **ya se reconoce por todos los países los beneficios** en seguridad, interoperabilidad y eficiencia financiera del ERTMS/ETCS; aunque la **implementación** a gran escala está siendo **lenta y difícil**.

En consecuencia, puede considerarse que:

- Desde un punto de vista práctico y teniendo en cuenta la política, los criterios y la perspectiva de ERTMS/ETCS fijados por la comisión europea hasta el año 2020, deberían abordarse, a nivel nacional, los **problemas encontrados durante el despliegue** no sólo como acciones locales sino **vinculándolas al ámbito comunitario**. Ha de tenerse en cuenta que no es posible solucionar los problemas técnicos de interoperabilidad encontrados en el despliegue hasta ahora realizado mediante un enfoque exclusivamente local. La incidencia de los problemas recae sobre las especificaciones y éstas no se generan o modifican a nivel nacional.
- Un análisis de cómo se han abordado hasta el momento estos problemas a nivel nacional pone de manifiesto que, el **margen de maniobra para la defensa de determinadas posturas es muy limitado** (por ejemplo la modificación de las SRS y propuesta de funciones nacionales) y que, por otro lado, **tampoco se dedican esfuerzos suficientes para la defensa de los intereses nacionales ante los foros europeos**.
- Lo mismo resulta aplicable a otras áreas técnicas y debe, además, **preverse la situación**

venidera en relación a la especificación de la capa de **gestión de tráfico y operación**, ya que España dispone, en alta velocidad, de un sistema muy avanzado. Aunque la especificación no pueda realizarse desde aquí es necesario que España pese adecuadamente y de forma coordinada en los foros de decisión, es decir, hay que defender la inversión realizada y/o garantizar una migración asumible.

➤ Por otro lado, en el ámbito nacional, vinculado con lo anterior pero con mayor margen de maniobra, se aprecia la necesidad de que tanto los usuarios como la industria puedan **acreditar adecuadamente los equipos y sistemas**. Esto debe concretarse en la oportuna dotación de infraestructuras de prueba más eficaces a todos los niveles:

- **Laboratorios** (mayor dotación y alcance).
- **Vías de prueba** (independizar pruebas de explotación).

➤ Asimismo, es absolutamente necesario **abordar sin reservas los problemas que una formulación ambigua en las especificaciones** acarrea sobre la conformidad de las obras y sus plazos de ejecución. El no ser responsable de la especificación (es responsabilidad comunitaria) no debe impedir que a nivel nacional se formulen técnicas y métodos matemáticos de simulación, etc. que eliminen la incertidumbre técnica sobre el sistema y faciliten las pruebas. Mas aún, tal aproximación posibilitaría una mejor defensa (podrá demostrarse su motivación) de los intereses nacionales ante los foros de discusión europeos.

➤ Además, tal y como se deduce de la experiencia práctica de las líneas puestas en servicio, debería abordarse sin reservas por la industria, las consultoras y los propios usuarios, la **innovación en los procesos de producción de las reglas de ingeniería**, mejorando tanto los procesos como las herramientas.

➤ Las **principales carencias**, o problemas encontrados, que condicionan el despliegue por tener incidencia en la Interoperabilidad del sistema ERTMS/ETCS, se listan a continuación:

- **Especificaciones** funcional y técnica del sistema **sin consolidar** por completo.
- **Ciertas ambigüedades** en las especificaciones que provocan diferentes interpretaciones de las mismas por parte de cada proveedor.
- **Fiabilidad** de balizas (y, en general, de componentes interoperables) y **falta de un criterio común** para determinar la disponibilidad de los equipos (lo que influye en su aceptación cruzada).
- Problemas técnicos en la **integración del sistema odométrico** del tren en ETCS.
- **Asignación de frecuencias para Eurloop** (lo que ha limitado su despliegue práctico). Este subsistema, sin embargo, se estima como necesario en muchos países.
- **Calidad de servicio GSM-R para aplicaciones de nivel 2**, lo que influye en la disponibilidad, y en consecuencia incide en las prestaciones de explotación.
- **Despliegue práctico de la red GSM-R** y posible incompatibilidad con la especificación de UMTS (lo que debe preverse).
- La **cualificación de las aplicaciones del material y la vía** para su aceptación funcional y de seguridad cruzadas.
- La **certificación efectiva** (acompañando siempre a la realización de las obras).

Por último, conviene no olvidar que, actualmente, los **fondos europeos de I+D+i dedicados al desarrollo de la especificación de ERTMS/ETCS** y solución de los problemas relacionados se considera que están comenzando a ser limitados, pasando a enfocarse preferentemente al desarrollo de las tecnologías de la información para el ferrocarril, es decir, **se derivan hacia la gestión de tráfico (no a la señalización)**, lo que debe ser tenido muy en cuenta en el ámbito nacional.



4.3. Material móvil

Como se ha indicado anteriormente, se incluyen bajo este epígrafe los aspectos referentes al diseño, construcción y mantenimiento del material rodante tractor y remolcado de todo tipo, incluso para ferrocarril “convencional” de viajeros y mercancías, alta velocidad, metros o tranvías, junto con los factores humanos y la ergonomía.

➤ El desarrollo de los nuevos trenes de alta velocidad ha conseguido revolucionar el reparto modal de los diferentes modos de transporte haciendo ganar un gran número de usuarios al tren en itinerarios donde su presencia era casi inapreciable. El mercado de la alta velocidad está en continua evolución, con gran cantidad de líneas de alta velocidad en construcción y una demanda sostenida de tecnologías y material. **Las compañías operadoras son cada vez más conocedoras del producto y más exigentes en sus especificaciones y requerimientos.**

➤ Parece evidente, por tanto, que **la industria debe hacer evolucionar los trenes de alta velocidad** para responder a las exigencias de los clientes con suficientes garantías de seguridad y de protección del medio ambiente. No obstante, al tratarse de una tecnología reciente y revolucionaria, muchos temas técnicos deben ser perfeccionados tanto para el mejor funcionamiento de los trenes como para minimizar el impacto del sistema -infraestructuras y material- sobre el medio que los acoge.

➤ A muy alta velocidad cobra importancia fundamental la resistencia al avance provocada por la fricción con el aire. Su evolución con el cubo de la velocidad hace que pequeños aumentos de velocidad exijan un gran aumento de la potencia a suministrar. Esta fricción tiene por consecuencia la emisión de ruido y, tal y como se ha comprobado, la proyección de balasto contra los bajos del tren. Una de las claves para mejorar la eficiencia energética, aumentar las prestaciones de los trenes y reducir las emisiones sonoras tanto en el exterior como en el interior de los vehículos, es el **perfeccionamiento de las condiciones aerodinámicas.**

➤ Se ha constatado que, en las pruebas realizadas en la nueva línea de alta velocidad Madrid-Barcelona los trenes, al sobrepasar los 300 km/h, provocan turbulencias que levantan el balasto proyectándolo contra los bajos del tren. La fuerza con que son proyectadas las piedras es tal que se producen graves desperfectos en los bajos del tren. Para paliar estos efectos **se orienta el diseño a la modificación de los flujos de aire** mediante la construcción de bajos homogéneos y/o carenados, así como la reducción del número de bogíes por rama.

➤ **La disminución de los niveles de ruido ambiental se ha convertido en uno de los grandes retos de la ingeniería de diseño**, tanto del ruido emitido desde los vehículos ferroviarios hacia el exterior, como del ruido que las fuentes acústicas de los vehículos ferroviarios transmiten al interior y soportan los pasajeros.

La investigación debe contemplar el ruido de origen aerodinámico y el ruido producido por el contacto rueda-raíl, que son los componentes predominantes en el impacto acústico generado por el ferrocarril y, en segundo término, los ruidos generados por otros componentes como los motores y los sistemas de aire acondicionado, que pueden ser predominantes en la condición de tren parado.

➤ En las líneas de alta velocidad en construcción (LGV-Est) se está exigiendo que el límite sonoro



provocado por el paso de los trenes de alta velocidad sea como mucho de 60 dB. Teniendo en cuenta que un tren de alta velocidad, por muy moderno y optimizada su aerodinámica que sea, llega con facilidad a los 100 dB al paso sin parada en estación, es preciso disponer elementos de la obra civil **-barreras acústicas-** que permitan su absorción parcial.

➤ Un aspecto que cada vez cobra más importancia es el **ruido producido por ferrocarriles subterráneos**, que se percibe en los edificios y viviendas cercanos a la traza de la línea como un ruido de baja frecuencia. El hecho de percibir el ruido sin poder observar el paso del tren hace que los residentes tengan una mayor sensación de impotencia, lo cual se manifiesta en frecuentes quejas a un problema cuya solución requiere generalmente una elevada inversión. El estudio de la **transmisión de las vibraciones a las edificaciones afectadas** debe contemplar tanto la transferencia de vibraciones a la estructura como la generación de ruido estructural.

➤ Países como Noruega, Suiza, Suecia o Gran Bretaña, en el marco del Grupo vehículos para alta velocidad, han desarrollado diferentes modelos con el fin de tener una herramienta de predicción del impacto vibratorio en sus infraestructuras ferroviarias. Sin embargo, **estos modelos de predicción no son extrapolables a otros países** y, a día de hoy, aún no existe ningún protocolo o procedimiento estandarizado para la evaluación de las vibraciones provocadas por el tráfico de vehículos ferroviarios que permita unificar criterios y **evitar esta dispersión de modelos**.

➤ La posición de España frente a los países de su entorno y de Europa frente a los países asiáticos en lo que respecta a la **energía y su captación para la tracción ferroviaria es, en general,**



ligeramente **inferior** en cuanto a **capacidad científico-tecnológica de innovación**, probablemente debido tanto a limitaciones de tipo tecnológico como de tipo económico. En consecuencia, para seguir trabajando en los temas que se consideran estratégicos sería conveniente que hubiese una cooperación entre la industria y los centros de investigación y tecnológicos, acompañada de la colaboración con empresas exteriores (muy importante la participación en Grupos de Trabajo, asambleas o foros internacionales) y potenciada mediante estímulos económicos/fiscales de la Administración.

➔ Los desarrollos en esta área de la **energía y captación de energía** se orientan, tanto a nivel nacional como europeo o mundial, a:

- **Almacenamiento a través de volantes de inercia.**
- **Sistema de alimentación por suelo (APS).**
- **Superconductores - Levitación magnética.**
- **Sistemas híbridos.**

➔ Y respecto a **energías alternativas** las principales iniciativas contemplan el uso de:

- **Biogás.**
- **Hidrógeno.**

➔ Como consecuencia de que los trenes de alta velocidad deben circular, en muchas ocasiones, por otras líneas con voltajes y tipo de corriente diferente, deben tener tantos **tipos de pantógrafos**

como tipos de líneas recorren -se dan casos singulares, como el del ICE 3 que circula entre París y Frankfurt y que tiene hasta seis pantógrafos-. Otro problema añadido son los enganchones -con devastadores efectos sobre las catenarias y los costes de mantenimiento- debidos a las diferentes velocidades de circulación, tipología de la línea y material de las superficies de contacto.

Por ello se está trabajando en el desarrollo de **pantógrafos para diferentes corrientes y voltajes y con regulación activa**, es decir, capaces de adaptar la fuerza ejercida contra la catenaria, en función de los diferentes parámetros físicos de cada circunstancia.

➔ La **actividad productiva en la industria ferroviaria** es un caso singular en un mundo empresarial que tiende mayoritariamente hacia la producción en masa. Por una parte el mercado no está completamente abierto a la competencia sino que los grandes compradores son empresas públicas, algunas de ellas de gran tamaño. Esto hace que las empresas tengan mucho poder a la hora de definir el producto final e incluso de intervenir directamente en la elección de los proveedores.

Por otra parte, la manera clásica de trabajar es por proyectos, donde cada pedido constituye de facto la elaboración de un producto altamente diferenciado de los anteriores, tanto desde el punto de vista técnico como estético. Esto conlleva, como no podía ser de otra forma, una gran cantidad de trabajo de diseño e ingeniería asociados. Otra consecuencia negativa es que una vez lanzada la producción se detectan gran cantidad de errores que deben ser corregidos afectando a la ingeniería y, lo que es más grave, a toda la cadena de suministro.

Además, como cada proyecto es un ente independiente no se suelen aprovechar sinergias con otros proyectos, o al menos cuesta crearlas, con lo que no se pueden generar volúmenes importantes que permitan generar economías de escala. Esta manera de trabajar se ha perpetuado a lo largo del tiempo en parte por las imperfecciones del mercado, en parte por la poca cantidad de empresas fabricantes de material rodante. Por lógica, **es necesario introducir nuevos métodos de concepción y fabricación del producto** que permitan mejorar la situación antes descrita. **Una opción es la creación de productos basados en plataformas o platforming.**

➔ A pesar de las ventajas de eficiencia ligadas a la producción en masa, los fabricantes han hecho crecer sus líneas de producto y las diferencias entre sus productos con el objetivo de estimular las ventas y generar una mayor cifra de negocio, pero con la consecuencia de pérdida de rentabilidad y/o aumento del precio. Ante tal situación, las compañías deben **optimizar su variabilidad externa disminuyendo la complejidad interna generada por la diferenciación de producto**. El diseño a partir de familias de producto -**customización y modularidad**- puede ser otra manera eficiente de mantener las ventajas de la diversificación y equilibrar los costes. Mediante la utilización de elementos modulares se reducen los riesgos de desarrollo y de la complejidad en el sistema, se facilita la adaptación de los productos a los deseos del cliente y su actualización, se garantiza la flexibilidad y capacidad de respuesta de los procesos de fabricación y la fiabilidad de los elementos, probados en su uso comercial.

➔ El sistema de frenado -esencial para la seguridad activa- se basa actualmente en la utilización de frenos neumáticos, con los inconvenientes que conlleva la gestión de fluidos: compresores, secadores, tuberías bajo bastidor y sistemas de control neumáticos complejos. Sería deseable la generalización del uso de **sistemas de frenado de accionamiento y de control eléctricos**,

como los frenos magnéticos -de corrientes de Foucault- que actualmente sólo se utilizan para frenados de emergencia a altas velocidades. Otra posible línea de desarrollo son los frenos aerodinámicos, en la línea de los desarrollados en el tren bala japonés, supeditados a la resolución de los aspectos relacionados con el ruido generado y los posibles problemas de gálibo.

➤ La amplia variedad de **materiales utilizados en los vehículos ferroviarios**, además de satisfacer su función principal, **deben cumplir unas exigencias muy estrictas de seguridad, mantenibilidad y respeto al medio ambiente**. Debe ser posible garantizar que responderán correctamente en caso de emergencia, lo que cobra especial importancia en las cercanías y metropolitanos, por las condiciones de masificación y confinamiento en que, con frecuencia, se produce el transporte. Igualmente, un correcto análisis del ciclo de vida debe conducir a materiales no agresivos con el medio ambiente, de alta resistencia y durabilidad y con costes de mantenimiento reducidos.

➤ La necesidad de establecer una **normativa de fuego y humo en los vehículos ferroviarios** viene motivada por un parámetro esencial: maximizar el tiempo disponible para la evacuación de los viajeros en condiciones de seguridad. Esta normalización no se hizo en su día de manera homogénea sino que cada país desarrolló una norma diferente, con la consiguiente dificultad a la hora de concebir productos aptos para operar en estados diferentes de la Unión Europea. La UIC ha desarrollado algunas guías orientativas para vehículos que atraviesan las fronteras pero no ha sabido crear una verdadera unidad.

La nueva norma europea de fuego y humo (EN 45545) que sustituye a las normas actuales, incluye un cambio muy importante en la filosofía de los análisis de fuego y humo que se venían haciendo hasta ahora en España, entre otros países, en los que se consideraban los diferentes materiales de manera independiente (espuma del cojín, por ejemplo) y se analizaban, obteniéndose una clasificación fuego y humo para cada uno de ellos. Ahora deberán considerarse los materiales en su conjunto (por ejemplo, apoyabrazos, con carcasa, tejido y espuma) para someterse a los tests de fuego y humo. Se espera que así los resultados sean mucho más fieles a la realidad, pero ello implicará que **algunos de los materiales utilizados dejarán de ser aptos o deberán ser modificados**.

➤ Consecuentemente será necesario **profundizar en el estudio de los materiales, su reacción al incendio y resistencia al fuego**, para evitar el incumplimiento de la Norma y para mejorar la seguridad, al **potenciar la implantación de materiales con propiedades de retraso al fuego**.

➤ Hasta el momento, los datos sobre fuego y humo en materiales se han obtenido través de ensayos realizados sobre prototipos del material. Dicha técnica, aunque es muy fiable, consume muchos recursos, tanto económicos como en tiempo invertido. La simulación numérica de efectos como la temperatura de los humos desprendidos o la propagación de la llama es de gran complejidad y se encuentra aún en fase embrionaria. Por esta razón, hay que poner a trabajar en equipo tanto a fabricantes de piezas de interiorismo, fabricantes de material rodante y operadores para **desarrollar herramientas matemáticas de simulación numérica**, para la predicción del comportamiento al fuego.

➤ El gran número de proveedores existente en el mercado dificulta la rápida verificación del cumplimiento de las normativas de fuego y humo. Es necesario crear una **base de datos de materiales según su clasificación fuego y humo** que permita verificar si un material dado, o su



asociación con otros, son o no respetuosos con la normativa de fuego y humo.

➔ Una de las ventajas competitivas del ferrocarril es que **es uno de los sistemas más eficientes de transporte desde el punto de vista del consumo energético** y, por tanto, su gran contribución a disminuir las emisiones de CO₂. Pero, con la aparición de energías más limpias como el hidrógeno esta ventaja puede disminuir, y hay que **seguir invirtiendo en la mejora de la gestión energética, en la reducción de peso y en sistemas de tracción más eficientes** que permitan un constante ahorro energético sin perjuicio de las prestaciones ofrecidas.

➔ El conseguir **una reducción del peso de los trenes es un factor clave de éxito**. Con una sustancial reducción de la masa se conseguiría un gran ahorro energético que pondría aún más de manifiesto las bondades del transporte ferroviario respecto a otros modos más contaminantes. Una línea de trabajo es la incorporación de materiales composites a los elementos es-

tructurales. Paralelamente se deberán establecer nuevos sistemas de testeo para garantizar el correcto comportamiento de materiales que son determinantes para la seguridad del tren.

➔ Una de las maneras de **mejorar la eficiencia del ferrocarril es aumentar la electrónica embarcada -tcms-**. Pero esto tiene un riesgo. Se debe garantizar que dicha electrónica no dará fallos cualesquiera que sean las circunstancias. Para ello se debe estar en condiciones de tener un alto valor en la escala SIL. En la aviación, donde el correcto funcionamiento de la electrónica es crítico se exige un nivel de SIL 4 (el máximo). En trenes de alta velocidad sería juicioso exigir un nivel similar. Por otra parte se debería promover la redundancia real de los circuitos, que actualmente consiste en duplicar un elemento sin más.

➔ No existe ninguna normativa operativa para **seguridad pasiva en interiores ferroviarios** -la única referencia existente es la AV/ST9001 del Reino Unido-, entendiéndose por tal toda aquella

4. Análisis y diagnóstico

tecnología, metodología o procedimiento diseñados para reducir la magnitud de los daños que sufren los ocupantes de un vehículo ferroviario como consecuencia de una colisión.

➔ Es necesario disponer de **información** para valorar qué implicaciones económicas y sociales tiene la seguridad de los ocupantes, a todos los niveles, desde las Autoridades de Transporte hasta los usuarios, pasando por los operadores, constructores, suministradores, consultores,... La sensibilización de las autoridades pasa por identificar la matriz de responsabilidades y el impacto asociado. El objetivo final es **diseñar vehículos lo más seguros posible dentro del marco normativo adecuado**.

➔ La **dinámica ferroviaria constituye un componente significativo e indispensable** de la ingeniería de vehículos ferroviarios. Con la ayuda de **simulaciones dinámicas por ordenador** pueden pronosticarse las características de marcha, reduciendo el alcance de los ensayos y acortando el periodo de diseño del vehículo. Pueden, igualmente, explorarse los nuevos límites que ofrecen las actuales posibilidades técnicas y solucionar los nuevos retos que estas mayores capacidades conllevan -ovalización de ruedas, desgaste ondulatorio de los carriles, fatiga del contacto rodante, etc. e investigar el comportamiento dinámico completo de un vehículo o composición ferroviaria para predecir las cargas actuantes, la interacción de los componentes del vehículo durante la marcha, el comportamiento a choque, o el análisis aerodinámico.

➔ La existencia de un servicio de ferrocarril que se vea por el público como una alternativa capaz de competir seriamente con el vehículo privado y/o con el avión pasa por la mejora de la calidad del transporte ferroviario. Un **componente crucial de esta calidad lo constituyen los aspectos relacionados con el confort y la accesibilidad**, capaces de incrementar el bienestar social (mejora la calidad de vida de las personas) y la capacidad de producción (mejora en la movilidad laboral, facilitación de las relaciones comerciales y abaratamiento de los costes de desplazamientos en las empresas).

➔ Es preciso **avanzar en la comprensión de la percepción de confort** y comunicar esta percepción a clientes y diseñadores para **convertirlos en necesidades de diseño y soluciones**. El problema planteado es complejo y todavía se encuentra abierto, no siendo posible encontrar una solución única. Esto abre un amplio campo de posibilidades para mejorar las condiciones del entorno de los usuarios a través de mejoras en los procesos de desarrollo de productos.

➔ Una **mejora en las condiciones de accesibilidad** poseerá un impacto considerable sobre la calidad de vida y entorno de las personas mayores y con discapacidad. Disponer de metodologías y herramientas tecnológicas para validar desarrollos o evaluar interfaces es una pieza clave e instrumental para poder estandarizar productos y procesos en primer lugar, y para comercialarlos con garantía de usabilidad en segundo lugar.

➔ La ERRAC en su Anexo Técnico a la Agenda Estratégica plantea como documento de referencia Global Rail Safety and Security, donde específicamente se hace referencia a Human Safety and Security Factors: "La combinación del entendimiento del factor humano en los sistemas tecnológicos y el conocimiento acerca del sistema ferroviario es con frecuencia precario". Se destaca la necesidad de investigación sobre el impacto del comportamiento humano, integrando los factores humanos para conocer el impacto del error humano en el sistema ferroviario y planteándose como retos y objetivos "**Reducir el error humano o al menos el impacto de los errores humanos**

en el sistema del ferrocarril”.

➤ Los nuevos interfaces de ayuda a la conducción o de supervisión de parámetros como la velocidad o la frenada que supuestamente son una barrera para el error humano pueden suponer una interferencia en las tareas de primer orden en la conducción, pueden ser susceptibles de inducir distracción y carga cognitiva, por citar algunos efectos perversos de estos desarrollos. **Ha de garantizarse que las interface sistema-humano comercializadas son seguras.**

➤ Dado el impacto social de las catástrofes ferroviarias y el incremento del riesgo debido a la gran cantidad de kilómetros de túneles de nueva construcción, anticiparse a estos sucesos, investigando **sistemas más eficientes de emergencias y evacuación** y de manejo de los pasajeros en estas situaciones, es rentable no sólo económicamente sino políticamente para no elevar el nivel social de alerta o pánico ante escenarios cerrados.



4.4. Vía, superestructura e instalaciones

Los principales desarrollos recientes se producen en la **auscultación geométrica**, donde las señales registradas se descomponen analíticamente para diferenciar el origen del defecto (por ejemplo en carril, vía o en catenaria) y por el efecto o la influencia asociada al defecto (seguridad, confort). Por otro lado, las administraciones recurren a la auscultación dinámica donde se registra directamente la influencia de los defectos de la vía y de la catenaria.

Cabe destacar que la mayoría de las administraciones ferroviarias disponen de vehículos auscultadores para el subsistema rueda-carril y catenaria.

En mantenimiento hay que tener en cuenta el hecho de que el Sector Ferroviario español ha propiciado la existencia de **proveedores en régimen de monopolio**, a lo que se suma que, por inercia de circunstancias históricas, **la tecnología es en su gran mayoría foránea**.

Para poder impulsar la investigación, y con ello la innovación, es precisa una **transformación del Sector**, logrando la **implicación** de la parte demandante frente a la ofertante. Es preciso un **impulso** materializado en la puesta a disposición y apertura a las posibilidades del mercado, la concreción de facilidades para **tramos de prueba**, para la homologación de nuevos productos y para su uso; tras conseguir diseñar un producto y homologarlo. Igualmente es perentorio abrir y compatibilizar los sistemas de manera que se pueda optar por comprar un elemento (señalización, comunicaciones,...) sin ser rehenes de su uso y mantenimiento.

Asimismo, durante los últimos años se han desarrollado los ya tradicionales intercambiadores con distintas tecnologías, con el fin de permitir el paso de un mismo tren por vías de distinto ancho. No obstante, queda pendiente la concepción de un sistema que permita el paso de cualquier tipo de vehículo (locomotoras, unidades, coches o vagones).



4.5. Explotación, operación y seguridad del sistema ferroviario

El nivel de **desarrollo tecnológico es notable**, si bien existe una gran coincidencia en la necesaria **particularización de casi todos los sistemas y aplicaciones a las diferentes exigencias de las empresas de transporte ferroviario**. En muchas ocasiones, la razón de la singularización de estas soluciones reside en la ausencia de normativa, en otros casos la propia idiosincrasia de los convenios colectivos de las empresas operadoras /administradoras de la red, sus políticas de mantenimiento, su pertenencia a consorcios de transporte, la exigencia de una coordinación tarifaria con otros modos, hacen que sea prácticamente imposible desarrollar una única solución que permita optimizar el esfuerzo de las empresas suministradoras del Sector.

En la mayor parte de las áreas de interés los desarrollos efectuados por las empresas de cada Sector de aplicación son presentados al resto del mercado como una **solución particular desarrollada con “la participación del cliente”** y con un grado de aprovechamiento muy dispar.

➤ Existen **áreas muy personalizadas** como:

- Planificación y demanda.
- Programación de la operación.
- Planificación de recursos.
- Automatización de la operación.
- Medidas de calidad.

➤ En las áreas de **vigilancia, información y venta** se produce una mayor aplicación de **soluciones generales**, si bien se ha detectado una fuerte carencia en los desarrollos de equipamiento embarcado y su relación con las redes corporativas de gestión.

➤ Se detecta un **cierto retraso en los desarrollos tecnológicos relacionados con la “eficiencia energética”** que permitan el almacenamiento de la energía regenerada.

➤ Respecto de la seguridad del sistema, además de lo indicado en ERTMS y en material rodante, cabe destacar las oportunidades que aparecen como consecuencia de los **avances en tecnologías de la información y las comunicaciones**, aunque en general se trataría más de adaptaciones que de desarrollos específicamente ferroviarios.

4.6. Infraestructura y plataforma

En cuanto a **Infraestructura y plataforma**, las nuevas exigencias del sistema hacen que al margen de líneas con requerimientos muy especiales (grandes cargas por eje para líneas mineras, líneas con un tráfico muy elevado y sin tiempo de mantenimiento), el desarrollo de las líneas de alta velocidad y el incremento de las velocidades de circulación han dado lugar a líneas de investigación en plataforma y en el comportamiento dinámico de la infraestructura. Las velocidades críticas de circulación en suelos muy blandos han sido determinadas, pero actualmente, y para velocidades superiores a 300 km/h, es necesario estudiar los **fenómenos de degradación acelerada de capas de asiento de la infraestructura** (en especial balasto), la conveniencia de adaptar la rigidez de la

vía a estos nuevos requerimientos y a investigaciones sobre fenómenos como el vuelo de balasto al paso de circulaciones de alta velocidad. Por otro lado, **el incremento de las velocidades de circulación y de los tráficos requiere mantenimientos de la vía cada vez más exigentes. El perfeccionamiento de las técnicas de inspección de vía** (defectos de alineación y nivelación, recientes progresos en la medición continua de la rigidez de la vía, progreso constante de técnicas como el geo-radar), permiten no sólo garantizar la seguridad y confort de marcha, sino, en paralelo, la programación más racional de las tareas de mantenimiento y la búsqueda de equilibrio entre la aplicación de medidas preventivas o correctivas “tempranas” y la aplicación, a partir de situaciones consideradas límite, de medidas estrictamente correctivas.

Respecto del análisis de comportamiento de plataformas ferroviarias cabe destacar:

- El desarrollo, iniciado en la década de los 70, de **modelos numéricos** para el análisis del comportamiento mecánico de plataformas ferroviarias así como de modelos para evaluar la degradación de la plataforma, a través del análisis de las cargas ferroviarias y de leyes de fatiga y daño. Existe, también con trabajos iniciados hace tres décadas, una línea de estudio basada en el análisis estadístico tanto de los tráficos soportados como de datos de mantenimiento de líneas. Actualmente se complementan estos estudios con herramientas más modernas (procesos de ruina o funciones gamma, sistemas expertos, procesos de lógica difusa, redes neuronales, etc.).
- Las necesidades estarían orientadas hacia un **mejor dimensionado de las capas de asiento** en líneas de nueva construcción o en la renovación de líneas existentes sometidas a nuevas exigencias de tráfico, así como en la mejora del comportamiento en servicio de estas líneas y la optimización del coste del ciclo completo de vida útil (LCC). Como caso puntual deben reseñarse los estudios destinados a la mejora o sustitución de algunas capas de asiento (mejora de plataforma mediante suelos estabilizados, tipologías con subbalasto bituminoso).
- En especial, y más recientemente, las inquietudes de los investigadores se orientan al **análisis y condiciones de diseño de plataformas para líneas con requerimientos especiales de tráfico** (ejes pesados de más de 22 t, tráfico mixto) y hacia el estudio de los fenómenos dinámicos, la

interacción vía-vehículo y los fenómenos asociados a la variación de rigidez vertical de la vía, ya sea en tramos homogéneos o sea en puntos singulares (aparatos, estribos de puentes, presencia de estructuras u obras de fábrica en el seno de los terraplenes, transiciones balasto - placa, etc.).

- Los estudios del comportamiento de la infraestructura ferroviaria tienen una línea muy marcada en los esfuerzos por un mejor **conocimiento del comportamiento de balasto y materiales geotécnicos de las capas**



de asiento y de terraplén (modelización del comportamiento de diferentes materiales, en especial frente a cargas dinámicas cíclicas y con variación de la dirección de tensiones principales).

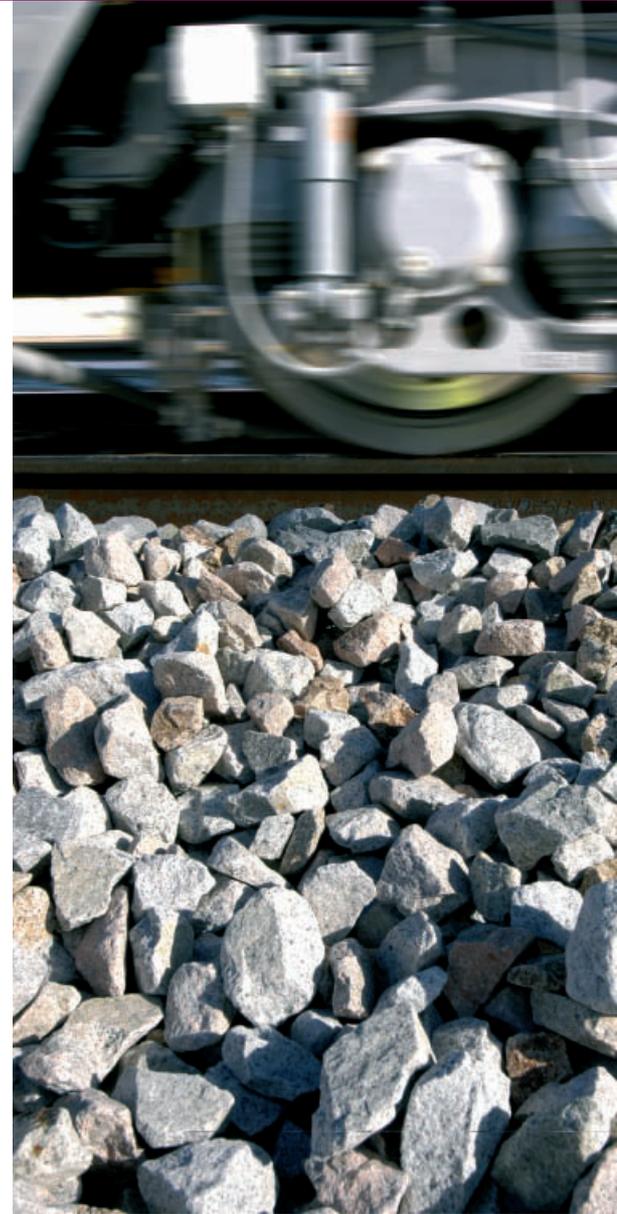
En cuanto a aspectos puntuales sobre **estructuras**, como fenómenos de resonancia de viaductos y de socavación de apoyos de puentes en cauces cabría destacar que:

➔ **La resonancia puede provocar el colapso de una estructura**, colapso que se producirá, por definición, al paso del convoy, con graves consecuencias. Aunque, hasta ahora este no ha sido un fenómeno especialmente preocupante porque para velocidades por debajo de 200 - 220 km/h no aparece resonancia, esta situación ha cambiado con la llegada de la alta velocidad ferroviaria, siendo además una preocupación casi exclusivamente del ferrocarril (los puentes de carretera no tienen, en principio, este problema), por lo que no cabe esperar innovaciones provenientes de otros ámbitos.

Las diferentes normas de cálculo de puentes contienen métodos simplificados para los cálculos dinámicos que no consideran la resonancia. Aunque útiles para líneas convencionales, estos métodos no son de aplicación para la alta velocidad.

climático hace presagiar avenidas cada vez más violentas (los últimos colapsos de estructuras que han tenido lugar en España no han sido debidos a fallo estructural, sino a la socavación), por lo que se hace necesario contar con métodos suficientemente contrastados y suficientemente conocidos por los diseñadores.

➔ Aunque existen diversos métodos para la estimación del riesgo de socavación en pilas y estribos de puentes, ninguno está suficientemente contrastado ni existe consenso claro en cuanto a cual utilizar. Los métodos de cálculo de socavación, basados casi siempre en resultados experimentales que deben extrapolarse de unos ríos a otros de características distintas (con evidentes problemas), no son además suficientemente conocidos por los ingenieros.



4.7. Carencias formativas

La PTFE ha desarrollado un estudio específico a través del grupo general de Percepción social, difusión y formación, con el título, “**Una reflexión sobre el modelo de formación sectorial. Necesidades y expectativas**”, que se complementa con la Investigación “**Curriculum Ferroviario Europeo**” de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles y el Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes, de la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla, a disposición en la web de la PTFE.

Las carencias formativas que se detectan en el Sector Ferroviario son, fundamentalmente, **la falta de personal técnico altamente cualificado** y de formación **específica ferroviaria** en las universidades. Se aprecia, asimismo, una **necesidad de formación continua** de los profesionales.

En especial, respecto de alguno de los subsistemas, dichas carencias se concretan en:

➔ En **Vía, superestructura e instalaciones.**

➔ Con carácter general:

- Formación práctica a nivel de titulado superior.
- Formación más amplia en sus contenidos para los titulados de grado medio.
- Cursos monográficos sobre tecnologías específicas.
- Master sobre infraestructura ferroviaria.
- Posible titulación específica de ingeniero ferroviario.

➔ De forma más específica:

- Formación sobre vía hormigonada.
- Formación sobre prefabricados de hormigón.

➔ En **Explotación, operación y seguridad del sistema ferroviario.**

➔ Necesidad de formación técnica especializada del **personal interno que facilite la colaboración en el desarrollo de sistemas innovadores.**

➔ Necesidad de formación específica ferroviaria del personal de las empresas suministradoras de equipos y sistemas que facilite la colaboración en el desarrollo de sistemas innovadores.

➔ Creación de un **modelo de detección de la necesidad de formación operativa/técnica** (cruzando incidencias y fallos de escenarios con otros datos), que recicle el programa formativo soportado en una plataforma de gestión de formación y aprendizaje dinámico en función del “gap” articulada y moderada por la universidad y nutrida por empresas, explotaciones, institutos tecnológicos y otras fuentes oportunas.

➔ En **Infraestructura y plataforma.**

➔ Formación complementaria de **postgrado** para formación de **especialistas** con un perfil de conocimiento, más nítidamente ferroviario.

➔ Formación complementaria de **ciclo continuo** con carácter muy especializado para adaptar el perfil de conocimiento de los profesionales a las innovaciones que van apareciendo en los diferentes campos de la tecnología de infraestructura y vía ferroviarias.

➤ En **Material móvil**.

➤ Se constata que la educación recibida por los ingenieros en España va principalmente focalizada hacia la industria del automóvil más que hacia la ferroviaria.





5. Resumen del DAFO

Este resumen contiene los epígrafes principales del análisis DAFO que se incluye desarrollado en el Anexo I.

DEBILIDADES

- Resistencia al cambio.
- Dependencia tecnológica del exterior.
- Tipología de la estructura industrial inadecuada para la I+D+i.
- Deficiencias y falta de armonización en el ámbito legislativo y normativo.
- Falta de planificación estratégica en I+D.
- Infraestructuras para ensayos insuficientes.
- Falta de cultura colaborativa entre los agentes implicados.
- Falta de visión global para la gestión, explotación y planificación.

AMENAZAS

- Competencia con empresas extranjeras.
- Competencia con otros modos de transporte.
- Competencia con centros de investigación extranjeros.
- Normativa no consolidada y previsibles mayores exigencias en Europa.
- Fragmentación del mercado como consecuencia de la liberalización del Sector.
- Especificidad del sistema ferroviario español.
- Divergencias y dificultades de armonización en el marco europeo.
- Mayores exigencias en medio ambiente, seguridad y calidad.
- Disminución de fondos públicos disponibles y aumento de costes de financiación.

FORTALEZAS

- Elevado nivel de desarrollo y consolidación del Sector Ferroviario.
- Impulso inversor en el Sector Ferroviario.
- Nivel tecnológico de las empresas y de los profesionales e investigadores.
- Impulso derivado de las políticas europeas. Liberalización.
- Centros de investigación flexibles y adaptados a la competencia.
- Percepción social positiva.

OPORTUNIDADES

- Impulso desde las administraciones al desarrollo de actividades de I+D+i.
- Aplicabilidad de nuevas tecnologías desarrolladas en otros Sectores.
- Globalización del mercado.
- Mejora en la totalidad del sistema.
- Competencia y colaboración con otros modos de transporte.
- Sensibilización social positiva y cambios sociales.



6. Líneas de investigación

Para abordar con éxito los retos descritos, los Grupos de Trabajo han establecido una serie de prioridades en las líneas de investigación, implementadas con un catálogo de proyectos que, de realizarse, supondrán los pilares en los que se ancle el nuevo ferrocarril del futuro.

6.1. Política, planificación, economía y energía y sostenibilidad

➤ Formas de explotación de la infraestructura.

➤ **Estudio de las fortalezas y debilidades de las líneas de alta velocidad de tráfico mixto.** Diseño de formas de explotación de la red que integren líneas de alta velocidad y convencionales. Nuevos usos de la infraestructura (p.e. "autopistas ferroviarias": transporte de camiones por ferrocarril). Esta línea debería permitir a corto plazo identificar los costes y los beneficios de estas alternativas, a medio plazo particularizar el estudio de su viabilidad a varias líneas concretas y a largo plazo dar criterios a los entes públicos involucrados.

➤ **Optimización de la gestión y operación de la infraestructura en la que conviven redes convencionales y de alta velocidad.** Incorporación de criterios de mantenimiento a la explotación. A medio plazo, esta línea de investigación debería permitir la obtención de criterios de ayuda en la toma de decisiones estratégicas y políticas.

➤ **Estudio económico del mantenimiento de vías y elementos relacionados.** Diseño de políticas de mantenimiento. A corto plazo esta línea debería permitir desarrollar modelos para analizar la situación actual en España y compararla con otros países. A largo plazo debería permitir mejorar la fiabilidad, seguridad, mantenibilidad y disponibilidad de los elementos más importantes que conforman el sistema de transporte ferroviario, y por ello incrementar la eficiencia económica de las empresas.

➤ **Tarifificación por el uso de la infraestructura ferroviaria.** Ayuda a la toma de decisiones.

➤ Análisis del ferrocarril respecto a otros modos de transporte.

➤ **Estudios de la competencia (y colaboración) transporte ferroviario de personas y de mercancías con otros modos de transporte.** Configuración de cadenas logísticas. A corto plazo, esta línea de investigación debería permitir analizar el problema, desarrollar modelos adecuados para estudiar la competencia intermodal y para optimizar la explotación ferroviaria. A medio plazo, aplicación de estos modelos a los principales corredores de España.

➤ **Análisis intermodal de consumos energéticos y de emisiones en el transporte.** A corto plazo, desarrollo de modelos que permitan evaluar el consumo energético de los modos de transporte principales (y de sus emisiones asociadas), y su aplicación al análisis de inversiones y de políticas energéticas en el transporte. A medio plazo, aplicación de estos modelos para analizar decisiones estratégicas en el Sector transporte.

➤ Análisis de la competencia entre operadores ferroviarios.

➤ **Competencia entre operadores en el transporte de viajeros en España.** Análisis de experiencias previas en el Sector de transportes. Esta línea de investigación podría ayudar a superar las reticencias que existen a nivel europeo de cara a la liberalización del transporte de

viajeros. A corto plazo, prospectiva de los efectos de la liberalización. A medio plazo, estudio de coordinación con otros modos de transporte. A largo plazo, realización de propuestas de desarrollo legislativo.

➤ **Competitividad del transporte de mercancías.** Análisis de experiencias previas en el Sector de transportes. A corto plazo, esta línea debería permitir analizar la situación e identificar los factores de competitividad. A medio plazo, se debería estar en posición de realizar propuestas para mejorar la competitividad. A largo plazo, esta línea debería permitir el asesoramiento a entes públicos (para mejorar la regulación actual) y con operadores (para mejorar la posición competitiva). El elemento fundamental es la cadena logística y el papel que el ferrocarril tiene o puede alcanzar en ellas.

➤ **Herramientas de planificación** para la ayuda a la toma de decisiones. Evaluación de políticas.

➤ **Necesidades de movilidad que afectan al ciudadano actual y futuro respecto del transporte ferroviario y en comparación con otros modos de transporte.** El análisis comienza definiendo las características socioeconómicas del ciudadano actual y las necesidades de movilidad. Tras esta aproximación se analizan los posibles cambios de las variables socioeconómicas y tecnológicas y las posibles necesidades de movilidad para escenarios a largo plazo.

➤ **Análisis del proceso liberalizador del Sector Ferroviario.** Análisis de los agentes que lo componen (funciones y objetivos). Escenarios para la incorporación de nuevos operadores ferroviarios, efectos económicos. Aportaciones al marco regulatorio actual. Análisis con otros modos de transporte a nivel nacional e internacional (especialmente europeo).

➤ **Tarificación por el uso actual de la infraestructura ferroviaria.** Ayuda a la toma de decisiones. Implicaciones para el desarrollo de la competencia, efectos económicos sobre la actividad de explotación ferroviaria. Análisis de los costes externos y las metodologías de interiorización de los mismos por parte de las empresas de transporte para su aplicación al ferrocarril y a la comparativa intermodal.

➤ **Homogeneización de variables críticas relevantes para la planificación.** Desarrollo de metodologías de valoración. El desarrollo de esta línea de investigación permitiría disponer de una metodología común a todos los agentes involucrados (administraciones y entes públicos, operadores, etc.) que ayude a integrar la información que tenga orígenes diferentes.

➤ **Información y necesidades estadísticas.** Identificación de la información útil en el marco competitivo. Tratamiento. Desarrollo a nivel europeo y nacional. El desarrollo de esta línea de investigación permitiría disponer de un mejor conocimiento de la realidad del Sector Ferroviario, accesible y transparente en su caso, que redundaría en un mejor apoyo a la toma de decisiones. Asimismo, permitiría optimizar y racionalizar los esfuerzos en la recogida y procesamiento de estadísticas.

➤ **Aportaciones del ferrocarril a la reducción de emisiones contaminantes.** El papel del ferrocarril como modo menos contaminante debe ser cuantificado y es importante conocer estos datos en una metodología comparativa con otros modos de transporte para conocer el alcance de posibles políticas Sectoriales. Estas investigaciones permitirán, además, una mayor eficiencia en la transposición de las Directivas que afectan al cambio climático.



- **Definición de indicadores de servicio para pasajeros y para mercancías en un contexto multi-operador.** Esta línea de investigación debería permitir la definición de parámetros para cuantificar los distintos aspectos que componen la excelencia de un servicio. Estimación de los costes asociados a la operación en condiciones de seguridad.
- **Financiación y desarrollo competencial.**
 - **Desarrollo de nuevos modelos de financiación de infraestructuras, equipamiento y material rodante: enfoque económico y jurídico.** A corto y medio plazo, estudio de la situación actual y propuesta de fórmulas innovadoras de financiación. A largo plazo, aplicación de las fórmulas desarrolladas colaborando con empresas y entes públicos.
 - **Reforma de las obligaciones de servicio público (OSP) en el ferrocarril. Traspaso de competencias a las Comunidades Autónomas.** A corto plazo, estudio de, por una parte, los métodos para la prestación de OSP y, por otra, las posibilidades actuales de regionalización. A medio plazo, estudio de los costes y los beneficios asociados a la regionalización. A largo plazo, aplicación del conocimiento adquirido en el diseño de políticas.
- **Técnicas para la sostenibilidad energética y medioambiental.**
 - **Impacto energético del entorno ferroviario.** Fundamental para que el Sector Ferroviario adopte el compromiso de las reducciones de CO₂ al ambiente, reduciendo los gastos energéticos que generan.
 - **Restauración ecológica de espacios afectados por la construcción de líneas de ferrocarril.** A medio y largo plazo, definición de nuevos procesos y tecnologías para dar soluciones adecuadas a la restauración ecológica de estos enclaves, suprimiendo la incertidumbre de resultados satisfactorios y pudiendo así optimizar los costes.
 - **Reducción de ruidos.** A medio plazo, puesta a punto de materiales absorbentes de vibraciones

y su aplicación para mejorar las infraestructuras.

➤ **La implantación de los diferentes tipos de energías renovables** existentes en la actualidad en las infraestructuras ferroviarias. Existe un gran potencial dentro de las infraestructuras todavía por explotar, como son los parking, los edificios, las zonas de mantenimiento, etc.

➤ Los ciclos de vida de los **materiales** utilizados en la construcción, tanto de material móvil como de las infraestructuras fijas, deben de tenerse en cuenta para su **posterior reciclaje**. Todo ese material debe de estar pensado para que cuando termine su tiempo de uso, pueda ser reutilizado mediante un posterior tratamiento.

Asimismo, se han identificado dos líneas de investigación transversales relacionadas con las anteriores:

➤ Búsqueda de **sostenibilidad del modelo de ferrocarril**, y por ello de la eficiencia en el uso de recursos (especialmente de la energía).

➤ Importancia de la **tarificación** de cara a materializar cualquier política de transporte.

6.2. Interoperabilidad y ERTMS

➤ Métodos formales aplicados a la interoperabilidad y al ERTMS/ETCS, para **solución de discrepancias entre versiones** y potenciar la **compatibilidad entre componentes**. Nuevos procesos y herramientas de análisis.

➤ **Armonización de los criterios de acelerado y frenado del material rodante**, de forma que se optimice el proceso de preparación de datos de los equipos embarcados ETCS y se involucre en el mismo a los operadores.

➤ **Caracterización precisa del entorno electromagnético del sistema ferroviario**, propiciando con este conocimiento la reducción de los problemas de perturbaciones asociadas.

➤ **Consolidación de un laboratorio de referencia ERTMS**, procediendo a su dotación de equipamiento con un alcance adecuado y planificado, que permita ampliar y estructurar las pruebas a realizar en laboratorio, optimizando los procesos de interoperabilidad.

➤ **Diseño y construcción de una vía de pruebas** para realización de ensayos difícilmente reproducibles en laboratorio y, en particular, de aquellos vinculados a la verificación del correcto funcionamiento en condiciones de uso y aplicación medioambientales, independizándolas de la explotación.

➤ **Incorporación de las nuevas tecnologías** al campo de la interoperabilidad: nuevos sistemas de comunicación, GALILEO, etc.

➤ **Establecimiento de sistemas de gestión documental** y de formalización precisa de las especificaciones del sistema (a todos los niveles) que pueda ser compartido por todos los agentes implicados.

➤ **Articular métodos comunes de cualificación de equipos embarcados e instalaciones de vía** a ejecutar tras la validación de aquellos por la Industria.

➤ Estimular y potenciar la **innovación en los procesos de producción de ingeniería ERTMS en las aplicaciones ferroviarias.**

➤ **Sistema de ayuda a la gestión y la seguridad:** herramientas de análisis de datos ERTMS. Despliegue de sistemas de comunicaciones tierra-tren-tierra, envío de la información del sistema de diagnóstico embarcado al taller. Localización de tren - envío de la posición y velocidad- vía GPS/GALILEO. Desarrollo de interfaces de detección automática de errores de comunicación. Adaptación/integración de tecnologías.

6.3. Material móvil

➤ **Sistemas de comunicación y entretenimiento:** mejoras de las telecomunicaciones al usuario.

➤ A bordo. LCD, DVD, Wifi, IP.

➤ Con el exterior. (GSM-R, GPRS, EDGE ó UMTS).

➤ **Frenos.** Desarrollo y optimización de sistemas de frenado (neumáticos, magnéticos con corrientes de Foucault, aerodinámicos). Frenados de altas potencias. Frenos de fibra de carbono. Sistemas de frenado independientes de la TFA. Frenos aerodinámicos.

➤ **Tracción.** Sistemas de rotación independiente de ruedas. Motores integrados en eje, sin reducción. Ancho variable en alta velocidad. Sistema automático de cambio de ancho.

➤ **Dinámica ferroviaria y diseño de vehículos.**

➤ **Aerodinámica.** Mejoras aerodinámicas: como mejora en eficiencia energética, mejoras del efecto estela, de la resistencia al avance, del levantamiento de balasto, de las ondas de presión (túneles, cruce de trenes), etc.

➤ **Climatización.** Fluidodinámica. Desarrollo de sistemas de ventilación mecánica del sistema con tiempo de actuación mínimo. Desarrollo de sistemas de climatización, protección contra ondas de presión. Sistema de detección y cierre y sistema activo de renovación de aire.

➤ **Rodadura y suspensiones.** Modelos de contacto rueda carril en alta velocidad. Nuevos perfiles de rueda y nuevos materiales. Trenes de levitación magnética. Desarrollo de suspensiones activas "inteligentes". Fatiga de componentes/estructural.

➤ **Interacción con la infraestructura.** Estudios de compatibilidad electromagnética.

➤ **Criterios medioambientales.** Reducción de la emisión de partículas por los motores diesel. Desarrollo de filtros de partículas para motores diesel ferroviarios. Investigación y desarrollo de los sistemas de regeneración de los filtros. Mejoras de rendimiento de motores diesel. Sistemas de ensayo y normalización de motores. Gestión de los residuos de WCs de vacío, químicos y biológicos.

➤ **Software- electrónica a bordo.** Investigación en electrónica embarcada en vehículos, sistemas TCMS, aumento de la seguridad de funcionamiento (nivel 4 SIL- Safety Integrity Level), conducción automática, software de gestión de operaciones de conducción económica, sistemas de alarma de fallo no catastróficos que permitan el movimiento del vehículo. Influencia de los interfaces

en la gestión de crisis y emergencias.

➔ **Materiales.** Investigación y desarrollo de materiales con aplicaciones ferroviarias de características: insonorizantes, materiales compuestos (laminados de material compuesto, paneles sándwich, estructuras carbono-carbono, elastómeros, elastómeros de alta resistencia a fatiga), materiales ligeros, reciclabilidad, ignífugos y retardadores de llama, baja emisión de humos, sistemas de caracterización de materiales, normalización, antivandalismo, ecodiseño.

➔ **Gestión de vehículos, vehículos bimodales y vagones.**

➔ **Gestión integrada del sistema.** Marco normativo y colaboración con otras administraciones. Balance territorial. Mejora de los sistemas de transporte de mercancías y su relación internacional.

➔ **Sistemas de financiación y establecimiento de tarifas.**

➔ **Vagones.** Estudio e investigación de la posible banalización de vagones, incremento de la carga por eje de los vagones y su incidencia en la operación, adaptación de vehículos a la manipulación, sistemas de anclaje de contenedores para evitar los efectos del viento, sistemas bimodales y sistemas de localización de unidades: vagones, vehículos y contenedores.



➔ **Eficiencia energética.**

➔ **Aspectos tecnológicos.** Mejora de la gestión energética y eficiencia energética en sistemas de tracción.

➔ **Aspectos políticos y económicos.** Conducción económica. Establecimiento de planes de acción anuales de eficiencia energética en el ámbito nacional. Incentivar medidas de eficiencia energética. Mejor orientación de las ayudas públicas. Fomento de la contratación pública de nuevas tecnologías para la eficiencia energética. Nuevos instrumentos de financiación. Fomento de la construcción eficiente. Utilizar la iniciativa CARS21 para acelerar el desarrollo de nuevas generaciones de vehículos más eficientes. Fomento del transporte colectivo (ferrocarril, transporte marítimo y fluvial, etc.).

➔ **Sistemas de captación de energía.**

➔ **Sistemas de captación de energía,** pantógrafo activo, adaptación de pantógrafo a distintas líneas.

➔ **Sistema de alimentación por suelo APS.**

➤ Alternativas energéticas.

- Biogás.
- Tecnologías del hidrógeno.
- Levitación magnética.
- Sistemas híbridos.

➤ Sistemas de almacenamiento de energía.

- Almacenamiento de energía a través del volante de inercia.
- Supercapacitores.

➤ Factor humano.

- Estudios de **psicología básica sobre las estructuras del comportamiento en el error humano** y el consecuente desarrollo y control de procedimientos, métodos de entrenamiento y programas que presten atención a la situación especial del ferrocarril.

- Requerimientos humanos en **operaciones degradadas**, sistemas resistentes al error.

riesgos de seguridad.

- Reducir el error humano, o al menos su impacto, en el sistema ferroviario, en especial reforzando la **prevención de accidentes**, en la que el error humano está teniendo la más alta contribución.

➤ Fiabilidad.

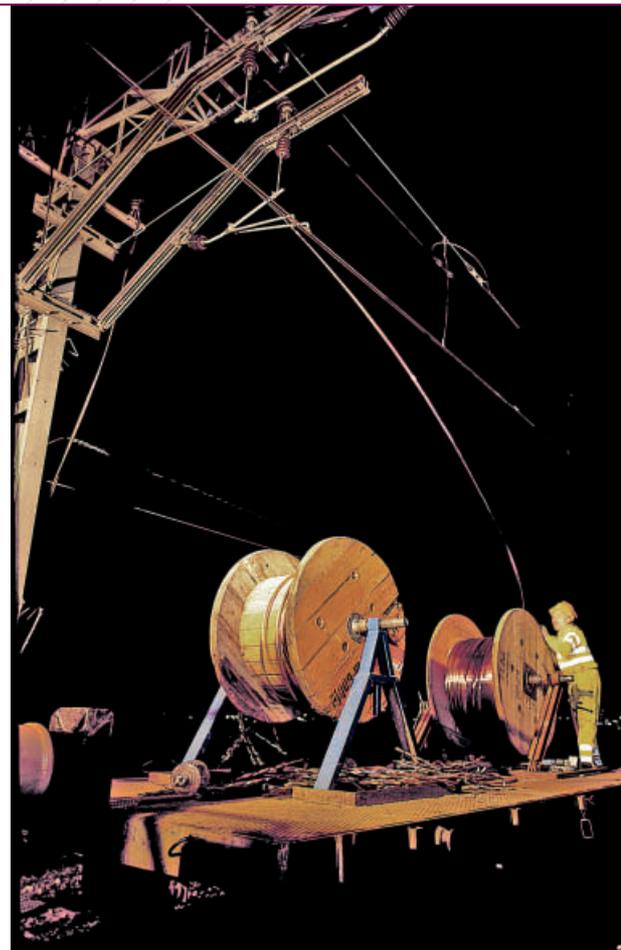
Actuaciones encaminadas a la solución de cuestiones específicas que inciden negativamente en la fiabilidad:

- Desarrollo de sistemas redundantes “reales” que permitan seguir circulando cuando existan fallos.
- Desarrollo de sistemas de acoplamiento sin conexión física.
- Diminución del nº de elementos integrantes del sistema de tracción.

➤ Mantenimiento. Se detectan en esta área varias líneas de investigación relacionadas con el mantenimiento de material rodante ferroviario, que se resumen a continuación:

➤ Instrumentación. Sensorización on-board.

- Diseño de **sensores inteligentes** orientados al mantenimiento. Se pretende el diseño de sensores específicamente adaptados para el desarrollo del mantenimiento predictivo.
- **Monitorización remota** de elementos críticos para el funcionamiento de los vehículos. Control remoto de las variables críticas que intervienen en el mantenimiento de los



sistemas ferroviarios.

- Establecimiento de **diferentes niveles de actuación de la electrónica de control** de los vehículos en función de las alarmas detectadas. El objetivo es definir protocolos de actuación de los sistemas de control activos de los vehículos con el fin de evitar al máximo las paradas e incidencias en vía de vehículos: posibilidad de que el vehículo llegue a estación en cualquier situación.

➔ **Sistemas de diagnóstico de averías.**

- Dotar a los talleres de **herramientas y sistemas de ensayo** de los principales componentes ferroviarios.
- Desarrollo de **nuevos algoritmos y sistemas expertos de diagnóstico** que permitan determinar el estado real de los sistemas monitorizados. Estos sistemas se han de alimentar a través de dos tipos de datos principalmente: por un lado, los datos adquiridos en taller de manera discontinua con sistemas de ensayo y, por otro, datos procedentes de la monitorización embarcada en los vehículos.

➔ **Organización y planificación del mantenimiento.**

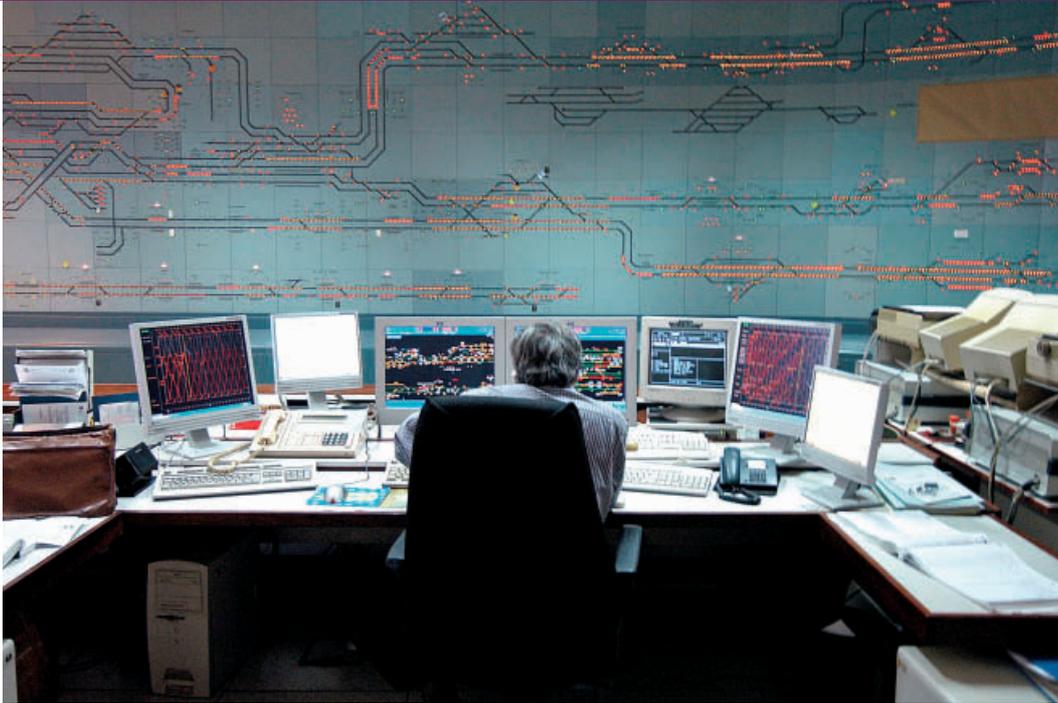
- Estrategias de mantenimiento basado en predictivo, realizadas en función del estado de los componentes. Planificación del mantenimiento por equipos y sistemas, no por vehículo, con el fin de reducir el tiempo de indisponibilidad de los vehículos.
- Sistemas expertos de planificación de las estrategias de mantenimiento. Implantación y desarrollo de sistemas de toma de decisiones orientadas a la programación de las acciones de mantenimiento en taller.
- **Introducción y extensión de estrategias y filosofías de mantenimiento** tipo RCM.
- Estandarización del proceso de retornos de experiencia del mantenedor al operador.

➔ **Diseño de los vehículos orientado hacia el mantenimiento.**

- Se pretende mejorar las actuaciones de mantenimiento de determinados sistemas de los vehículos ferroviarios en base a un nuevo concepto de diseño de los vehículos que tenga en cuenta, no sólo aspectos de operación, calidad y seguridad de funcionamiento, sino aspectos de **diseño que faciliten las labores de mantenimiento** del personal de taller, redundando en una reducción de tiempos de parada del vehículo.

➔ **Rehabilitación y modernización de unidades de tren.**

- Rehabilitación de los vehículos de antigüedad cercana a su ciclo de vida, adaptándolos a las nuevas necesidades competitivas del servicio y a las nuevas normativas.
- Procesos de bajo costo para la modernización y puesta al día del material móvil antiguo, incorporando nuevos diseños, redes de comunicación y equipos más fiables y actualizados.
- Diseño de subconjuntos tipo kit de montaje, que faciliten la mantenibilidad y la realización de los trabajos de desguace y rehabilitación.



- Rediseño de subconjuntos para el tratamiento de obsolescencias.
- Tratamiento y reciclado de los materiales de desguace y desgaste.

➔ Seguridad y, en particular, reconstrucción de accidentes.

➔ Seguridad pasiva.

- **Fuego y humo (minimizar tiempos de evacuación).** Minimizar tiempos de evacuación, materiales, reacción (propagación, toxicidad y opacidad) y resistencia al fuego, reglamentación europea (futuros requerimientos, desarrollo de herramientas de simulación numérica y base de datos de materiales específica). Desarrollo de normativa.
- Seguridad pasiva en **vehículos de alta velocidad.** Base de datos de accidentes. Integridad estructural (normativa, criterio de diseño, escenarios de impacto, mecanismos de colapso, sistemas de absorción de energía, materiales, simulación, ensayo, validación). Diseños interiores desde la perspectiva de la seguridad pasiva (normativa, estudios de comportamiento de viajeros, criterio de daño, evacuación, escenarios de impacto, sistemas de retención de pasajeros, simulación, materiales, ensayo, fuego).
- Desarrollo de **sistemas de información** en interior y exterior de trenes (túneles, estaciones,...) que sean facilitadores de una posible evacuación.

➔ Sistemas de ayuda a la seguridad.

- Desarrollo del ETCS nivel 3. Estudios de viabilidad.
- Unificación de los DMIs, para el ETCS y STM-LZB. Mejor formación del personal de conducción.
- Redundancia completa de los equipos ETCS. Lectura de las funciones características de

las líneas.

- Conducción automática de vehículos.
- Detección de descarrilamiento.
- Detección de elevados vientos laterales, adaptación automática de la velocidad del tren.
- Seguridad en túneles. Actuación ante incidencias. Redundancia real de equipos y sistemas.
- Interferencias armónicas. Armónicos: estudios que permitan fijar los umbrales de las corrientes armónicas, a cada una de las frecuencias de los relés de vía.

➤ Ruido y vibraciones.

➤ Limitación de los niveles de ruido percibidos en el interior de los vehículos.

➤ **Vibroacústica.** Estudio de ruido en el tren y su entorno. Generación de ruido mecánico, aerodinámico, estructural, magnético, sistemas de predicción y medida, ruido interior y exterior. Propagación del ruido (en terreno, edificios). Calidad acústica. Control activo. Avances a nivel europeo (SILENT TRACK, SILENT FREIGHT, METARAIL, etc.).

➤ **Modelización global** del problema acústico.

➤ **Disminución del ruido exterior** generado por el material rodante (rodadura, pantógrafo, ruido aerodinámico, etc.).

➤ Desarrollo de nuevos diseños de **rueda elástica adaptados a tráfico pesado**, especialmente con altas velocidades de circulación.

➤ Simulación ferroviaria.

➤ Simulación de la **dinámica ferroviaria**. Simulación dinámica del vehículo. Análisis de estabilidad no lineal. Modelización de interacción vehículo-vía. Modelos de vehículo. Métodos de simulación.

➤ **Simuladores/simulación** (para formación y operaciones ferroviarias).

➤ Realización de **modelos de simulación** que permitan el desarrollo de estrategias de gestión avanzadas, la gestión óptima de la energía mediante la modificación de las tablas horarias predefinidas y el aumento de la seguridad en modos degradados.



➤ **Diseño y factor humano.**

➤ **Estudio integral** de accesibilidad al ferrocarril. Desarrollo de normativa específica. Tratamiento definitivo de las personas de movilidad reducida (PMRs) y discapacidad sensorial.

➤ **Centros experimentales/tecnológicos** en el mercado ferroviario.

➤ **Ergonomía y diseño de interiores.** Confort. Métodos de medida de posturas y movimientos humanos. Métodos de medida de fuerzas y presiones. Métodos de medida de temperatura y humedad. Nuevos materiales. Necesidades de los maquinistas, diseño de tableros de instrumentos, diseño del puesto de trabajo, carga mental derivados de la sobrecarga de información de los sistemas actuales y futuros. Efecto de las nuevas tecnologías.

➤ **Aplicación de simuladores** de entrenamiento como herramienta tecnológica de validación de la interacción de los equipos con los operadores.

➤ **Rendimiento humano y usabilidad de la tecnología.**

➤ Estudios de **psicología básica** sobre las estructuras del comportamiento en el error humano y el consecuente desarrollo y control de procedimientos, métodos de entrenamiento y programas que presten atención a la situación especial del ferrocarril.

➤ **Requerimientos humanos en operaciones degradadas**, sistemas resistentes al error.

➤ **Estudios para reducir riesgos de seguridad.** Mejora del análisis de los factores humanos y predicción de herramientas de la carga del maquinista.

➤ **Modelaje del comportamiento y factor humano.**

➤ **Homologaciones.**

➤ **Mejoras/ simplificaciones** en procesos de homologación de vehículos. Homologación virtual.

➤ Homologación de **sistemas de seguridad, señalización y comunicación, en coordinación** con los procesos que tienen lugar en Europa.

➤ Mejoras en definición de **especificaciones técnicas.**

➤ Construcción de un **círculo con una vía de pruebas.**

➤ Desarrollar metodologías para **la evaluación y la integración segura y eficaz de los equipos** de ayuda a la conducción y metodologías de análisis de la fiabilidad de los interfaces con el maquinista tanto de diseño interior como del entorno de la vía.

➤ Estudio e investigación sobre la **posibilidad de homologación virtual de vehículos evitando los costosos ensayos reales.**

➤ Modernización de la norma que se aplica para la certificación dinámica del tren.

6.4. Vía, superestructura e instalaciones

➔ Mantenimiento del asiento de la vía.

La probable aparición de movimientos diferenciales en el terreno subyacente motivados por diferencias de materiales, por falta de calidad, por presencia de materiales plásticos o por movimientos inducidos por fuerzas de presión, conllevan deformaciones que se reflejan en anomalías geométricas en la vía (que pueden alcanzar valores centimétricos y decimétricos con normalidad) y que es preciso subsanar para que sean compatibles con la explotación. Estas operaciones, en determinadas tipologías de **vía en placa**, conllevan la demolición y restitución de esta, pues sus niveles de ajuste no pueden alcanzar lo exigido. Habida cuenta de las consecuencias que suponen estas operaciones parece razonable investigar sobre:

➔ **Medios o procedimientos que permitan una solución definitiva** menos drástica y/o efectuar las operaciones necesarias **minimizando las afecciones a la circulación y su plazo**.

➔ Instalaciones de ancho variable.

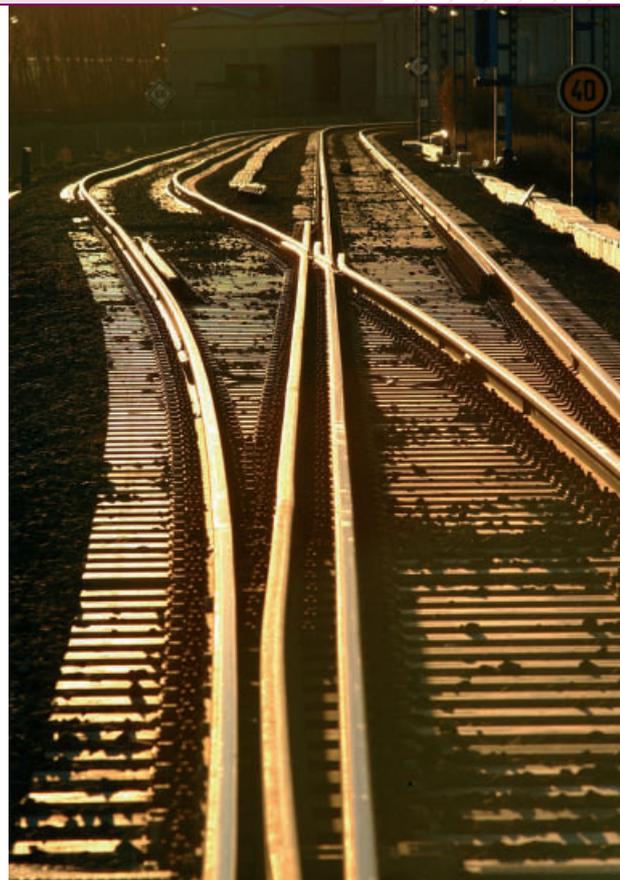
➔ **Nuevo cambiador DUAL (TALGO /CAF)** que permita hacer cambios en trenes con vagones con los dos sistemas intercalados, implica que disponga de detección del tipo de operación de cambio de forma continua, segura y automática.

➔ **Tercer carril-travesía bivalente** para ancho ibérico y métrico y para ancho ibérico e internacional, y métrico e internacional.

➔ Auscultación.

➔ **Técnicas mejoradas de auscultación** para configurar una base de datos históricos del estado de los distintos parámetros de la infraestructura, que permita optimizar las tareas de mantenimiento y potenciar el mantenimiento preventivo frente al correctivo.

➔ **Mayor desarrollo de la visión artificial y ultrasonidos**. Hoy en día existen pocos suministradores de estos equipos, tanto para perfil de rueda, como para perfil de carril o catenaria por lo que, el precio resulta muy elevado por los componentes que se integran. En temas de inspección por ultrasonidos, además, existe falta de desarrollo de la tecnología, esto hace que su desarrollo sea más difícil y más caro.



➔ **Reconocimiento del eje** (que no de bogie o unidad) y **su vínculo con la unidad** o bogie correspondiente y su volcado a la base de datos con la que trabajar y poder interpretar resultados.

➔ **Nuevos materiales reciclados.**

- ➔ Reciclados para componentes elásticos (durabilidad y estabilidad de sus propiedades).
- ➔ Reciclados del balasto; y para el balasto.
- ➔ Reciclados de las traviesas; y para las traviesas.

➔ **Nuevos materiales no-reciclados.**

- ➔ Hormigones con fibras.
- ➔ Hormigón autocompactable.

➔ **Vía en placa (diseño, construcción, dinámica, desgaste)** distinguiendo cuatro tipologías.

- ➔ Ejecutada in situ.
- ➔ Ejecutada con prefabricados.
- ➔ Para líneas de alta velocidad.
- ➔ Para líneas urbanas.

➔ **Ruido y vibraciones.**

➔ **Optimización de la vía en balasto.**

- ➔ Resistencia lateral.
- ➔ Granulometría del balasto.
- ➔ Vuelo del balasto y succión de finos, a altas velocidades.

6.5. Explotación, operación y seguridad del sistema ferroviario

➔ **Planificación y demanda.**

➔ Aplicaciones que evalúen la **demanda diaria en base a los datos de la matriz de cargas de los sistemas de conteo** (fijos o embarcados), y propongan capacidades de oferta por franja horaria y tipo de material, según los compromisos de calidad ofertados.

➔ Sistema de **estimación de origen destino en tiempo real.**

➔ **Programación operación.**

➔ Aplicación que optimice la **asignación de turnos de material** en función de criterios y restricciones del mantenimiento, como capacidad de trabajo en talleres.

➔ Aplicación para el **diseño óptimo de los horarios de trenes** para cubrir la capacidad ofertada por franja horaria. Integración de datos de planificación horaria con los sistemas de explotación en tiempo real incluyendo información al viajero.

➔ Aplicaciones para la **programación automática de turnos** de material y personal.

➔ **Intermodalidad:** planificación en estaciones intermodales (parcialmente resuelta en aviación civil).

➤ Automatización de la operación.

➤ **Identificación y localización de material rodante** utilizando distintas tecnologías, y la integración de estos datos para cumplir los requisitos de seguridad de distintos sistemas de seguimiento de tráfico. Identificación positiva. Seguimiento en tiempo real de las gráficas de rotación de material.

➤ **Definición funcional y modelo operativo, de una línea de metro sin conductor.** Dentro de la tendencia actual al desarrollo de explotaciones enteramente automatizadas sin conductor, la adaptación de las infraestructuras actuales de una línea antigua a esta nueva forma de explotación, admite una gama muy amplia de soluciones en función de los requerimientos de funcionamiento elegidos, tales como los modos degradados, el grado de automatización en los estacionamientos, etc. Estos requerimientos obligan a unas inversiones y, posteriormente, a unos costes operativos muy diferentes en función de la solución elegida, así como por otra parte a un modelo operativo muy diferente en cada caso.

➤ **Certificación de una línea de metro con conducción automática sin conductor.** La certificación de una línea sin conductor debe de garantizar la seguridad integral del sistema mediante la realización de un análisis de riesgos, tanto a nivel de los distintos subsistemas como del sistema global a lo largo de las diferentes fases del proyecto, y la elaboración de unos planes de seguridad de elementos críticos, procedimientos de operación, mantenimiento, pruebas de recepción, período de marcha en blanco y los análisis que se consideren necesarios.

➤ **Sistema dinámico de automatización de itinerarios** en las playas de vías de talleres y depósitos, en base a la asignación de turnos de material, plan de lavado y programación de intervención de mantenimiento.

➤ **Sistemas de automatización y ayuda a la operación de tráfico y gestión de incidencias de circulación.** Replanificación de horarios en tiempo real.

➤ Información al viajero.

➤ **Sistema integral de información** de servicios integrando la oferta teórica, las incidencias en tiempo real, los intermodos, servicios alternativos, etc., aprovechando el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas y plataformas embarcadas.

➤ Venta y control de accesos.

➤ Definición de **sistemas de peaje y billete único** para diferentes medios de transporte, capaces de implementar políticas tarifarias complejas, como tarifa por nivel de uso.

➤ Sistemas automáticos de **evaluación y gestión del nivel de fraude**, mediante comparación de la carga real de cada servicio y la información del sistema de venta y cancelación.

➤ **Pago a través de móvil.**

➤ Eficiencia energética.

➤ **Aplicaciones para la operación de tráfico con criterios de ahorro energético:** diseño óptimo de marchas, conducción económica, diseño de horarios, aprovechamiento del frenado regenerativo.



- **Planificación de las necesidades energéticas** en base a planificación de trenes.
- **Medidas de calidad.**
 - **Aplicaciones informáticas** que integren de forma automática los datos de la matriz de cargas de los sistemas de conteo y la información de paso real de las circulaciones.
 - Aplicaciones que generen **medidas de calidad a partir de sistemas de conteo y/o peajes y la circulación de trenes**, válidos tanto para explotaciones con horario ofertado como por intervalo ofertado.
- **Comunicaciones tren-tierra.**
 - **Arquitectura de comunicaciones** que asegure la conectividad del material móvil con la red de operación y gestión de la empresa, a fin de potenciar las prestaciones de los sistemas embarcados como repositorios y fuentes de información para operación y mantenimiento.
- **RAMS y normativa CENELEC.**

La aparición de las diferentes normativas europeas CENELEC en el Sector Ferroviario, en particular de la gestión RAMS (EN-50126, EN-50128 y EN-50129), justifica la creación de un área de trabajo donde se revisen, establezcan nuevas metodologías y actualicen las normas.

 - **Aplicación de la norma en el diseño de sistemas ferroviarios.**

- Establecer procedimientos claros y precisos para la **comprobación del cumplimiento** de los requisitos RAMS impuestos a los componentes y el software que conforman un sistema ferroviario.
- Obtener **índices RAMS para las partes software** de un sistema.
- Desarrollo de metodologías que permitan **predecir el coste del ciclo de vida del producto (LCC)**.
- Especificar y establecer técnicas y métodos de **evaluación de los factores humanos** descritos en la RAMS ferroviaria y de su grado de influencia en la seguridad.
- Desarrollo de **herramientas software para la optimización del diseño** de sistemas de seguridad en base a las especificaciones RAMS.
- Desarrollo de nuevas metodologías de diseño orientadas a la **certificación** del producto.
- Desarrollo de nuevos métodos de diseño basados en **recursos "Open source"** para la realización de software de sistemas de seguridad.
- Desarrollo de métodos y procedimientos que permitan evaluar y/o estimar la **fiabilidad** del software y calcular su tasa de fallos.

➔ Estado de la norma.

- Actualización de las exigencias de las normas RAMS en base a la tecnología actual.
- Determinación del **estado del arte en la gestión RAMS** en el ámbito internacional, tanto en el Sector Ferroviario como en otros Sectores como el aeronáutico, nuclear, etc.
- **Formación.** Potenciar la formación específica en las universidades españolas de la gestión RAMS en el Sector Ferroviario.

➔ Señalización, sistemas de protección al tren y telecomunicaciones.

En el ámbito de las infraestructuras ferroviarias y el material rodante existen numerosos sistemas de seguridad relacionados con la señalización luminosa y eléctrica, la protección del tren o la diagnosis del material, entre otros. En esta área de trabajo se definen las líneas de investigación adecuadas para el diseño e innovación de **nuevos sistemas de seguridad relacionadas con la señalización, protección del tren o determinación del estado del material**, utilizando las futuras tecnologías en desarrollo.

- ➔ **Sistemas de seguimiento y protección.** Detectores de cajas y ruedas calientes. Detección de deformaciones (aplanaduras) de ruedas.
- ➔ Desarrollo de **sistemas de testeo y detección de fallos del software de seguridad** de los equipos ferroviarios.
- ➔ Análisis de los beneficios del posicionamiento y precisión obtenidos mediante el **sistema GALILEO** para la gestión de las velocidades según el trazado de la línea, para trenes de alta velocidad.

- ➔ Sistemas de **vigilancia para los vehículos** (cámaras, sensores, etc.).
- ➔ Diseño de **algoritmos de detección automática de estados de alarma** a partir del procesado de la información de los sistemas de vigilancia.
- ➔ Sistemas de **seguridad a bordo**, que tengan en cuenta el flujo de información al conductor.
- ➔ Sistemas de **seguridad para transporte de mercancías**, corredores menos sensibles al transporte de mercancías peligrosas, gestión de flota.
- ➔ **Seguridad en metros ligeros y tranvías**. Aplicación de criterios homogéneos y recomendación española-europea para medidas de protección del viandante.
- ➔ Desarrollo de **redes digitales de comunicaciones de alta velocidad** aptas para transporte de información de seguridad de vehículos ferroviarios, y de sus controladores asociados.
- ➔ **Sistemas de apoyo a la decisión en tiempo real en los diferentes modos del sistema**. Monitorización en tiempo real de campo facilitar el seguimiento y análisis material y estructural de las instalaciones especialmente sensibles en el trazado (puentes, túneles).
- ➔ Sistemas de **predicción**.
- ➔ Aplicación de **técnicas de visión artificial en detección de obstáculos**.
- ➔ **Interfaces tiempo-real con sistemas externos** de predicción climática, seguridad y emergencias. Fusión de datos. Integración de información compleja (heterogénea, redundante, incompleta, sujeta a incertidumbre y multi-resolución) proveniente de los sensores gestionados.
- ➔ Sistemas de **decisión en tiempo real**.



➔ **Instalaciones auxiliares de seguridad (incluye security).**

➔ **Seguridad contra incendios.**

- Modelado y simulación computacional de incendios (MSCI) en infraestructuras ferroviarias.
- Análisis de la adecuación de los sistemas de control de humos en túneles ferroviarios.
- Nuevos métodos de ensayo para la caracterización del comportamiento al fuego de materiales de trenes.

➔ **Sistemas de detección y vigilancia.**

- Detección automática de objetos abandonados para poder evitar ataques terroristas.
- Detección de explosivos, armas y otras sustancias peligrosas en los equipajes y mercancías.
- Sistemas de detección e identificación de personas "en busca".
- Sistemas de detección y control de conductas sospechosas.
- Sistemas automáticos de vigilancia permanente de las infraestructuras.
- Robots para la inspección automática de instalaciones.
- Monitorización de instalaciones remotas.
- Diseño de algoritmos de detección automática de estados de alarma.
- Sistemas de detección de incidentes y su afección a la infraestructura por fenómenos meteorológicos, sísmicos, etc.

➔ **Sistemas de comunicaciones.**

- Redes integradas de datos de seguridad para el intercambio de datos en las fronteras.
- Integración de datos de diferentes fuentes de seguridad: Satélites de observación, GPS, video vigilancia desde vehículos, especialmente aérea.

➔ **Diseño y aplicación de medidas de seguridad en pasos a nivel.**



- Aplicación de las nuevas tecnologías, especialmente GALILEO, en la mejora de la seguridad de los pasos a nivel.
- Sistemas inteligentes de video-vigilancia.
- Nuevos sistemas que impidan el acceso a zonas de vía o actúen sobre la velocidad del ferrocarril y activen alarmas.

➔ **Formación.** Desarrollo de sistemas de simulación para prevenir y paliar desastres naturales y provocados.

➔ **Integración del factor humano en la seguridad.**

En línea con las prioridades marcadas por la ERRAC en su Agenda Estratégica de Investigación, una de las prioridades en el ámbito de la seguridad es la integración del factor humano en los sistemas tecnológicos, así como la influencia de los sistemas ferroviarios en el comportamiento humano.

➔ **Diseño, construcción y gestión de sistemas seguros** que minimicen la ocurrencia de errores humanos.

- Identificación de los riesgos, evaluación, ponderación y prevención de errores humanos.
- Impacto de los factores humanos. Incorporación de los factores humanos en la investigación de nuevos sistemas que actúen de alguna forma en la interacción con el usuario.

➔ **Medidas de intervención en seguridad.**

- Modelado del comportamiento y factor humano en situaciones de emergencia y evacuación de recintos.
- Determinación del perfil humano y organizativo en todos los niveles del Sector.
- Diseño de nuevas medidas que permitan aumentar la percepción de riesgo de los usuarios de las infraestructuras ferroviarias (pasos a nivel, andenes,...).
- Determinación de grupos de riesgo.
- Desarrollo de procedimientos, de control, métodos de entrenamiento, tecnologías y herramientas que integren los factores humanos y su impacto en el sistema ferroviario.

➔ **Situaciones degradadas.** Explotación y circulación.

- Sistemas de apoyo a la decisión para la reducción de incidencias y minimización del impacto en modos degradados de funcionamiento.
- Sistemas para la optimización del comportamiento en situaciones degradadas y contextos de crisis y emergencias.
- Desarrollo de nuevos procedimientos de formación y técnicas de aprendizaje para usuarios.



➔ **Gestión de la seguridad.**

Los continuos cambios que está sufriendo el ferrocarril a nivel europeo desde el punto de vista organizativo al ir incorporando poco a poco las Directivas Europeas, aconsejarían la creación de un grupo de trabajo que permita evaluar objetivamente la situación del ferrocarril y definir las líneas de actuación que ayuden a mantener y mejorar la seguridad del ferrocarril durante este período.

➔ **Elaborar nuevos métodos y protocolos de investigación y respuesta ante accidentes, incidentes y cuasi-accidentes.**

➔ **Directiva de seguridad ferroviaria.** Intervenir en el proceso de elaboración y evaluación de los indicadores comunes de seguridad (ICS), métodos comunes de seguridad (MCS) y objetivos comunes de seguridad (OCS).

➔ **Análisis del papel de la organización en la seguridad en el transporte por ferrocarril.**

- Estado del arte del papel de la organización en la seguridad en el transporte ferroviario.
- Dimensiones organizativas críticas para la seguridad en el transporte por ferrocarril.
- Estudio de los factores y procesos organizativos propios del Sector Ferroviario que son críticos para garantizar la seguridad de los miembros de la organización.
- Cultura de seguridad en el transporte ferroviario. Diagnóstico de la cultura organizativa y la cultura de seguridad de las empresas del Sector Ferroviario en España.

➔ **Diseño de sistemas.**

- Definición de familias arquitectónicas HW/SW de referencia instanciables según propiedades extrafuncionales: configurabilidad, conexionado en red y seguridad, robustez y soporte para diagnosis, autodiagnóstico y mantenimiento.
- Gestión integrada de los recursos, capacidad de evolución futura y auto organización.
- Ingeniería de requisitos. Asegurar la trazabilidad y consistencia de los requisitos tanto funcionales como extra-funcionales a lo largo del ciclo de vida del proyecto basada en la formalización de los requisitos.

- Técnicas, métodos y herramientas para guiar, optimizar y generar la arquitectura de sistemas dirigidos por los requisitos de negocio y criterios de operación (coste, seguridad, fiabilidad).
- Repositorios de métodos de análisis que den cobertura a las distintas fases y desarrollo de sistemas críticos.
- Conectividad de equipos de seguridad de distintas tecnologías.
- Desarrollo de protocolos de seguridad y estandarización de los interfaces entre diferentes dispositivos, permitiendo una transmisión segura.
- Comparación de los principios y técnicas de seguridad utilizados en todos los niveles del Sector Ferroviario, contra los principios y métodos de seguridad utilizados en los Sectores aeronáuticos, de centrales nucleares y químico.
- Incorporación de los factores humanos en las políticas ferroviarias.

➤ **Sistemas de emergencia y ayuda a la evacuación.**

➤ **Sistemas de comunicaciones específicas para estados de emergencia.**

- Sistemas de socorro y ayuda a la evacuación.
- Posicionamiento. Aplicación de sistema GIS y posicionamiento GPS para coordinación de imágenes en tiempo real (uso de satélites operacionales no militares).
- Sistemas de seguridad en puntos sensibles: estaciones, túneles, viaductos.
- Sistemas de emergencia y seguridad que favorezcan la evacuación de personas mayores, con movilidad reducida o discapacitadas.

➤ **Protección de trabajadores (seguridad laboral).**

➤ **Nuevos sistemas de gestión de seguridad laboral.** Aplicaciones para protección de trabajadores: por ejemplo, trabajadores en vía con tráfico ferroviario.

➤ **Prevención de nuevos riesgos** para los operadores surgidos de la carga de trabajo y la complejidad de tareas.

➤ **Homologación con otros sistemas europeos y modos de transporte.**

➤ **Transferencia tecnológica** entre distintos dominios y modos de transporte (arquitectura y métodos).

➤ **Desarrollo de sistemas de gestión del fallo humano** siguiendo el estado del arte de modos de transporte más desarrollados. Utilización de criterios europeos internacionales.

➤ **Definición intersectorial de métodos, herramientas y componentes.**

6.6. Infraestructura y plataforma

➔ **Estudio de optimización integrada de componentes -infraestructura/vía/trenes-** para garantizar las adecuadas condiciones de explotación en líneas de alta velocidad con costes de mantenimiento equilibrados.

➔ Estudio integrado- infraestructura/vía/vehículos- de la **rigidez de la vía** como parámetro determinante del equilibrio calidad de la rodadura/costes de mantenimiento en líneas operadas a alta velocidad, con el objetivo de establecer la relación entre la variación de rigidez de la vía y los costes de su mantenimiento.

➔ Desarrollo de **criterios de diseño** de los diferentes subsistemas, infraestructura, vía..., orientados a minimizar los costes de mantenimiento, con el objetivo de optimizar el diseño de los subsistemas en sí mismos y de modo integrado con el resto para alcanzar una eficiencia mayor en el comportamiento a largo plazo.

➔ **Introducción de nuevas características estructurales para garantizar un apropiado comportamiento de puentes y viaductos en líneas de alta velocidad** que limite las necesidades de mantenimiento.

➔ **Evolución de criterios de diseño** de estructuras considerando nuevos fenómenos dinámicos- incluido resonancia- y la interacción con la vía para líneas ferroviarias con velocidades crecientes, con el objetivo de introducir mejoras en el diseño de estructuras considerando efectos dinámicos, buenas condiciones para su mantenimiento y buen comportamiento del fenómeno de interacción vía-tablero.

➔ Estudio de las **condiciones de mantenibilidad** de puentes, viaductos y estructuras para alta velocidad desde la etapa de diseño incluyendo el fenómeno de socavación en apoyos en cauces en hipótesis de avenida hidráulica, con el objetivo de establecer criterios de diseño para optimizar la mantenibilidad de puentes, incluyendo el fenómeno de socavación de apoyos en cauces.

➔ Establecimiento de **criterios sistematizados de diseño** de apoyos de tableros en estructuras de líneas ferroviarias de alta velocidad implantadas **en áreas de sismicidad intensa**, con el objetivo de desarrollo de metodología para tener en consideración de modo detallado las acciones sísmicas en el diseño de elementos de apoyo de tableros de viaducto.

➔ **Introducción de mejoras en el binomio infraestructura-vehículos para facilitar la circulación de trenes de mercancías en líneas modernas de altas prestaciones.**

➔ Estudio de medidas a introducir en el diseño de infraestructuras y vehículos y en el modo de operación para una **explotación eficiente de trenes pesados de mercancías en líneas con tramos de pendientes acusadas**, de modo compatible con niveles de mantenimiento aceptables y condiciones económicas de explotación.

➔ Estudio de mejoras a introducir en el diseño de infraestructuras y vehículos para facilitar la **compatibilidad entre circulaciones de viajeros y de mercancías** en líneas de altas prestaciones en términos de explotación eficiente y exigencias de mantenimiento equilibradas.

➔ Introducción de nuevos criterios para el estudio de fenómenos dinámicos en la interacción

vehículo-vía para la explotación de la línea a **velocidades superiores a los 300 km/h**.

➔ Estudio de en la **interacción vehículo-vía** en el rango de la “**muy alta velocidad**” relacionados con la geometría del trazado, con el objetivo de: identificar las condiciones que regulan el incremento de velocidad por encima de los 300 km/h en términos de **estabilidad de la superestructura y de confortabilidad** para los viajeros.

➔ Estudio de los valores de los parámetros geométricos del trazado para **reducir los tiempos de viaje** (incrementar la velocidad de circulación) en líneas de alta velocidad mediante el empleo de técnicas de **inclinación de cajas** en vehículos ferroviarios.

➔ **Estudios para establecer criterios de diseño y construcción orientados a mejorar las características y el comportamiento a largo plazo de diferentes componentes de la infraestructura.**

➔ Establecimiento de nuevas metodologías para elaborar modelos de simulación y cálculo del fenómeno de fatiga para los diferentes componentes que integran la infraestructura de líneas ferroviarias de altas prestaciones.

➔ Desarrollo de nuevas metodologías de seguimiento y control de obras de tierra para plataformas de alta velocidad con el objetivo de optimizar las características de su capacidad portante.

➔ **Desarrollo de nuevos métodos de cálculo y diseño orientados a optimizar el equilibrio coste/explotación/mantenimiento en túneles para líneas de alta velocidad.**

➔ Estudios encaminados a establecer un nuevo método de sistematización de criterios para seleccionar entre las alternativas de túnel de vía doble o pareja de túneles de vía única en líneas de alta velocidad.

➔ Introducción de nuevos criterios de diseño para optimizar el comportamiento vehículo-infraestructura en túneles explotados en el futuro con trenes circulando a “muy alta velocidad”.

➔ **Desarrollo de métodos avanzados de modelización y cálculo de fenómenos vibratorios relacionados con la infraestructura.**

➔ Caracterización integral y evaluación de consecuencias de la aparición de vibraciones en diferentes componentes de la infraestructura de líneas de alta velocidad.

➔ Desarrollo de nuevos modelos de simulación y cálculo de vibraciones producidos por la circulación de trenes y transmitidas al entorno por las infraestructuras.





7. Consideraciones finales

A lo largo del documento se han puesto de manifiesto diversos aspectos, algunos de ellos bien conocidos ya en el Sector Ferroviario y otros genéricos, con relación a la investigación española:

- ➔ La **atomización** de los grupos de investigación.
- ➔ La **reducida relación** entre industria-organismos de investigación-administración pública.
- ➔ La **dependencia tecnológica** de terceros.

Las expectativas del ferrocarril en nuestro país hacen que el **momento** sea **óptimo** para la creación de grupos más sólidos, la estrecha colaboración entre los agentes implicados y el protagonismo español en proyectos internacionales.

Esto hace **necesario** una **financiación estable** de la investigación y la **creación de centros públicos y privados con presencia de la industria y de los operadores y administradores de infraestructura ferroviaria**.

Las conclusiones que respecto de la estructura de la I+D+i del Sector se desarrollan a continuación son, en general, extrapolables a la totalidad del Sector, aunque con algunas especificidades propias de los subsistemas considerados y complementan lo indicado en el apartado "Situación de partida":

Capacidad investigadora.

Existe una **atomización de la investigación** y, además, una **escasa colaboración**, a nivel nacional, entre los distintos núcleos de investigación excepto en el caso de los grupos de investigación consolidados de las universidades.

Sería **deseable un mayor contacto entre los núcleos de investigación** para crear redes de expertos de tal manera que se conjugaran las ventajas de la flexibilidad de las organizaciones pequeñas y las ventajas en términos de economías de escala de las organizaciones mayores.

En lo que se refiere a la difusión de la investigación sería deseable que la **investigación realizada en el ámbito universitario fuese menos teórica**. No cabe duda del papel fundamental de la universidad en la investigación básica pero no debería olvidarse la cada vez más necesaria colaboración entre la universidad y la empresa así como la oportunidad de una mayor financiación privada de la investigación.

Aunque la naturaleza de algunos de los campos de investigación objeto de este análisis está relacionada de una manera importante con las administraciones públicas españolas y europeas, y por tanto depende de la financiación pública, hay otros **campos relacionados con las necesidades de las empresas que deberían potenciarse**. Por tanto, sería deseable **impulsar las relaciones universidad-empresa** en las investigaciones con el fin de que la investigación sea más aplicada y así aumente la productividad de las empresas.

Existe una **gran necesidad de herramientas de ayuda a la toma de decisiones** (metodologías, modelos, estudios, etc.) debido a la envergadura de los cambios que está viviendo el ferrocarril en los últimos años. Este tipo de herramientas permitirían evaluar el impacto de las políticas de transporte y de construcción de infraestructuras.

Para poder llevar a cabo estas líneas de investigación, se ha señalado la importancia de **fomentar la colaboración entre los diferentes agentes involucrados** (administración, agentes y centros de investigación) mediante la suscripción de convenios. Asimismo, se ha recalcado la importancia de las ayudas a la investigación, desarrollo e innovación.

Interoperabilidad y ERTMS.

Cualquier acción que se proponga para el despliegue de sistemas relacionados con la interoperabilidad y, en especial, el sistema ERTMS/ETCS, para que sea válida debe ser **coherente con el ámbito europeo definido y enfocarse desde una perspectiva global**, resaltando los criterios y directrices establecidos por la política comunitaria del transporte, en particular los de interoperabilidad. Incluso si la acción se financia con fondos nacionales, para que sea efectiva ha de ser comprendida y asumida en el exterior, debiendo por tanto observar estos principios.

En estos casos se pone de manifiesto la necesidad de crear a nivel nacional una **Autoridad del sistema, ejecutiva y con participación activa en los foros europeos**. Esta Autoridad para la explotación y operación de sistemas comunes, como por ejemplo el mencionado ERTMS/ETCS, tendría como misión arbitrar el desarrollo, aunar y coordinar los esfuerzos nacionales y defender y realizar sus propuestas ante los foros de discusión comunitarios.

Actualmente hay una cierta **fragmentación que debe subsanarse** con la participación de administradores-gestores, operadores e industria nacional y tutelarse por la autoridad ferroviaria.

Las **inversiones** deberían ir dirigidas a **fortalecer la masa crítica de ERTMS** considerado como el medio más eficaz de los posibles para conseguir su máximo despliegue y garantizar los principios de movilidad europeos (cumplimiento de la política del transporte comunitaria).

Los mayores esfuerzos de inversión nacional deberían pivotar no sólo sobre la Especificación o su contraste para la certificación (potenciando el laboratorio nacional como referencia europea), sino también sobre **métodos y herramientas para el control de su evolución** (que sirvan para anticipar los riesgos técnicos en el diseño, producción y despliegue de instalaciones), así como para la realización de pruebas y para la certificación de los activos desplegados.

España, como país pionero en la implantación y despliegue real del sistema ERTMS, debería incrementar de forma muy importante su presencia en los organismos europeos que gestionan la evolución del sistema ERTMS (ERA) de cara a asegurar la compatibilidad hacia atrás de las sucesivas versiones del sistema. Si la compatibilidad hacia atrás no se respeta escrupulosamente, existe un peligro real de que las líneas ferroviarias españolas queden fuera de la normativa europea por no poder incorporar en líneas en explotación comercial las peticiones de cambio aceptadas por la ERA y propuestas por países que, al no haber instalado aún el sistema, se pueden permitir la libertad de generar cambios al mismo sin asegurar la compatibilidad hacia atrás de las versiones futuras.

Por último, debería prestarse **atención singular a los estratos de ERTMS aún en estado de definición incipiente**, como es la capa de gestión de tráfico, y tener en cuenta las sinergias entre los distintos programas europeos, en particular GALILEO.



Material móvil.

Junto a tecnologías probadas y consolidadas el material rodante incorpora, muy especialmente en la alta velocidad, tecnologías recientes y revolucionarias, que deben ser perfeccionadas tanto para el mejor funcionamiento de los trenes como para minimizar su impacto medioambiental.

Las **orientaciones prioritarias de seguridad, sostenibilidad y eficiencia energética**, obligan a considerar temas a veces olvidados o minusvalorados, como la aerodinámica, la reducción de peso, la generación de ruido y vibraciones o la captación de energía, su almacenamiento o la utilización de energías alternativas o sistemas híbridos y, por supuesto la mejora del comportamiento de los materiales y del diseño en caso de accidentes o incidencias, especialmente frente al fuego, así como la seguridad pasiva o los sistemas de frenado más eficientes -accionamiento y control eléctricos-.

Al igual que en otros de los ámbitos del estudio, un medio coadyuvante en la satisfacción de los retos planteados es la **incorporación y mayor aprovechamiento de las TIC's y el aumento de la electrónica embarcada**. Pero siempre garantizando la ausencia de fallos cualesquiera que sean las circunstancias de operación del material.

La globalización y con ella las nuevas oportunidades comerciales, pero también la creciente competencia, exige la incorporación de **sistemas de producción más eficientes** -customización,

7. Consideraciones finales

modularidad, platforming- que, controlando el crecimiento de los costes, proporcionen la flexibilidad y adaptabilidad necesarias para satisfacer las crecientes exigencias de los operadores.

Otros aspectos novedosos reseñables serían las **infraestructuras de redes y comunicaciones** para el entretenimiento, servicio, almacenamiento de la información, etc, tanto dentro de las composiciones -local- como para relacionar estas con el exterior -externa.

Igualmente se plantea **ganar una posición en ergonomía, factores humanos y diseño de interior** tanto a nivel nacional como a nivel internacional. De modo que los productos desarrollados en España estarían dotados de un mayor valor añadido para competir con otros mercados. Para ello deberían considerarse dichos aspectos tanto en lo referente a los pasajeros, como a los profesionales y su entorno de trabajo.

Se destaca por tanto la necesidad de **investigación integrando los factores humanos** para conocer el impacto del error humano en el sistema ferroviario, como una línea transversal para el transporte metropolitano, cercanías, larga distancia, alta velocidad, por superficie o suburbano y que abarca transporte de mercancías y de pasajeros, desde el diseño original en la industria de los nuevos materiales rodantes y sus componentes, la construcción de infraestructuras que utilizan los usuarios, a la propia integración de estos factores en toda la cadena de valor del sistema ferroviario y para todo tipo de usuarios.



Infraestructura y plataforma. Vía, superestructura e instalaciones.

Para avanzar en su desarrollo, se considera fundamental el **análisis dinámico de los distintos componentes**, no de forma aislada, sino **en el marco del conjunto de la superestructura ferroviaria** sometida a las sollicitaciones previstas. También se apunta el interés de la información que pueden aportar las distintas administraciones ferroviarias sobre la evolución del comportamiento de numerosos componentes y sistemas de superestructura, algunos de ellos implementados en tramos de prueba. En este mismo sentido se considera un factor muy importante que condiciona la capacidad de impulsar la potencialidad del I+D+i, el **desarrollo de la normativa y de los procesos de homologación de los productos**.

Puede destacarse la **necesidad de modelización de la interacción vía-vehículo** considerando, conjuntamente con las características de la circulación, otros parámetros como el confort, la

seguridad, la carga de vía o el desgaste y particularizando para elementos especiales, como la inscripción de ejes auto-orientables, otros condicionantes, como la influencia del viento lateral y cualquier tipo de parámetro relevante, como las fuerzas de acoplamiento.

Igualmente, en lo que respecta al conjunto **vehículo-superestructura**, se pone de manifiesto la especial utilidad -cada vez más necesidad creciente- de la utilización de las **simulaciones dinámicas**, que permiten considerar el comportamiento dinámico completo de un vehículo o composición ferroviaria y que en el futuro podrán simular y evaluar virtualmente complejas circulaciones de acuerdo con los criterios de medida.

Otro aspecto destacable, también aplicable al material rodante, es la necesidad de desarrollo e implementación de **sistemas expertos -auscultación y gestión- y vehículos especializados para el mantenimiento**, en particular que permitan conjugar las elevadas exigencias de la circulación en alta velocidad o en tráfico mixto, con la reducida disponibilidad de surcos y la exigencia de alta disponibilidad del material.

Explotación, operación y seguridad del sistema ferroviario.

La **tecnología** en general **resuelve satisfactoriamente los retos planteados**, si bien en relación con las aplicaciones relacionadas con la gestión del servicio, posicionamiento de las circulaciones, estimaciones de retrasos, etc., se detecta la necesidad de evolucionar los tradicionales sistemas cerrados tipo CTC, a aplicaciones abiertas que permitan compartir información a través de servidores de suscripción, etc. Esta necesidad se ve potenciada ante la nueva situación de mercado liberalizado donde los operadores de servicio han perdido una parte importante de la información del servicio.

Siguiendo en esta línea se detecta una oportunidad para el **desarrollo de una normativa** que aúne los esfuerzos de desarrollo de redes de comunicaciones embarcadas al objeto de emplear el material móvil como “continente” de sistemas de almacenamiento y gestión de información operacional.

En líneas generales el Sector lo podemos definir como un **Sector maduro**, donde la **dificultad de tener que atender las diferentes peculiaridades de cada empresa** en sus desarrollos se transforma en una fortaleza de cara a competidores extranjeros ya que la “singularización” de las aplicaciones requiere un elevado contacto entre organizaciones y, por tanto, la proximidad es un factor determinante en la obtención de un producto satisfactorio y ajustado en coste.

El **futuro escenario**, en relación a la “explotación de las infraestructuras y operación de trenes”, puede identificarse con un escenario donde se materialice la **excelencia operacional**, donde las posibilidades de la tecnología permitan optimizar la gestión de la operación en todas las áreas de interés y en las diferentes responsabilidades de la empresa.

En la actualidad existen nuevas visiones en la definición del ámbito funcional que debe contemplar el diseño de los **puestos de mando**, configurándose como **gestores globales de la operación en tiempo real**.



8. Priorización de líneas de investigación

Las líneas de investigación se han clasificado en cuatro niveles (nivel 1: máxima prioridad, nivel 4: mínima prioridad), con arreglo a la prioridad de su desarrollo mediante la ponderación de los siguientes factores:

- Factores técnicos: viabilidad técnica, tecnología propia, existencia de alternativas, riesgos asociados.
- Factores financieros: rentabilidad.
- Factores jurídicos: regulaciones en el Sector
- Impacto: tanto en el Sector Ferroviario como en otras líneas de I+D+i, sinergias con otros Sectores.
- Urgencia y horizonte temporal.

8. Priorización de líneas de investigación

Área	Líneas de prioridad 1
1	1. Análisis del ferrocarril respecto a otros modos de transporte. Análisis Intermodal de consumos energéticos y de emisiones en el transporte.
1	2. Desarrollo de técnicas hacia la sostenibilidad energética y medioambiental. Impacto energético del entorno ferroviario.
1	3. Formas de explotación de la infraestructura. Tarifación por el uso de la infraestructura ferroviaria. Ayuda a toma de decisiones.
1	4. Formas de explotación de la infraestructura. Optimización de la gestión y operación de la infraestructura en la que conviven redes convencionales y de alta velocidad. Incorporación de criterios de mantenimiento a la explotación.
1	5. Análisis del ferrocarril respecto a otros modos de transporte. Estudios de la competencia (y colaboración) transporte ferroviario de personas y de mercancías con otros modos de transporte. Configuración de cadenas logísticas.
1	6. Financiación y desarrollo competencial. Desarrollo de nuevos modelos de financiación: enfoque económico y jurídico.
1	7. Análisis de la competencia entre servicios ferroviarios. Competencia entre operadores en el transporte de viajeros en España. Análisis de experiencias previas en el Sector de transportes.
1	8. Análisis de la competencia entre servicios ferroviarios. Competitividad del transporte por mercancías. Análisis de experiencias previas en el Sector de transportes.
1	9. Formas de explotación de la infraestructura. Estudio de las fortalezas y debilidades de las líneas de alta velocidad de tráfico mixto. Diseño de formas de explotación de la red que integren líneas de alta velocidad y convencionales. Nuevos usos de la infraestructura.
1	10. Desarrollo de técnicas hacia la sostenibilidad energética y medioambiental. Implantación de los diferentes tipos de energía renovables existentes en la actualidad en las infraestructuras ferroviarias.
1	11. Financiación y desarrollo competencial. Reforma de las obligaciones de servicio público (OSP) en el ferrocarril. Traspaso de competencias a las Comunidades Autónomas.
1	12. Observación y prospección del transporte por ferrocarril. Información y necesidades estadísticas. Identificación de la información útil en el marco competitivo. Tratamiento. Desarrollo a nivel europeo y nacional.
1	13. Observación y prospección del transporte por ferrocarril. Homogeneización de variables críticas relevantes para la planificación. Desarrollo de metodologías de valoración.
1	14. Observación y prospección del transporte por ferrocarril. Definición de indicadores de servicio para pasajeros y para mercancías en un contexto multioperador.
2	15. Diseño y construcción de una vía de pruebas a escala real.
2	16. Creación y/o consolidación de un laboratorio de ensayos de referencia ERTMS.
2	17. Métodos formales aplicados a la interoperabilidad y el ERTMS: discrepancias entre versiones ERTMS y compatibilidad entre componentes.
3	18. Seguridad pasiva. Fuego y humo: minimizar tiempos de evacuación, materiales, reacción y resistencia al fuego, reglamentación europea, normativa.
3	19. Energía y captación de energía. Pantógrafos activos. Almacenamiento de energía a través de volantes de inercia.

Área	Líneas de prioridad 1
3	20. Tracción y freno. Frenado de alta potencia. Motor en eje sin reducción.
3	21. Seguridad pasiva. Integridad estructural: normativa, criterio de diseño, escenarios de impacto, mecanismos de colapso, sistemas de absorción de energía, materiales, simulación, ensayo, validación.
3	22. Mantenimiento. Optimización de la periodicidad de las inspecciones predictivas mediante un modelo dinámico.
3	23. Mantenimiento. Estimación de los valores de los parámetros que determinan el cambio en la condición del equipo industrial (valores de alerta y alarma).
3	24. Energía y Captación de energía. Energías alternativas: Hidrógeno.
3	25. Materiales. Nuevos materiales estructurales (composites). Disminución de tara.
3	26. Mantenimiento. Desarrollo de una técnica de diagnóstico innovadora basada en modelos de Regresión Armónica Dinámica (DHR en inglés) que explota el análisis espectral en vibraciones y ruido. Se aplicará al diagnóstico de rodamientos.
3	27. Seguridad pasiva. Diseño de interiores: normativa, estudios de comportamiento de viajeros, criterios de daño, evacuación, escenarios de impacto, sistemas de retención de pasajeros, simulación, materiales, ensayo, fuego.
3	28. Seguridad en el material móvil.
3	29. Accesibilidad integral. Desarrollo de normativa.
3	30. Accesibilidad integral. Nuevas técnicas, metodologías y tecnologías que mejoren la accesibilidad (Diseño universal).
3	31. Rendimiento humano y aplicabilidad de la tecnología. Diseño del puesto de trabajo. Análisis de riesgos laborales.
3	32. Rendimiento humano y aplicabilidad de la tecnología. Necesidades de los maquinistas, diseño de tableros de instrumentos, diseño del puesto de trabajo, carga mental derivados de la sobrecarga de información de los sistemas actuales y futuros.
3	33. Rendimiento humano y aplicabilidad de la tecnología. Análisis e investigación de errores humanos.
3	34. Rendimiento humano y aplicabilidad de la tecnología. Conciencia situacional. Carga cognitiva. Efecto de las nuevas tecnologías sobre la percepción del riesgo y los estados de alerta.
3	35. Metodologías/herramientas y equipos de conducción. Simuladores de entrenamiento para validación de la interacción HMI.
3	36. Metodologías/herramientas y equipos de conducción. Detección automática de errores de comunicación.
4	37. Vía en placa para líneas urbanas.
4	38. Materiales con propiedades específicas. Nuevos productos (cables, perfiles metálicos, hormigones especiales, utillajes, puertas con ventajas competitivas, depósitos, WC, medidores, sistema de vacío, aire acondicionado, catenaria, grifas).
5	39. Automatización de la operación. Sistemas de automatización y ayuda a la operación de tráfico y gestión de incidencias de circulación. Replanificación de horarios en tiempo real.

8. Priorización de líneas de investigación

Área	Líneas de prioridad 1
5	40. Automatización de la operación. Definición funcional y modelo operativo de una línea de metro sin conductor. Adaptación de una línea antigua. Análisis de las diferentes soluciones en función de los requerimientos funcionales pedidos. Análisis de coste-beneficio y elección del modelo operativo de las diferentes alternativas.
5	41. Automatización de la operación. Certificación de una línea de metro con conducción automática sin conductor. Realización del análisis de riesgos, tanto a nivel de los distintos subsistemas como del sistema global a lo largo de las diferentes fases del proyecto para la elaboración de unos planes de seguridad de elementos críticos, procedimientos de operación, mantenimiento, pruebas de recepción y marcha en blanco que garanticen la seguridad integral del sistema.
5	42. Información al viajero. Sistema integral de información de servicios integrando la oferta teórica, las incidencias en tiempo real, los intermodos, servicios alternativos, etc., aprovechando el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas y plataformas embarcadas.
5	43. Eficiencia energética. Aplicaciones para la operación de tráfico con criterios de ahorro energético: diseño óptimo de marchas, conducción económica, diseño de horarios, aprovechamiento del frenado regenerativo.
5	44. Comunicación Tren-Tierra. Arquitectura de comunicaciones que asegure la conectividad del material móvil con la red de operación y gestión de la empresa, a fin de potenciar las prestaciones de los sistemas embarcados como repositorios y fuentes de información para operación y mantenimiento.
5	45. RAMS y Normativa CENELEC. Aplicación de la norma en el diseño de sistemas ferroviarios.
5	46. Señalización, sistemas de protección al tren y telecomunicaciones. Sistemas de seguimiento y protección.
5	47. Instalaciones auxiliares y de seguridad (incluye security). Sistemas de detección y vigilancia.
5	48. Integración del factor humano en la seguridad. Diseño, construcción y gestión de sistemas que tengan en cuenta el impacto de los factores humanos.
5	49. Integración del factor humano en la seguridad. Situaciones degradadas.
5	50. Gestión en la seguridad. Investigación y respuesta ante accidentes, incidentes y cuasi-accidentes.
5	51. Gestión en la seguridad. Intervención en el proceso de aplicación de la Directiva de Seguridad Ferroviaria.
5	52. Gestión en la seguridad. Diseño de sistemas.
6	53. Estudio de optimización integrada de componentes-infraestructura/vía/trenes- para garantizar las adecuadas condiciones de explotación en líneas de alta velocidad con coste de mantenimiento equilibrados.
6	54. Introducción de nuevas características estructurales para garantizar un apropiado comportamiento de puentes y viaductos en líneas de alta velocidad limitando, a su vez, las necesidades de mantenimiento.
6	55. Introducción de mejoras en el binomio infraestructura-vehículos para facilitar la circulación de trenes de mercancías en líneas modernas de altas prestaciones.

Área	Líneas de prioridad 2
1	1. Formas de explotación de la infraestructura. Estudio económico del mantenimiento de vías y elementos relacionados. Diseño de políticas de mantenimiento.
1	2. Desarrollo de técnicas hacia la sostenibilidad energética y medioambiental. Reducción de ruidos y vibraciones.
1	3. Desarrollo de técnicas hacia la sostenibilidad energética y medioambiental. Restauración ecológica de espacios afectados por la construcción de líneas de ferrocarril.
2	4. Caracterización del entorno electromagnético en la vía.
2	5. Armonización de criterios de acelerado y frenado de trenes.
2	6. Integración del sistema GALILEO en el ERTMS.
2	7. Participación en el desarrollo de un enclavamiento europeo con especificaciones comunes y adaptadas al ERTMS.
3	8. Trenes de ancho variable para $V \geq 300$ km/h.
3	9. Ruido y vibraciones. Calidad acústica, confort acústico. Evaluación del nivel de molestia de los pasajeros en el interior de material rodante metropolitano.
3	10. Materiales. Fuego-humo.
3	11. Energía y captación de energía. Sistema de alimentación por suelo (APS).
3	12. Ahorro energético en el material móvil.
3	13. Seguridad pasiva. Base de datos de accidentes.
3	14. Materiales. Ecodiseño.
3	15. Tracción y freno. Sistema de alerta de emisión de armónicos.
3	16. Elaboración de modelos generales para el análisis del comportamiento futuro de los datos que permita predecir el instante en el que se desarrollan anomalías en los equipos críticos de las plantas industriales. Comparación de diversas metodologías.
3	17. Energía y Captación de energía. Sistemas híbridos.
3	18. Seguridad pasiva. Reconstrucción de accidentes
3	19. Mantenimiento. Establecimiento de correlación entre las técnicas de diagnóstico cuantitativas con adquisición de datos en continuo y las que emplean sistemas portátiles.
3	20. Rendimiento humano y aplicabilidad de la tecnología. Vibroacústica.
3	21. Rendimiento humano y aplicabilidad de la tecnología. Supervisión dinámica del conductor en tiempo real.
3	22. Rendimiento humano y aplicabilidad de la tecnología. Sistema de registro de la actividad humana.
4	23. Nuevos materiales. Reciclados de balasto, y para el balasto.
4	24. Rentabilidad en procesos productivos (soldadura, corte láser).

8. Priorización de líneas de investigación

Área	Líneas de prioridad 2
5	25. Automatización de la operación. Identificación y localización de material rodante utilizando distintas tecnologías, y la integración de estos datos para cumplir los requisitos de seguridad de distintos sistemas de seguimiento de tráfico. Identificación positiva. Seguimiento en tiempo real.
5	26. Venta y control de accesos. Definición de sistemas de peaje y billete único para diferentes medios de transporte, capaces de implementar políticas tarifarias complejas, como tarifa por nivel de uso.
5	27. Eficiencia energética. Planificación de las necesidades energéticas en base a planificación de trenes.
5.	28. Medidas de calidad. Aplicaciones que generen medidas de calidad a partir de sistemas de conteo y /o peajes y la circulación de trenes, válidos tanto para explotaciones con horario ofertado como por intervalo ofertado.
5	29. RAMS y Normativa CENELEC. Estado de la norma.
5	30. Señalización, sistemas de protección al tren y telecomunicaciones. Sistemas de apoyo a la decisión en tiempo real en los diferentes modos del sistema.
5	31. Señalización, sistemas de protección al tren y telecomunicaciones. Diseño y aplicación de medidas de seguridad en pasos a nivel.
5	32. Señalización, sistemas de protección al tren y telecomunicaciones. Sistemas de simulación para la formación.
5	33. Instalaciones auxiliares y de seguridad (incluye security). Sistemas de comunicaciones.
5	34. Integración del factor humano en la seguridad. Medidas de intervención en seguridad.
5	35. Sistemas de emergencia y ayuda a la evacuación.
5	36. Homologación con otros sistemas europeos y modos de transporte. Transferencia tecnológica entre distintos dominios y modos de transporte.
5	37. Homologación con otros sistemas europeos y modos de transporte. Sistemas de gestión del fallo humano con criterios europeos.
5	38. Homologación con otros sistemas europeos y modos de transporte. Definición intersectorial de métodos, herramientas y componentes.

Área	Líneas de prioridad 3
2	1. Desarrollo del nivel 3 de ERTMS o híbrido.
2	2. Nuevos sistemas de comunicación aplicados al ERTMS.
3	3. Dinámica ferroviaria. Mejorar la modelización de la interacción vehículo-vía.
3	4. Mantenimiento. Establecer correlación entre las técnicas de diagnóstico basadas en análisis de vibraciones con otra información predictiva (procedente de análisis de ruido) y de procesos.
3	5. Mantenimiento. Incorporación, en un único sistema de diagnóstico, de la información procedente de técnicas de diagnóstico cuantitativas y cualitativas.
3	6. Mantenimiento. Realización de un software, con un entorno fácil de usar, que implemente estas técnicas de forma que la complejidad se reduzca y pueda ser utilizado por operarios con cierta instrucción en plantas industriales reales.
3	7. Confort en el material móvil. Materiales antirruído y vibración. Suspensiones activas "inteligentes".
3	8. Rendimiento humano y aplicabilidad de la tecnología. Nuevos materiales (incremento temperatura en la interfase usuario-asiento o un soporte excesivamente duro).
3	9. Emergencia y evacuación. Influencia de los interfaces en la gestión de crisis y emergencia.
3	10. Emergencia y evacuación. Sistemas de información que faciliten la evacuación.
3	11. Comunicación tren - exterior.
3	12. Entretenimiento a bordo.
4	13. Análisis de ruido y vibraciones asociados a la superestructura y vía.
5	14. Planificación y demanda. Aplicación que evalúe la demanda diaria en base a los datos de la matriz de cargas de los sistemas de conteo (fijos o embarcados), y propongan capacidades de oferta por franja horaria y tipo de material, según los compromisos de calidad ofertados.
5	15. Programación de la operación. Aplicaciones para la programación automática de turnos de material y personal.
5	16. Venta y control de accesos. Sistemas automáticos de evaluación y gestión del nivel de fraude, mediante comparación de la carga real de cada servicio y la información del sistema de venta y cancelación.
5	17. Medidas de calidad. Aplicaciones informáticas que integren de forma automática los datos de la matriz de cargas de los sistemas de conteo y la información de paso real de las circulaciones.
5	18. Instalaciones auxiliares y de seguridad (incluye security). Seguridad contra incendios.
5	19. Protección de trabajadores (seguridad laboral). Nuevos sistemas de gestión de seguridad laboral.
6	20. Estudios para establecer criterios de diseño y construcción orientados a mejorar las características y el comportamiento a largo plazo de diferentes componentes de la infraestructura.
6	21. Desarrollo de nuevos métodos de cálculo y diseño orientados a optimizar el equilibrio coste/explotación/mantenimiento en túneles para líneas de alta velocidad.
6	22. Desarrollo de métodos avanzados de modelización y cálculo de fenómenos vibratorios relacionados con la infraestructura.

8. Priorización de líneas de investigación

Área	Líneas de prioridad 4
3	1. Ruido y vibraciones. Control activo aplicado a la dinámica ferroviaria: bogies activos; pantógrafo/catenaria activa. Desarrollo de una metodología para simulación de dinámica ferroviaria enfocado a la reducción de las vibraciones por control activo empleando software comercial. Caracterización de los inputs vibratorios y predicción de respuesta frente a tramos en mal estado, peraltes, cambios de vía a velocidad elevada, etc. y posibilidad de implementar control activo de vibración.
3	2. Dinámica ferroviaria. Mejorar los métodos de simulación.
3	3. Dinámica ferroviaria. Mejorar la simulación por ordenador.
3	4. Energía y captación de energía. Superconductores-Levitación magnética.
3	5. Energía y captación de energía. Biogás.
3	6. Dinámica ferroviaria. Mejorar la dinámica de la ingeniería del vehículo ferroviario.
3	7. Fiabilidad y mantenibilidad en el material móvil. Sistemas redundantes. Simplificación de los sistemas de tracción.
3	8. Homologación.
4	9. Nuevos procedimientos constructivos (construcción sostenible, aplicaciones tecnológicas avanzadas).
5	10. Planificación y demanda. Sistema de estimación de origen en tiempo real.
5	11. Programación de la operación. Aplicación que optimice la asignación de turnos de material en función de criterios y restricciones del mantenimiento, así como la capacidad de trabajo en talleres.
5	12. Programación de la operación. Aplicación para el diseño óptimo de los horarios de trenes para cubrir la capacidad ofertada por franja horaria. Integración de datos de planificación horaria con los sistemas de explotación en tiempo real incluyendo información al viajero.
5	13. Programación de la operación. Intermodalidad: planificación en estaciones intermodales parcialmente resuelta en aviación civil.
5	14. Automatización de la operación. Sistema dinámico de automatización de itinerarios en las playas de vías de talleres y depósitos, en base a la asignación de turnos de material, plan de lavado y programación de intervención de mantenimiento.
5	15. Venta y control de accesos. Pago a través de móvil.
5	16. Señalización, sistemas de protección al tren y telecomunicaciones. Sistemas de comunicaciones.
5	17. Gestión de la seguridad. Análisis del papel de la organización en la seguridad en el transporte por ferrocarril.





9. Catálogo de proyectos para la implementación de las líneas de investigación

La priorización empleada refleja su clasificación en tres horizontes temporales:

- Corto plazo (2008-2010)
- Medio plazo (2011-2019)
- Largo plazo (2020)

En una primera aproximación se han seleccionado los proyectos que deberían emprenderse para el desarrollo de las líneas de investigación. La concreción, valoración, desarrollo de contenidos y metodología de estos proyectos será objeto de los documentos de desarrollo de esta Agenda y de los trabajos de la PTFE.

9. Catálogo de proyectos para la implementación de las líneas de investigación

Área	Proyectos a realizar a corto plazo 2008-2010
1	1. Estudio de los puntos críticos encontrados en los procesos de certificación de los componentes y subsistemas, proponiendo los procedimientos y métodos de trabajo que resuelvan los puntos críticos.
1	2. Análisis de las normativas de seguridad de España y países fronterizos, determinando requerimientos comunes y diferencias existentes.
1	3. Definición y estandarización de los planes de seguridad aplicables al transporte ferroviario, tanto convencional como de alta velocidad y transporte urbano.
1	4. Análisis intermodal de consumos energéticos y de emisiones en el transporte.
1	5. Impacto energético del entorno ferroviario.
1	6. Optimización del aprovechamiento de la energía cinética y de la energía potencial de los trenes, mediante la utilización del freno regenerativo como fuente de energía alternativa.
1	7. Estudio económico del mantenimiento de vías y elementos relacionados. Diseño de políticas de mantenimiento.
1	8. Tarifación por el uso de la infraestructura ferroviaria. Ayuda a toma de decisiones.
1	9. Optimización de la gestión y operación de la infraestructura en la que conviven redes convencionales y de alta velocidad. Incorporación de criterios de mantenimiento a la explotación.
1	10. Estudios de la competencia (y colaboración) transporte ferroviario de personas y de mercancías con otros modos de transporte. Configuración de cadenas logísticas.
1	11. Desarrollo de nuevos modelos de financiación: enfoque económico y jurídico.
1	12. Competencia entre operadores en el transporte de viajeros en España. Análisis de experiencias previas en el Sector de transportes.
1	13. Competitividad del transporte de mercancías. Análisis de experiencias previas en el Sector de transportes.
1	14. Estudio de las fortalezas y debilidades de las líneas de alta velocidad de tráfico mixto. Diseño de formas de explotación de la red que integren líneas de alta velocidad y convencionales. Nuevos usos de la infraestructura.
1	15. Implantación de los diferentes tipos de energías renovables existentes en la actualidad en las infraestructuras ferroviarias.
1	16. Reforma de las obligaciones de servicio público (OSP) en el ferrocarril. Traspaso de competencias a las Comunidades Autónomas.
1	17. Información y necesidades estadísticas. Identificación de la información útil en el marco competitivo. Tratamiento. Desarrollo a nivel europeo y nacional.
1	18. Homogeneización de variables críticas relevantes para la planificación. Desarrollo de metodologías de valoración.
1	19. Definición de indicadores de servicio para pasajeros y para mercancías en un contexto multi-operador.
2	20. Creación y/o consolidación de un laboratorio de ensayos de referencia ERTMS.
2	21. Caracterización del entorno electromagnético en la vía.

Área	Proyectos a realizar a corto plazo 2008-2010
2	22. Armonización de criterios de acelerado y frenado de trenes.
2	23. Creación de un tramo e instalaciones "ad hoc" para la simulación y validación de elementos y conjuntos del sistema ferroviario, así como la calibración de modelos.
3	24. Desarrollo de sistemas CBR de mantenimiento correctivo basado en el histórico de fallos, en las experiencias de los diagnósticos realizados, en las soluciones correctivas adaptadas, y en el entorno operativo en el que se han producido fallos.
3	25. Investigación y desarrollo de útiles y herramientas portátiles, que permitan diagnosticar el estado de los diferentes sistemas del tren en vía y sin necesidad de ocupar el taller de mantenimiento.
3	26. Tranvía sin catenaria o catenaria limitada, mediante almacenamiento (supercondensadores, volante de inercia o baterías).
3	27. Modelado y simulación por ordenador del comportamiento de materiales de interiorismo de trenes en los distintos modos de incendio. Ensayo de fuego para validación a escala real en trenes de pasajeros de alta velocidad.
3	28. Desarrollo de sistemas de tracción con un número muy reducido de semiconductores de tensiones más elevadas.
3	29. Proyecto de sensorización de vehículo automotor (tipo Metro) para análisis predictivo.
3	30. Estudio ergonómico de un vehículo ferroviario.
3	31. Diseño ergonómico de una cabina de conducción.
3	32. Estudio integral de accesibilidad al ferrocarril de personas con movilidad reducida.
3	33. Criterios para un prototipo de entrenamiento avanzado que mejore la seguridad en la evacuación de personas incluyendo aspectos de accesibilidad.
3	34. Desarrollo de sistemas lógicos expertos y redes neuronales en el mantenimiento ferroviario, posibles aplicaciones.
3	35. Influencia del entorno operativo y de los cambios climáticos en el comportamiento y mantenimiento de los distintos componentes ferroviarios.
3	36. Estudio del comportamiento en servicio de componentes para determinar posibles ensayos de fatiga para homologación en laboratorio.
3	37. Sistemas de rotación independientes de rueda: guiado activo.
3	38. Establecimiento de mapas de ruido, vibraciones y temperaturas en el interior del tren y posibles actuaciones de mejora.
3	39. Prototipo de "sistema+vehículo" de conducción automática, sin conductor ni agente (UTO), con CBTC, totalmente de diseño y fabricación española.
4	40. Tolerancias geométricas en tranvías.
4	41. Cambiador de ancho universal. Desarrollo de prototipos y ensayos de validación de un cambiador de ancho válido para cualquier otro tipo de vehículo ferroviario con ejes de ancho variable.

9. Catálogo de proyectos para la implementación de las líneas de investigación

Área	Proyectos a realizar a corto plazo 2008-2010
5	42. Seguridad de las infraestructuras ferroviarias frente a ataques intencionados o desastres naturales.
5	43. Integración de datos y su análisis para mejora de la seguridad. Desarrollo de sensores específicos y de líneas de comunicación robustas.
5	<p>44. Entorno de desarrollo integrado compuesto por metodología y set de herramientas para el diseño/síntesis/ verificación y certificación incremental de sistemas SW/ HW y efecto de los factores humanos sobre la RAMS del sistema, en base a las normas CENELEC, EN 50126-1, EN 50126-2, EN 50126-3, EN 50128 y EN 50129. Aplicación a material rodante, sistemas de seguridad y auxiliares y sistemas de gestión de la seguridad.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis crítico y constructivo de la norma EC-50128 y propuestas para la mejora de los índices RAMS para el software. Alineamiento con nueva versión IEC 61508-3 Ed 2.0. • Definición de una metodología de soporte al proceso de producción HW/SW. • Entorno open-source de co-diseño HW/SW basado en modelos: <ul style="list-style-type: none"> – Cobertura de distintos niveles de integración, desde sistemas heterogéneos distribuidos (SoS) a dispositivos (SoC). – Soporte a las distintas actividades de diseño, especificación, codiseño, cosimulación, exploración del espacio arquitectónico y síntesis de sistema. – Técnicas de reutilización a distintos niveles de abstracción. – Generación de código C//VHDL certificado. • Elaboración de un procedimiento claro y preciso para la comprobación del cumplimiento de las normas CENELEC para la gestión RAMS. • Metodología y set de herramientas de soporte a la identificación y gestión de los factores humanos a lo largo del ciclo de vida. Análisis del posible impacto de los factores humanos sobre la RAMS ferroviaria dentro de las fases de diseño, desarrollo del sistema, operación y mantenimiento del mismo: <ul style="list-style-type: none"> – Técnicas de verificación de la interfaz “persona-máquina-organización”, que comprueben los diferentes tipos de error humano .
5	45. Desarrollo de nuevos sistemas de seguridad y detección de posibles actividades terroristas basados en visión/inteligencia artificial: biometría, reconocimiento gestual.
5	46. Sistema de reconocimiento facial en entornos abiertos para usos de videovigilancia.
5	47. Sistemas para la predicción de errores humanos desde una óptica integral que incluya la simulación para el entrenamiento, investigación y predicción.
5	<p>48. Sistema de seguridad integral para alta velocidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vigilancia discreta y aleatoria de la infraestructura mediante robots con sensores inteligentes montados en micro vehículos aéreos. • Detección de individuos por identificación frente a una base de datos, mediante análisis facial y biométrico. Visión 3D. • Identificación de conductas sospechosas por cámara de infrarrojos y visible. Análisis gestual. • Detección de objetos y personas sobre la infraestructura, a larga distancia, utilizando en láser y radar.
5	<p>49. Sistema de seguridad integral en transporte masivo de pasajeros (Metro-Cercanías):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Detección de individuos por identificación frente a una base de datos, mediante análisis facial y biométrico. Visión 3D.

Área	Proyectos a realizar a corto plazo 2008-2010
	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación combinada (visible + infrarrojo térmico) de actitudes y vestimentas sospechosas, sistema de seguimiento por vídeo-vigilancia y análisis de respuesta a estímulos específicos. • Auscultación continua de la infraestructura y vehículo por técnicas ópticas (interferometría láser, infrarrojo, imagen visible 3D).
5	<p>50. Sistema de seguridad integral en transporte de mercancías por ferrocarril:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Detección de fugas por láser y LIDAR. • Control de gálibos mediante pórticos ópticos. • Vigilancia discreta (por infrarrojo térmico) de áreas restringidas, almacenes...Seguimiento de individuos y conductas sospechosas. • Detección de puntos calientes. Prevención y lucha contra incendios.
5	51. Ensayos a media escala del movimiento de humos en caso de incendio en grandes atrios de estaciones ferroviarias.
5	52. Modelado del comportamiento y conducta humana en caso de emergencia en túneles ferroviarios.
5	53. Modelado y simulación computacional de la respuesta estructural de infraestructuras ferroviarias en caso de incendio.
5	54. Ensayos a pequeña escala del comportamiento al fuego de materiales en trenes de pasajeros.
5	55. Desarrollo de una metodología de diseño para sistemas eléctricos, electrónicos y mecánicos orientados a cumplir especificaciones RAMS.
5	56. Desarrollo de procedimientos de diseño de software para aplicaciones ferroviarias que permitan cuantificar la fiabilidad del mismo.
5	57. Desarrollo de herramientas educativas para la formación de los usuarios.
5	58. Estudio de ampliación de la tabla A.15 del anexo A de la norma EN 50128:2001 para la introducción de nuevos lenguajes de programación para equipos de seguridad ferroviarios.
5	59. Integración de diferentes telemandos de tráfico y otros servicios como CCTV, en puestos de mando de metropolitanos: normalización de protocolos, datos, sinópticos y órdenes.
5	<p>60. Definición de los futuros puestos de mando de explotaciones ferroviarias, marcando premisas genéricas en factores: ergonómicos, operativos, funcionales y tecnológicos comunes a los diferente tipos de explotaciones, en sus diferentes niveles:</p> <ul style="list-style-type: none"> • De integración multidisciplinar (tráfico, estaciones, seguridad, energía). • Información para minimizar el impacto en factor humano: fatiga y estrés en la gestión de incidencias. • De ayuda a la prevención o detección en tiempo real de errores humanos durante la explotación en los actores implicados. • De herramientas de ayuda a la toma de decisión sobre explotación (y otras específicas en función de la casuística de cada explotación).
5	61. Sistema de localización de trenes en metropolitanos (sin cobertura GPS), por integración de seguimiento de circuitos de vía, radiolocalización, balizas de radiofrecuencia, etc.
5	62. Sistema automático de registro, comunicación a tierra y tratamiento de información operacional del tren de datos de conducción y consumo energético de trenes en ferrocarriles metropolitanos, orientados a aplicaciones para el análisis de la conducción, evaluación de la eficiencia energética, facturación y mantenimiento.

9. Catálogo de proyectos para la implementación de las líneas de investigación

Área	Proyectos a realizar a corto plazo 2008-2010
5	63. Sistema integrado de gestión de la información al viajero con generación automática de mensajes en distintas plataformas como teleindicadores de estación y embarcados, envío de mensajes SMS a usuarios e información de la incidencia al propio personal técnico.
5	64. Desarrollo de tarjeta inteligente sin contacto de bajo coste para el transporte público y que cumpla con los requisitos de seguridad del sistema.
5	65. Desarrollo estándar de un conjunto RFID chip + antena de proximidad, como soporte para el pago electrónico, para incorporar en objetos personales tales como teléfonos móviles, llaveros, PDA´s.
5	66. Definición funcional y del modelo operativo de una línea de metro sin conductor: estudio de alternativas, análisis coste-beneficio y automatización de líneas convencionales en servicio.
5	67. Definición del proceso de certificación de una línea de metro automática sin conductor: análisis de riesgos y elaboración de los planes de seguridad de subsistemas y de los procedimientos de operación, mantenimiento y recepción que garanticen la seguridad integral del sistema.
6	68. Estudio de los criterios para establecer los valores de los parámetros geométricos del trazado para reducir los tiempos de viaje en líneas de alta velocidad mediante el empleo de técnicas de inclinación de cajas en vehículos ferroviarios.
6	69. Estudio de los nuevos fenómenos relacionados con la flexibilidad transversal que surge al circular composiciones a alta velocidad sobre viaductos de dimensiones singulares y planteamiento de los criterios de diseño apropiados.
6	70. Estudio integrado-infraestructura/vía/vehículos- de la rigidez de la vía como parámetro determinante del equilibrio calidad de la rodadura/costes de mantenimiento en líneas operadoras a alta velocidad, con el objetivo de establecer la relación entre la variación de rigidez de la vía y los costes de su mantenimiento.
6	71. Desarrollo de criterios de diseño de los diferentes subsistemas- infraestructura, vía...- orientados a minimizar los costes de mantenimiento, con el objetivo de optimizar el diseño de los subsistemas en sí mismos y de modo integrado con el resto para alcanzar una eficiencia mayor en el comportamiento a largo plazo.
6	72. Introducción de nuevos criterios en la interacción vehículo-vía para la explotación de la línea a velocidades superiores a los 300 Km/h.
6	73. Desarrollo de criterios para sistematizar el comportamiento integrado vía-vehículo mediante el estudio combinado de los rangos de valores de los parámetros rigidez de vía y amortiguamiento de trenes.
6	74. Adaptación de la normativa europea a las particularidades de la vía de ancho ibérico en el ámbito de la interacción vehículo-vía.
6	75. Evolución de criterios de diseño de estructuras considerando nuevos fenómenos dinámicos- incluido resonancia- y la interacción con la vía para líneas ferroviarias con velocidades crecientes, con el objetivo de introducir mejoras en el diseño de estructuras considerando efectos dinámicos, buenas condiciones para su mantenimiento y buen comportamiento del fenómeno de interacción vía tablero.
6	76. Establecimiento de criterios sistematizados de diseño de apoyos de tableros en estructuras de líneas ferroviarias implantadas en zonas sísmicas.
6	77. Desarrollo de nuevas metodologías simplificadas de cálculo para la consideración de fenómenos sísmicos en el diseño de estructuras.
6	78. Estudio de mejoras a introducir en el diseño de infraestructuras y vehículos para facilitar la compatibilidad entre

Área	Proyectos a realizar a corto plazo 2008-2010
	<p>circulaciones de viajeros y de mercancías en líneas de altas prestaciones en términos de explotación eficiente, con el objetivo de definir medidas que faciliten la compatibilidad entre trenes de viajeros y mercancías en líneas de altas prestaciones en condiciones de eficiencia de explotación y exigencias de mantenimiento equilibradas.</p>
6	79. Introducción de nuevos criterios de diseño de plataformas ferroviarias para optimizar su capacidad portante a largo plazo considerado el conjunto de su ciclo de vida útil.
6	80. Establecimiento de criterios de evaluación de idoneidad y de diseño de capas de forma y plataforma para el empleo de nuevos materiales en líneas de alta velocidad.
6	81. Desarrollo de nuevas metodologías de seguimiento y control de obras de tierra para plataformas de alta velocidad con el objetivo de optimizar las características de su capacidad portante.
6	82. Estudio de fenómenos dinámicos en la interacción vehículo-vía en el rango de la "muy alta velocidad" relacionados con la geometría del trazado, con el objetivo de identificar las condiciones que regulan el incremento de velocidad por encima de los 300 km/h en términos de estabilidad de la superestructura y de confortabilidad para los viajeros.

9. Catálogo de proyectos para la implementación de las líneas de investigación

Área	Proyectos a realizar a medio plazo 2011-2019
1	1. Modelización y simulación de procesos sustitutivos de ensayos en vía, de forma que se reduzcan costes y plazos en los procesos de homologación y certificación.
1	2. Definir metodologías de trabajo encaminadas a mejorar los procesos de evaluación de la conformidad, reduciendo costes y tiempos.
1	3. Reducción de ruidos y vibraciones.
1	4. Restauración ecológica de espacios afectados por la construcción de líneas de ferrocarril.
2	5. Métodos formales aplicados a la interoperabilidad y el ERTMS: discrepancias entre versiones ERTMS y compatibilidad entre componentes.
2	6. Integración del sistema GALILEO en el ERTMS.
2	7. Participación en el desarrollo de un enclavamiento europeo con especificaciones comunes y adaptadas al ERTMS.
3	8. Investigación y elaboración de bases de datos y gráficos de fiabilidad de los componentes ferroviarios.
3	9. Investigación y desarrollo de técnicas y protocolos lógicos que permitan reproducir y localizar fallos transitorios.
3	10. Caja de material composite para tranvía o metro, integrando soluciones de absorción, elementos de choque, etc.
3	11. Bogie con motores integrados en eje, sin reductores.
3	12. Vehículo urbano (tranvía o metro) con extinción de incendios innovadora (ligera y poco volumen).
3	13. Desarrollo de un sistema de cambio de ancho de rodadura para velocidades superiores a 250 km/h.
3	14. Desarrollo de sistemas de información en interior y exterior de trenes facilitadores de una posible evacuación de emergencia.
3	15. Desarrollo de un sistema de detección del descarrilamiento de un vehículo.
3	16. Desarrollo y optimización de sistema de freno independiente de la TFA.
3	17. Diseño aerodinámico de un tren desde el punto de vista de la infraestructura: levantamiento del balasto.
3	18. Desarrollo de un sistema de suspensión activa para trenes dotados de sistema de cambio de ancho de vía.
3	19. Modelización teórica del contacto rueda-carril en 3D, para su incorporación a modelos de simulación dinámica.
3	20. Desarrollo de un sistema de gestión de la energía.
3	21. Desarrollo de un pantógrafo activo para alta velocidad.
3	22. Umbrales de corrientes armónicas, a cada una de las frecuencias de relés de vía.
3	23. Eficiencia energética en sistemas de tracción.
3	24. Optimización aerodinámica de los trenes de alta velocidad.

Área	Proyectos a realizar a medio plazo 2011-2019
3	25. Desarrollo de un sistema eficiente para minimización de las ondas de presión dentro de los vehículos.
3	26. Diseño de un sistema de sensorización a bordo que permita el seguimiento y posibles correcciones de fallos durante la circulación.
3	27. Desarrollo de un sistema de alertas de emisión de niveles excesivo de ruido y vibraciones.
3	28. Desarrollo de un bogie de mercancías de altas prestaciones.
3	29. Desarrollo de vehículos "silenciosos" a altas velocidades: diseño de ruedas silenciosas, control activo del ruido, optimización vibracional de los equipos de abordo.
3	30. Desarrollo y aplicación de materiales antirruído y antivibraciones en estructura e interiorismo de vehículos ferroviarios.
3	31. Desarrollo de sistemas de comunicación sin conexión eléctrica para información y entretenimiento a bordo.
3	32. Monitorización avanzada de sistemas aplicables a esfuerzos pantógrafo - catenaria, temperatura en discos de freno, temperaturas en conexiones, etc.
4	33. Análisis de la rentabilidad del reciclaje in situ de los materiales de vía en balasto para su utilización en la renovación de dicha vía por otra en placa con losas prefabricadas en parque.
4	34. Optimización dinámica de componente de vía para retardo de la aparición de corrugación.
5	35. Desarrollo de estrategias y metodologías de diseño de sistemas electrónicos orientados hacia la seguridad.
5	36. Diseño de sistemas de seguridad ferroviarios basados en redes probabilísticas (redes bayesianas -diagnóstico-, diagramas de influencia y árboles de decisión -decisión-, algoritmos genéticos).
5	37. Demostración de los desarrollos a corto en su aplicación a la seguridad (security) ferroviaria.
5	38. Sistema de apoyo a la planificación dinámica de servicios. Sensorización avanzada, comunicaciones inalámbricas y apoyo a la decisión (data fusion, operation research e IA).
5	39. Ensayos de fuego a escala real en trenes metropolitanos.
5	40. Sistema automatizado para la toma de decisiones en caso de emergencia mediante modelado y simulación computacional.
5	41. Desarrollo de un contrato de servicio de transporte local, que permita el pago mensual y que considere variables de uso como la frecuencia y tipo del servicio utilizado.
5	42. Desarrollo de un entorno integrado de simulación del tráfico ferroviario, trenes y de los sistemas de supervisión y control, que permita el ensayo y análisis de nuevos sistemas de control, nuevos planes de explotación, análisis de incidencias, consumo energético, planificación de recursos humanos etc., y sirva de plataforma integrada de formación de operadores de tráfico y maquinistas. Este entorno debería mejorar la eficacia de la implantación de nuevos sistemas (y modificaciones de los mismos), planes de explotación y formación.
6	43. Desarrollo de criterios para seleccionar tipologías estructurales que optimicen la secuencia diseño - construcción - explotación - mantenimiento considerando expresamente el comportamiento derivado de su explotación con trenes de alta velocidad. Análisis del comportamiento y mantenimiento de las estructuras existentes.

9. Catálogo de proyectos para la implementación de las líneas de investigación

Área	Proyectos a realizar a medio plazo 2011-2019
6	44. Desarrollo de nuevos métodos para medir con mayor precisión los esfuerzos rueda-carril.
6	45. Estudios encaminados a establecer un nuevo método de sistematización de criterios para seleccionar entre las alternativas de túnel de vía doble o pareja de túneles de vía única en líneas de alta velocidad.
6	46. Introducción de nuevos criterios de diseño para optimizar el comportamiento vehículo-infraestructura en túneles explotados en el futuro con trenes circulando a "muy alta velocidad".
6	47. Caracterización integral y evaluación de consecuencias de la aparición de vibraciones en diferentes componentes de la infraestructura de líneas de alta velocidad.
6	48. Desarrollo de nuevos modelos de simulación y cálculo de vibraciones producidos por la circulación de trenes y transmitidas al entorno por las infraestructuras.
6	49. Estudio de las condiciones de mantenibilidad de puentes, viaductos y estructuras desde la etapa de diseño incluyendo el fenómeno de socavación de pilas en cauces en hipótesis de avenida, con el objetivo de establecer criterios de diseño para optimizar la mantenibilidad.
6	50. Estudio de medidas a introducir en el diseño de infraestructuras y vehículos en el modo de operación para una explotación eficiente de trenes de mercancías en líneas con tramos de pendientes acusadas, con el objetivo de definir innovaciones tecnológicas que faciliten la circulación de trenes pesados de mercancías en líneas con grandes pendientes de modo compatible con niveles de mantenimiento aceptables y condiciones económicas de explotación.
6	51. Establecimiento de nuevas metodologías para elaborar modelos de simulación y cálculo del fenómeno de fatiga para los diferentes componentes que integran la infraestructura de líneas ferroviarias de altas prestaciones.

Área	Proyectos a realizar a largo plazo 2020
2	1. Desarrollo del nivel 3 de ERTMS o híbrido.
2	2. Nuevos sistemas de comunicación aplicados al ERTMS.
3	3. Desarrollo de sistemas redundantes que autoricen la circulación en condiciones degradadas.
3	4. Desarrollo de sistemas de tracción con un nº muy reducido de semiconductores de tensiones más elevadas.
3	5. Automotor/tranvía con hidrógeno o híbrido.
3	6. Proyecto de metropolitano con levitación magnética.
3	7. Estudio de viabilidad de aplicación al Sector Ferroviario de diferentes alternativas energéticas: biogás, hidrógeno, sistemas híbridos.
3	8. Desarrollo de un circuito y laboratorio de ensayos para certificaciones ferroviarias.
3	9. Estudio de viabilidad de un sistema de homologación virtual de vehículos.
5	10. Desarrollo de sistemas de detección automática de actividades sospechosas.

10. Anexo 1: Análisis DAFO

Este análisis DAFO incluye el estudio interno del Sector a través de sus fortalezas y debilidades, junto con las principales amenazas y oportunidades, como factor externo al propio sistema.

DEBILIDADES

Resistencia al cambio.

- ➔ Cultura tradicional y poco receptiva a la innovación que no sea meramente tecnológica, lo que supone reticencias a incorporar cambios provenientes de la investigación que puedan afectar a la organización del Sector Ferroviario.
- ➔ Tendencia a no realizar iniciativas innovadoras hasta que aparece legislación o exigencia concreta, dada la incertidumbre ante las ventajas de las inversiones en I+D+i. Existe la percepción de que innovar es poco rentable y supone un gran coste económico.
- ➔ Resistencia al cambio tecnológico (introducción del mantenimiento predictivo, RCM, etc.).

Dependencia tecnológica del exterior.

- ➔ Dependencia tecnológica del exterior en algunos subsectores y componentes. Se prefiere importar antes que invertir en el futuro, lo que supone una fuerte implantación de tecnología foránea.
- ➔ Insuficiencia de tecnologías propias, lo que dificulta la expansión internacional.
- ➔ Los fabricantes principales son, en su mayoría, multinacionales, por lo que el diseño e innovación tecnológica se realiza en las casas matrices.

Tipología de la estructura industrial inadecuada para la I+D+i.

- ➔ Tamaño pequeño de las empresas constructoras españolas frente a las grandes multinacionales.
- ➔ Dispersión de tecnologías, como consecuencia en la dificultad de unificar criterios, requerimientos, soluciones o esfuerzos entre las empresas del Sector.

Deficiencias y falta de armonización en el ámbito legislativo y normativo.

- ➔ Normativa obsoleta, "miedo" a cambiar lo que ya funciona.
- ➔ Carencia de normativa específica actualizada y extensa de obligado cumplimiento.
 - ➔ Pendientes ETHs.
 - ➔ Escasez de metodologías de evaluación de interfaces y su divulgación y de protocolos sencillos de aplicación.

- Baja estandarización de los componentes y vehículos ferroviarios, muy dependientes de particularidades de cada fabricante o suministrador.
- Diseños específicos para el ancho ibérico que complica su estandarización internacional.
- Falta de experiencia en los procesos de certificación. Excesivo tiempo de certificación.
- Procesos de certificación europeos no totalmente armonizados.
 - Necesidad de armonización de las reglas de ingeniería y funcionalidad en la implantación del ERTMS en diferentes líneas.
 - Ausencia de normativas para la unificación de ratios que permitan la comparación de proyectos.
- Escasa participación en los foros europeos de normalización.
 - Necesidad de mayor presencia técnica española en los grupos europeos de decisión y desarrollo técnico del ERTMS.
- Dificultad en la adaptación del material antiguo a las nuevas normativas.
- Necesidad de un elevado número de pruebas antes de cada puesta en servicio.
- Cultura, tanto de fabricantes como de operadores, no orientada a los nuevos planteamientos europeos del Sector en lo referente a la normativa actual.

Falta de planificación estratégica en I+D.

- Falta de iniciativa por parte de las empresas para conseguir ayudas económicas procedentes de inversiones públicas para investigación, dada la escasa experiencia para acceder y participar en programas europeos de I+D+i.
- Insuficiente coordinación y seguimiento técnico de las administraciones en las acciones de colaboración de I+D+i promovidas por éstas.
- Escaso tejido de I+D+i y falta de sinergias entre las empresas de la industria ferroviaria.
- Desarrollo de nuevas prestaciones sobre bases tecnológicas insuficientemente consolidadas.
- Limitada trayectoria histórica de impulso público a proyectos de I+D+i en el Sector.
- Escasez de fondos públicos destinados a la implantación de actividades de I+D+i en mantenimiento, ergonomía.
- Poca coordinación en materia de I+D entre universidad y empresa.

Infraestructuras insuficientes.

- Falta de centros de ensayo y desarrollo para nuevos materiales o equipos.
- Baja disponibilidad de material rodante para la realización de ensayos de investigación.

Falta de cultura colaborativa entre los agentes implicados.

- Falta de comunicación entre diseñador-integrador-comprador-explotador-usuario.
- Ausencia de foros de conocimiento para el intercambio de experiencias y bases de datos que permitan compartir estudios y facilitar el desarrollo de nuevos productos y proyectos.
- Ausencia de un cuerpo de expertos técnicos en los administradores de infraestructura y los operadores para resolver los conflictos de interoperabilidad.
- Dificultad en la adquisición de tecnología de reparación de productos de última tecnología, principalmente cuando el mantenedor es diferente al fabricante.
- Falta de coordinación entre los centros de mantenimiento para minimizar el tiempo de indisponibilidad del vehículo.
- En aspectos de ergonomía y confort, las preferencias del cliente no se traducen fácilmente en "órdenes" al proveedor por medio del sistema de precios.
- Dificultad técnica para la identificación del origen de los problemas, por ejemplo, en ERTMS ¿problema de la vía o del equipo embarcado?

Falta de visión global para la gestión, explotación y planificación.

- Niveles bajos de fiabilidad de servicio.
- Baja implantación de estrategias de fabricación orientadas al ahorro energético (se excluye el frenado regenerativo).
- Largo proceso de desarrollo de los trenes que impide introducir en tiempo oportuno nuevos dispositivos demandado por los viajeros.
- Coexistencia de los dos anchos de vía.
- Obsolescencia de líneas convencionales frente a las de la alta velocidad.
- Deficiencias operativas en el material móvil (por ejemplo, aumento sustancial de la frecuencia de los trenes).
- No disminución de tiempos en líneas convencionales, que afectan al material de media distancia.
- Dificultad en la gestión y tratamiento de obsolescencias y vandalismo.
- Baja implantación de los servicios embarcados de información al viajero.
- Bajo nivel de compatibilidad entre los sistemas de gestión de tráfico de distintos fabricantes, que dificulta su integración e intercambio.

AMENAZAS

Competencia con empresas extranjeras.

- Las empresas españolas de fabricación de producto en serie y componentes se ven obligadas a competir, por una parte, con productos de alta calidad y diseño avanzado, procedentes de países más desarrollados del centro y norte de Europa, América del Norte, y por otra, con productos de baja calidad y bajo coste fabricados en países en vías de desarrollo, principalmente del sureste asiático. Puede considerarse que falta un tejido empresarial o una red de proveedores fuertes y con capacidad de innovación tecnológica.
- Las empresas españolas, más pequeñas, se ven abocadas a ir a remolque de la competencia.
- Entrada de empresas extranjeras en España ante la insuficiencia de grupos de investigación y empresas especializadas.
- Redes de innovación tecnológica más desarrolladas en países del entorno. Existe un eventual retraso español frente a redes más desarrolladas en otros países de nuestro entorno.

Competencia con otros modos de transporte.

- Competitividad por parte del transporte aéreo y de carretera, por su mayor agilidad en la adaptación a los cambios.
- Líneas aéreas de bajo coste.
- Aumento de la competitividad por parte del transporte por carretera.
- Elevado coste de las tarifas de los servicios ferroviarios.

Competencia con centros de investigación extranjeros.

- Insuficientes grupos de investigación especializados, aumentando la posibilidad de entrada de empresas extranjeras.
- Los centros españoles de investigación, entre los que cabe mencionar los especializados en ergonomía y factores humanos, tienen menos fuerza para competir en Europa debido a los escasos apoyos de la administración, al contrario de lo que sucede en otros países.

Normativa.

- Normativa nacional y europea no consolidada y en continuo ajuste.
- Peculiaridades españolas (funciones nacionales) ignoradas en la normativa europea.
- Productos no certificados, no homologados en Europa.

- Mayor exigencia del mercado europeo de productos certificados y homologados.
- Emisión de certificaciones no basadas en la ejecución de ensayos estándar.
- Dilatación excesiva de plazos de puesta en servicio por la confrontación entre empresas en la resolución de conflictos de interoperabilidad entre ellas.
- Normativa nacional muy intervencionista que dificulta, en gran manera, un desarrollo de los vehículos en tiempo oportuno y los encarece debido a los retrasos en la puesta en servicio.
- Dificultad para adaptarse a una oferta cada vez más diversa y competitiva con nuevas normativas y mayores exigencias medioambientales y de los clientes finales.
- Pre-normas y estudios que derivarán en normas de obligado cumplimiento y alta exigencia tecnológica.
- En relación con temas de mantenimiento un escaso conocimiento de las responsabilidades civiles y penales.

Fragmentación del mercado como consecuencia de la liberalización del Sector.

- Compartimentación del conocimiento en temas de mantenimiento (entrada de nuevas empresas mantenedoras con reducida experiencia).
- Heterogeneidad del mercado (disparidad de requerimientos entre los potenciales clientes).
- Incertidumbres del mercado (rechazo inicial a nuevos productos).

Especificidad del sistema ferroviario español.

- Fragmentación de la red ferroviaria.
- Inadaptación del desarrollo de la red en ancho UIC en necesidades específicas del transporte de mercancías.
- Aumento excesivo de funciones nacionales que dificultan la interoperabilidad.

Marco europeo.

- Divergencia europea hacia la no interoperabilidad por la no "compatibilidad hacia atrás" de las sucesivas versiones de ERTMS, además de una gestión de versiones lenta y compleja.
- Dificultad en la armonización de las peticiones de cambio (change request) de todas las administraciones ferroviarias europeas.
- Poca realimentación entre proyectos reales y los grupos de la ERA (Agencia Ferroviaria Europea) encargados de la migración de las especificaciones.

Otros agentes: medio ambiente, seguridad y calidad.

- Incremento del coste de la energía.
- Globalización de las amenazas terroristas en un Sector muy sensible y de difícil protección.
- Alta sensibilización de los usuarios respecto a la calidad del servicio recibido.

Financiación: Disminución de fondos públicos disponibles y aumento de costes de financiación.

- Pérdida progresiva de los fondos estructurales.
- Menores fondos públicos disponibles en escenarios de desaceleración económica.
- Incremento del coste de la financiación.
- Ausencia de un marco claro que fomente la participación del capital privado en asociaciones público-privadas.

FORTALEZAS

Elevado nivel de desarrollo y consolidación.

- Importancia del ferrocarril en el PEIT.
- Experiencia prolongada en diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras ferroviarias modernas.
- Fuerte tradición nacional en mantenimiento de material ferroviario. Participantes con amplia experiencia, medios y conocimientos contrastados.
- Fidelización de los clientes por parte de los mantenedores, ofreciendo un buen servicio, confianza y añadiendo valor al producto mantenido.
- Elevado nivel de exportación e implantación de empresas nacionales en mercados internacionales, lo que conlleva a la apertura de nuevos horizontes.
- Disponibilidad de sistemas de gestión logística integrada.

Impulso inversor en el Sector Ferroviario.

- Destacado nivel de inversión en los últimos años, de modo sostenido, en infraestructuras ferroviarias modernas, aprovechable también para el mantenimiento del material rodante.
- Desarrollo de un sistema de control de tráfico que se convertirá en el futuro en el estándar mundial.
- Incremento considerable durante los últimos años en inversiones en investigación por parte de las constructoras nacionales.
- Áreas en fase expansiva (alta velocidad, tranvía).
- Nuevas áreas emergentes (vía en placa, materiales reciclados, vía de tres carriles).
- Solvencia actual y buenas perspectivas económicas del tejido productivo.

Tecnologías.

- Preparación técnica de las empresas españolas para ofrecer innovaciones positivas y aportar valor añadido al producto final.
- Elevado nivel de cualificación en tecnologías clásicas de los profesionales del Sector.
- Conocimiento de todas las tecnologías europeas de alta velocidad.
- Visión de futuro por parte de las empresas y profesionales del Sector en la aplicación de tecnologías de vanguardia y servicios innovadores de mantenimiento.
- El papel de España en la interoperabilidad es el de país pionero en el que se está demostrando de forma fehaciente la interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes.

Liberalización y políticas europeas.

- Impulso a la liberalización ferroviaria y creación de un mercado verdadero con múltiples postores.
- Reforzamiento de la competencia.
- Creación de un sistema realmente "abierto" no propietario de las empresas suministradoras.
- El sistema ERTMS evita totalmente la creación de mercados cautivos.

Centros de investigación.

- Existencia de centros privados de investigación.
- Gran adaptación de los centros de investigación a las demandas realizadas por el Sector.
- Enfoque multidisciplinar y alta cualificación de los investigadores.
- Investigadores especializados en la detección de necesidades de los usuarios, que asegura la rentabilidad y usabilidad de los productos.

Percepción social positiva.

- Es considerado como un medio de transporte “verde”, limpio y respetuoso con el medio ambiente.
- Es considerado como un medio de transporte “seguro” y con una elevada seguridad en alta velocidad.
- Puntualidad, al menos potencialmente.
- Tiempos competitivos con el Sector aéreo en distancias hasta 600 km en explotación a alta velocidad.
- Resuelve la movilidad entre las grandes ciudades, y sus estaciones pueden situarse en el centro de la ciudad.
- Bajo coste del ferrocarril para acceder al centro de la ciudad: libre de congestión.

OPORTUNIDADES

Impulso desde las administraciones y desarrollo de actividades de I+d+i.

- Disponibilidad de recursos crecientes e impulso decidido desde las administraciones y organismos públicos en políticas de I+D+i, tanto a nivel nacional como en programas europeos a medio y largo plazo.
- Perspectivas de continuidad de notables niveles de inversión en infraestructuras ferroviarias modernas en los próximos años para la revitalización del Sector.
- Política y modelo ferroviario en plena evolución: liberalización y posible cambio de modelo de gestión.
- Interés de las administraciones nacionales y regionales en el desarrollo del transporte público y, en particular, el desarrollo de nuevas infraestructuras de alta velocidad.
- Planes de construcción de nuevas infraestructuras con dotación presupuestaria.
- Creciente sensibilización política hacia la introducción de tecnologías que mejoren las características de seguridad y sostenibilidad ambiental de los modos de transporte.
- Posibilidad de realizar proyectos e iniciativas que pueden llevarse a cabo, comparado con otros Sectores como la automoción.
- Realización de proyectos innovadores con posibilidades de éxito destacable, pese a la competencia existente.
- Posibilidad de acceder a proyectos internacionales.
- Participación en proyectos europeos relacionados con la interoperabilidad.

- Creación de laboratorios líderes en ERTMS, con capacidad de prestar servicios no sólo en España, sino en toda Europa, así como asistencia técnica a la ERA (Agencia Ferroviaria Europea).

Desarrollo de nuevas tecnologías.

- Gran desarrollo en tecnologías de aplicabilidad al Sector Ferroviario en tecnologías de la información (TIC's), materiales, tecnologías de ancho variable, cartografía, GPS, telecomunicaciones, robótica.
- Desarrollo de herramientas innovadoras (medidor de mensajes de balizas portátil y universal, medidas de compatibilidad LEUs-balizas, herramientas de análisis de los JRU, etc.,) por parte de empresas españolas.
- Identificación de nuevas técnicas innovadoras que permitan una rápida implementación, mejorando el servicio, la operatividad y la fiabilidad de los vehículos.
- Innovación y aplicación de los resultados de las investigaciones a las nuevas empresas, materiales, sistemas y productos ferroviarios.

Globalización del mercado.

- El aumento de los países comunitarios ofrece nuevas oportunidades de negocio, incrementándose el desarrollo de nuevos mercados y nuevos productos (tranvías, metros).
- Gran demanda a corto y medio plazo, dado el crecimiento a nivel nacional e internacional.
- Proyección europea de las empresas mantenedoras.
- Importante posicionamiento nacional en el Sector Ferroviario europeo.
- Oportunidad para las empresas españolas de buscar nichos de negocio específicos en el ámbito de ERTMS, basados en el hecho de ser el país europeo con mayor implantación del mismo, y pudiendo España, en el ámbito de la interoperabilidad, convertirse en el líder europeo.
- Aparición de nuevos operadores, en el marco de la liberalización del Sector.
- Aparición de empresas de alquiler y mantenimiento de material rodante.

Mejora en la totalidad del sistema.

- La posibilidad de ofertar diferentes servicios adicionales al transporte.
- La realización de contratos de mantenimiento de material rodante a más largo plazo.
- Las mejoras en la rentabilidad del mantenimiento del material rodante, y surgimiento de nuevas empresas de mantenimiento.
- Las posibilidades de realizar alianzas estratégicas cliente-mantenedor, que posibilita una mayor participación de los clientes en el servicio, estableciendo relaciones a largo plazo.

- Desarrollo de herramientas específicas que permitan un mayor control del mantenimiento por parte de los administradores de infraestructuras.
- La constante mejora en los estándares de calidad.
- Las posibilidades de participación en la elaboración de normativa no existentes o desfasada.
- La mejora del rendimiento del personal ferroviario, mejora de la productividad, reducción del absentismo, mejora del estado de salud y reducción de la conflictividad laboral.
- El incremento en la confianza de los operadores logísticos.
- La mejora de la seguridad ferroviaria (pasajeros-trabajadores) y su aplicabilidad a otros sistemas de transporte.
- El amplio margen de reducción de los costes de operación mediante estrategias de ahorro energético.
- El incremento del coste de la energía acompañado con la necesidad de mejorar la competitividad invita a reducir el consumo energético.
- Necesidad de reducir las emisiones de CO₂ para cumplir con el pacto de Kioto.
- Necesidad de modernizar las infraestructuras ferroviarias con nuevas tecnologías más sostenibles medioambiental y económicamente.
- La vida media de las infraestructuras es de más de 30 años, se pueden proponer mejoras que se amorticen en menos de 5 años.
- Transporte de mercancías a desarrollar en ancho variable.
- Transporte de mercancías a desarrollar en alta velocidad.
- Impulso de los servicios que sean de competencia de las CC.AA.

Con otros modos de transporte.

- La capacidad del transporte de alta velocidad para competir en desplazamientos medios/altos con el transporte aéreo y de carretera.
- Posibilidad de aprovechar en algún área tecnológica desarrollos ya probados de los Sectores de aeronáutica y automoción.
- La apertura a la competencia del Sector Ferroviario refuerza el interés y la necesidad de múltiples facetas de análisis desde una perspectiva intramodal e intermodal.

Sensibilización social positiva y cambios sociales.

- Incremento elevado del interés social en el transporte colectivo, particularmente de carácter sostenible.

- Incremento de campañas publicitarias par favorecer el uso del transporte público.
- La actual política social favorece la ampliación de la red ferroviaria.
- Incremento en la sensibilidad social hacia ciertos temas: transporte sostenible, seguridad, contaminación (niveles de ruido y vibraciones).
- Sensibilidad de la opinión pública respecto al medio ambiente.
- Imagen social favorable del ferrocarril respecto a otros modos de transporte (carretera, avión).
- Buena recepción y demanda social sostenida de nuevos servicios ferroviarios basados en avances tecnológicos.
- Envejecimiento de la población.
- Aumento de la inmigración.



11. Anexo 2: Organización de la PTFE

11.1. Asamblea

Máximo órgano colegiado formado por las entidades, públicas o privadas, adheridas a la Plataforma y cuya función es orientar y decidir la actuación de la PTFE. Constituida por:

Empresas

1. AAC CENTRO ACÚSTICA APLICADA, S.A.
2. ACT SISTEMAS S,L.
3. ACTIA VIDEO BUS
4. ACÚSTICA Y TELECOMUNICACIONES, ACUSTTEL
5. AEA TECHNOLOGY GLOBAL, S.A.
6. AEPO, S.A. INGENIEROS CONSULTORES
7. AFTRAV
8. AIRTREN, S.L.
9. ALCATEL ESPAÑA, DIVISIÓN AUTOMATIZACIÓN DEL TRANSPORTE
10. ALSTOM
11. ALTRAN TECHNOLOGIES
12. AMETSIS
13. ANDALUZA DE TRAVIESAS
14. ANSALDO
15. ANTRASA
16. APLES
17. ARDANUY INGENIERÍA, S.A.
18. ARTEIXO TELECOM
19. ATENEA, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE, S.A.
20. AUXITEC
21. AYESA
22. BOMBARDIER TRANSPORTATION
23. CETREN
24. COMSA, S.A.

25. CONSTRUCCIONES Y AUXILIAR DE FERROCARRILES, S.A. CAF
26. CONSTRUCCIONES Y PROMOCIONES COPROSA, S.A.
27. CONSULTORIA ALOMON SLU
28. CONTINENTALRAIL, S.A.
29. CSEE TRANSPORT, S.A. (GRUPO ANSALDO SIGNAL N.V.)
30. CTM CENTRE TECNOLOGICO
31. DEIMOS SPACE, S.L.
32. DETEA
33. DIMETRONIC SIGNALS
34. DMR CONSULTING
35. DORSALVE, S.L.
36. EBROTANK, S.L.
37. ECAEF
38. ELECTREN, S.A.
39. ELIOP
40. EMFESA
41. EMTE SISTEMAS S.A.U.
42. ENCLAVAMIENTOS Y SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA ENYSE, S.A.
43. ENERTIKA (GRUPO PROMAUT)
44. EQUIMODAL
45. ETT PROYECTOS, S.L.
46. EUROCONSULT INGENIEROS CONSULTORES Y CONTROL DE CALIDAD
47. EUROESTUDIOS, S.L.
48. EUROPEAN SOFTWARE INSTITUTE
49. EXTRACO (CONSTRUCCIONES Y PROYECTOS, S.A.)
50. F.INICIATIVAS I+D+i, S.L.
51. FCC CONSTRUCCIÓN
52. FERROVIAL AGROMÁN
53. FUNDOSA ACCESIBILIDAD, S.A.

54. GETINSA
55. GMV
56. GOAL SYSTEMS, S.L.
57. GPO INGENIERÍA, S.A.
58. GRUPO ANTOLIN
59. GRUPO ESLAMEX, S.A.
60. GRUPO OHL OBRASCÓN HUARTE LAÍN
61. GRUPO SACYR Y VALLEHERMOSO
62. GRUPO SAN JOSÉ, OBRA CIVIL
63. HIFER, CONSTRUCCIÓN CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO
64. ICER BRAKES, S.A.
65. IDOM, S.A.
66. IIC INGENIERÍA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL S.A.
67. IKUSI
68. INDRA
69. INECO-TIFSA
70. INFOGLOBAL, S.A.
71. INGENIERÍA DE VÍAS ELÁSTICAS
72. INGENIERÍA Y TÉCNICA DEL TRANSPORTE
73. INTEGRAL DESIGN
74. INTERLAB IEC
75. INTRAESA, INGENIERÍA DE TRAZADOS Y ESTRUCTURAS
76. INVESTIGACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD
77. INZAMAC ASISTENCIAS TECNICAS, S.A.
78. ITF INGENIERÍA DE TÉCNICAS FERROVIARIAS, S.L.
79. LANDER SIMULATION&TRAINING
80. LOGÍSTICA Y TELECOMUNICACIÓN, S.L.
81. LOGIDIGAL A.I.E.
82. MERAK, S.A.

83. MÉTRICA INGENIERÍA
84. MGN, TRANSFORMACIONES DEL CAUCHO S.A.
85. MP. PRODUCTIVIDAD, S.A.
86. NERTUS MANTENIMIENTO FERROVIARIO, S.A.
87. OMNILOGIC TELECOMUNICACIONES, S.A.
88. PAGE IBÉRICA
89. PATENTES TALGO, S.A.
90. PAYMACOTAS, S.A.
91. PHOENIX CONTACT, S.A.
92. PRAINSA
93. PRECONSA PREFABRICACIONES Y CONTRATAS
94. PROAKIS, S.A.U.
95. PROINTEC, S.A.
96. PROMAUT
97. RAILGRUP
98. REVENGA INGENIEROS
99. SACYR VALLEHERMOSO
100. SENER INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A.
101. SEPSA
102. SICE
103. SIEMENS ESPAÑA
104. SILVER SOFTWARE CONSULTANTS
105. SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FRENOS KNORR-BREMSE
106. SPIM
107. TAFESA, S.A.
108. TALLERES ALEGRÍA, S.A.
109. TEAM, S.A.
110. TECNORAIL CONSULTING, S.L.
111. TECSA

11. Anexo 2: Organización de la PTFE

- 112. TELEFÓNICA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
- 113. TELVENT, TRÁFICO Y TRANSPORTE, S.A.
- 114. THALES
- 115. TIFSA
- 116. TRAINTIC, S.L.
- 117. TRANSFESA
- 118. TRN INGENIERÍA
- 119. TYP SA, TÉCNICA Y PROYECTOS, S.A
- 120. UMANA INNOVA, S.L.
- 121. VÍAS Y CONSTRUCCIONES
- 122. VICOMTech-IK4
- 123. VODAFONE ESPAÑA
- 124. VOITH TURBO
- 125. VOSSLOH ESPAÑA

Operadores y Administradores Ferroviarios

- 126. ADIF
- 127. EUSKOTRENBIDEAK
- 128. ESKAL TRENBIDE SAREA
- 129. FERROCARRIL METROPOLITÀ DE BARCELONA, S.A.
- 130. FERROCARRILES ANDALUCES
- 131. FERROCARRILS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA. FGC
- 132. FERROCARRILS DE LA GENERALITAT VALENCIANA, FGV
- 133. FEVE
- 134. METRO DE MADRID
- 135. RENFE OPERADORA
- 136. TMB

Administraciones Públicas

137. CEDEX
138. CENTRO PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO INDUSTRIAL, CDTI
139. GENERALITAT VALENCIANA
140. GENERALITAT DE CATALUÑA
141. GOBIERNO DE CANARIAS
142. GOBIERNO DE NAVARRA
143. MINISTERIO DE FOMENTO
144. PAÍS VASCO
145. PRINCIPADO DE ASTURIAS

Universidades

146. UNIVERSIDAD ANTONIO DE NEBRIJA
147. UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
148. UNIVERSIDAD DA CORUÑA
149. UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
150. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.
Grupo GIDAI (Seguridad contra incendios, investigación y tecnología)
151. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Grupo LADICIM
152. UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA
153. UNIVERSIDAD DE LEÓN
154. UNIVERSIDAD DE LLEIDA
155. UNIVERSIDAD DE SEVILLA
156. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA.
Grupo GITEL (Ingeniería del transporte y logística)
157. UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO
158. ETSI INDUSTRIALES DE BILBAO
159. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA
160. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

11. Anexo 2: Organización de la PTFE

161. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.
Centro de apoyo a la innovación, la investigación y la transferencia de tecnología.
162. ETSI INDUSTRIALES U.P.V.
163. UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS DE MADRID
164. UNIVERSIDAD SAN PABLO CEU
165. UNIVERSITAT DE VALENCIA.
INTRAS (Instituto universitario de tráfico y seguridad vial) Grupo INFORCE (Investigación y formación en seguridad vial, ferrocarril y ergonomía)
166. UNIVERSIDAD DE VIGO

Centros de Investigación y Centros Tecnológicos

167. AIN-ASOCIACIÓN DE LA INDUSTRIA DE NAVARRA
168. CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍA DE VEHÍCULOS (CITV)
169. CENTRO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA (CIDEMCO)
170. CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PARA LA TECNOLOGÍA (CIDI)
171. CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES TÉCNICAS DE GUIPÚZCOA (CEIT)
172. CENTRO DE INNOVACIÓN DEL TRANSPORTE (CENIT)
173. CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍA FERROVIARIA (CITEF)
174. CIEMAT
175. CTM CENTRE TECNOLÒGIC
176. FUNDACIÓN CARTIF
177. FUNDACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN EN TRANSPORTE Y ENERGÍA (CIDAUT)
178. INSTITUTO CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN "EDUARDO TORROJA"
179. INSTITUTO DE ESTUDIOS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA.
180. INSTITUTO DE GEOMÁTICA
181. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ARAGÓN
182. INSTITUTO DE TRANSPORTES Y TERRITORIO
183. INSTITUTO DE MAGNETISMO APLICADO
184. INSTITUTO UNIVERSITARIO CMT- MOTORES TÉRMICOS
185. INSTITUTO DE BIOMECAÁNICA DE VALENCIA
186. ESM-INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN SEGURIDAD Y FACTORES HUMANOS

Asociaciones y Otros

187. ASOCIACIÓN CLUSTER DEL TRANSPORTE Y LA LOGÍSTICA DEL PAÍS VASCO
188. ASTIC-UOTC (UNIÓN OPERADORES TRANSPORTE COMBINADO)
189. ASOCIACIÓN PROPIETARIOS OPERADORES VAGONES
190. ASOCIACIÓN EUROPEA DE FERROVIARIOS. SECCIÓN ESPAÑOLA
191. COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS
192. CONFEDERACIÓN NACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN
193. FUNDACIÓN CAMINOS DE HIERRO
194. FUNDACIÓN DE ESTUDIOS DE ECONOMÍA APLICADA (FEDEA)
195. FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES

11.2 Comité Directivo

Tiene como función la transmisión vertical de las orientaciones y estrategias definidas por la PTFE a los organismos del Estado con capacidad de decisión.

➔	ADIF	Antonio Berrios Villalba
➔	CDTI	Jesús Monclús González
➔	CEDEX	Ángel Aparicio Mourelo
➔	CEMAFE	Luis Terradillos Andrés
➔	MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA	M ^a Luisa Castaño Marín
➔	MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA	Manuel Montes Ponce
➔	MINISTERIO DE FOMENTO	Luis de Santiago Pérez
➔	RENFE OPERADORA	Javier Pérez Sanz
➔	SEOPAN	Julián Núñez Sánchez

11.3 Comité Ejecutivo

Constituido el 31 de mayo de 2007 para propiciar la asunción de mayor protagonismo por parte de la industria (empresas y entidades líderes en el Sector Ferroviario). Engloba ampliadas las funciones que desempeñaba el Consejo Gestor¹, órgano inicial de gestión.

¹ Constituido por el CEDEX (representado por Alberto Compte Anguela), la Universidad Politécnica de Madrid (representada por Clara Zamorano Martín), y la Fundación de los Ferrocarriles Españoles, como Secretaría Técnica.

➤	ADIF	Antonio Berrios Villalba
➤	CAF	Luis Terradillos Andrés
➤	CEDEX	Ángel Aparicio Mourelo
➤	CETREN	Javier Villén Barranco
➤	CIDAUT	Alberto Montes León
➤	COMSA	Jaime Mulet Laviós
➤	ESM	Baltasar Gil de Egea
➤	FGC	Joan Torres Carol
➤	GRUPO OHL	Manuel Villén Naranjo
➤	INECO TIFSA	José Carlos García Hernández
➤	INTRAS	Francisco Toledo Castillo
➤	METRO DE MADRID	Luis Pérez Cayuela
➤	PATENTES TALGO	Emilio García García
➤	PROINTEC	Eduardo Romo Urroz
➤	RAILGRUP	Pere Calvet Tordera
➤	RENFE OPERADORA	José Antonio Jiménez Redondo
➤	SPIM	Alfredo Irisarri Castro

11.4 Secretaría Técnica

➤	FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES	Juan Manuel Jiménez Aguilar Ángeles Táuler Alcaraz M ^ª del Mar Sacristán Martín
---	--	--

11.5 Grupos de Trabajo, Coordinadores y Miembros destacados

Generales / Transversales

Situación, Estrategia y Planificación de I+D+i

Coordinador: Ángel Aparicio Mourelo, CEDEX

Homologación, Certificación y Directivas

Coordinador: Javier Villén Barranco, CETREN

Percepción Social, Difusión y Formación

Coordinador: Francesc X. Balagué i Gea, FGC

Representantes y Relaciones Externas

Coordinador: Joaquín Jiménez Otero, ADIF

Temáticos

Explotación de la Infraestructura y Operación de Trenes

Coordinador: Luis Pérez Cayuela, METRO DE MADRID

Infraestructura y Plataforma

Coordinador: Eduardo Romo Urroz, PROINTEC

Instalaciones y Ancho Variable

Coordinador: Pere Calvet Tordera, RAILGRUP

Interoperabilidad y ERTMS

Coordinador: Jorge Iglesias Díaz, ADIF

Mantenimiento de Instalaciones Fijas

Coordinador: Juan de Dios Sanz, GRUPO OHL

Mantenimiento de Material Rodante

Coordinador: Alberto Montes León, CIDAUT

Material Móvil para Transporte Metropolitano. Factores Humanos y Ergonomía

Coordinadora: Ana María Moreno Lorente, CAF

Material Rodante y Tracción Ferroviaria

Coordinador: Emilio García García, PATENTES TALGO

Política, Planificación, Economía y Energía y Sostenibilidad

Coordinadora: Ainhoa Zubieta de Piquer, INECO-TIFSA

Seguridad del Sistema Ferroviario

Coordinadora: Pilar Calvo Holgado, ESM

Coordinador: Francisco Toledo Castillo, INTRAS

Superestructura

Coordinador: Sergio Morán Sepúlveda, COMSA

Transporte de Mercancías por Ferrocarril

Coordinador: José Miguel García Sanz, ADIF

Coordinador: Juan Moreno Lorite, CONTINENTALRAIL

Coordinador: Juan de Dios Sanz Bobi, CITEF, UPM

Vehículos para Alta Velocidad

Coordinador: José Antonio Jiménez Redondo, RENFE OPERADORA

Coordinador: Rafael Fernández Pérez, RENFE OPERADORA

Además de los Coordinadores han destacado por su especial dedicación en los Grupos de Trabajo:

Alberto García Álvarez, Fundación de los Ferrocarriles Españoles

Ángel de la Fuente Alegría, Talleres Alegría, S.A.

Antonio Fernández Cardador, Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia Comillas

Antonio Núñez Rivero, ADIF

Carles Casas Espulgas, CENIT, Universitat Politècnica de Catalunya,

Desirée Meza Herrero, INDRA

Eduardo Pilo de la Fuente, Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia de Comillas

Emma Castelló Taliani, Universidad de Alcalá

Enrique Aliaga López, SENER Ingeniería y Sistemas, S.A.

Ernesto García Vadillo, Universidad del País Vasco

Fausto García Márquez, Universidad de Castilla La Mancha

Fernando Canales Gutiérrez, INTRAESA

Francisco García Benítez, Universidad de Sevilla

Germán López Carrancho, MGN Transformaciones del Caucho

Jesús Ríos Tolmos, TECSA Empresa Constructora

Joan Matutano Plá, PROMAUT

Joaquín Ximénez de Embrún, INZAMAC Asistencias Técnicas, S.A.

Jorge Nasarre y de Goicoechea, Fundación Caminos de Hierro

José Antonio Gorostiza Enparanza, EUSKOTREN

José Germán Jiménez Ortiz, CAF

José Ignacio Palacios, SENER Ingeniería y Sistemas, S.A.

José M. Aranda Moreno, EUROESTUDIOS, S.L.

José Solaz Sanahuja, Instituto de Biomecánica de Valencia

Juan Batanero Bernabeu, INECO-TIFSA

Julio Álvarez Rodríguez, RENFE

Luis Baeza González, CITV, Universidad Politécnica de Valencia

Marta Carvajal Azcona, CETREN

Pablo Fernández Bea, Ingeniería de Instrumentación y Control, S.A.

Paloma Cucala García, Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia de Comillas

Pilar Calvo Holgado, ESM-Instituto de Investigación en Seguridad y Factores Humanos

Rafael Corisco Carmona, METRO DE MADRID

Rafael Mozo Seoane, INDRA

Ricardo García Escudero, ALSTOM

Ricardo Regueiro Delgado, Asociación de Fabricantes de Traviesas, AFTRAV

Roberto Rodríguez Illanes, SENER Ingeniería y Sistemas, S.A.

Rodolfo Ramos Melero, Universidad San Pablo CEU

www.ptferroviaria.es



Secretaría Técnica
Fundación de los Ferrocarriles Españoles