

PROSPECTIVA TRANSPORTE 2050

Identificación de oportunidades de desarrollo tecnológico y barreras asociadas de los **Talleres de Prospectiva Transporte 2050**



Plataforma
tecnológica española de
eficiencia energética



Autor:

Lucas García Gómez

Colaborador y Revisor:

Guillermo José Escobar López

CONTENIDO

1. Introducción	5
2. Extracto de las ideas vertidas en los talleres	5
2.1. Taller 1: Fuentes de energía	5
2.1.1. Oportunidades de desarrollo tecnológico	
2.1.2. Barreras a vencer	
2.2. Taller 2: Tecnologías habilitadoras de la gestión de todos los transportes	7
2.2.1. Oportunidades de desarrollo tecnológico	
2.2.2. Barreras a vencer	
2.3. Taller 3: Movilidad urbana	9
2.3.1. Oportunidades de desarrollo tecnológico	
2.3.2. Barreras a vencer	
2.4. Taller 4: Movilidad interurbana	10
2.4.1. Oportunidades de desarrollo tecnológico	
2.4.2. Barreras a vencer	
2.5. Taller 5: Movilidad en la España despoblada	12
2.5.1. Oportunidades de desarrollo tecnológico	
2.5.2. Barreras a vencer	
2.6. Taller 6: Mercancías en ciudades	14
2.6.1. Oportunidades de desarrollo tecnológico	
2.6.2. Barreras a vencer	

2.7. Taller 7: Transporte de mercancías en media y larga distancia **15**

2.7.1. Oportunidades de desarrollo tecnológico

2.7.2. Barreras a vencer

2.8. Taller 8: Intermodalidad ferrocarril-carretera-puertos-aeropuertos **16**

2.8.1. Oportunidades de desarrollo tecnológico

2.8.2. Barreras a vencer

2.9. Taller 9: Transporte aéreo de mercancías y personas **18**

2.9.1. Oportunidades de desarrollo tecnológico

2.9.2. Barreras a vencer

2.10. Taller 10: Transporte marítimo de mercancías y personas **19**

2.10.1. Oportunidades de desarrollo tecnológico

2.10.2. Barreras a vencer

ANEXO Tablas resumen **22**

NOTAS PRELIMINARES

Los trabajos desarrollados por la PTE-ee y el resto de plataformas tecnológicas españolas que han colaborado en el proyecto han sido financiados por la **Agencia Estatal de Investigación** (AEI), en el marco de Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2024-2027, Programa Estatal de Transferencia y Colaboración, Subprograma Estatal para impulsar la Colaboración en y entre los Sectores Público y Privado.

El presente documento se ha preparado a partir de los puntos de vista vertidos por representantes de diferentes entidades públicas y privadas que han participado en los diez talleres que tuvieron lugar en 2025.

La redacción y edición del documento ha corrido a cargo de la **Plataforma Tecnológica Española de Eficiencia Energética**.

Los contenidos expuestos no son fruto de un consenso entre los expertos participantes ni sus organizaciones, por lo que no se debe entender que todos los participantes están alineados con todos los planteamientos ni ideas que aparecen en el documento.

1. Introducción

El objetivo de la iniciativa “Prospectiva Transporte 2050” es construir una visión compartida de cómo debe evolucionar el transporte de aquí a 2050, con el fin de cumplir los compromisos de descarbonización establecidos en la Estrategia Española de Descarbonización a Largo Plazo 2050. Asimismo, busca fomentar la colaboración entre las entidades del sector y los actores clave implicados en este proceso.

Se trata de una iniciativa impulsada por la Subdirección General de Eficiencia y Acceso a la Energía del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), que será desarrollada por un grupo de entidades vinculadas al sector del transporte, principalmente Plataformas Tecnológicas y de Innovación.

2. Extracto de las ideas vertidas en los talleres

2.1. TALLER 1: FUENTES DE ENERGÍA

Taller organizado por las plataformas BIOPLAT (Plataforma Tecnológica y de Innovación en Biocircularidad) y PTE-ee (Plataforma Tecnológica Española de Eficiencia Energética). Diversos expertos del sector aportan su visión acerca de las variadas fuentes de energía empleadas en automoción (medios de transporte convencionales) y su posible desarrollo o reemplazo por otras más sostenibles, con respecto al horizonte 2050. A continuación, se analizan las principales vías de desarrollo tecnológico y sus barreras asociadas.

2.1.1. OPORTUNIDADES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

- Desarrollo de combustibles renovables en sectores que sean de difícil electrificación. Los expertos coinciden en que la electrificación directa de sectores como la aviación, el transporte marítimo y el transporte pesado por carretera presenta importantes limitaciones técnicas y económicas. En estos casos, el uso de baterías requeriría capacidades extremadamente grandes para cubrir toda la energía necesaria durante un trayecto completo, lo que supondría un aumento muy significativo del peso, del coste y de la complejidad para alojar estos sistemas a bordo del vehículo. Además, sería necesario desplegar una extensa infraestructura de recarga en puertos y aeropuertos, lo que implica inversiones elevadas y plazos largos. Por todo ello, los expertos señalan la necesidad de potenciar la pro-

ducción y el uso de biocombustibles y otros combustibles renovables como vía clave para la descarbonización de estos sectores.

- **Desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno renovable como vector energético.** Aprovechando el impulso de la generación de hidrógeno renovable (fundamentalmente de origen electrolítico) en España, es interesante desarrollar la cadena de valor de este vector energético descarbonizador que permita su uso en el sector Transporte. Gracias a la versatilidad de aprovechamiento energético de esta molécula, puede emplearse tanto por la vía electroquímica en pilas de combustible aumentando la autonomía de los vehículos eléctricos puros, o como molécula de partida para la elaboración de combustibles sintéticos de empleo directo en los actuales sistemas de propulsión.

- **Exportación y/o venta de biocombustibles a Europa.** Florencio Michelena, (AOP, Asociación de Operadores de Productos Petrolíferos) en su intervención, comenta que España dispone de materias primas suficientes para cubrir hasta el 60% de las necesidades energéticas del transporte en 2030. Además, existe un enorme potencial en combustibles sintéticos como el SAF (Combustible Sostenible de Aviación) y biometano. Por tanto, una oportunidad muy interesante para España es convertirse en un polo industrial exportador de biocombustibles y combustibles renovables a Europa.

- **Innovación y oportunidad para la investigación sobre baterías avanzadas** de grafeno y estado sólido y reutilización y reciclaje de las baterías empleadas actualmente. España posee un potencial para investigación muy elevado que hay que aprovechar para la innovación y circularidad de las baterías actuales.

- **Desarrollo de una estructura de financiación y establecimiento de incentivos** para mejorar la adopción del VE (Vehículo eléctrico). Debido a que España es uno de los países europeos que más VE produce, pero uno de los que menos matricula, existe una oportunidad enorme para implementar ciertos beneficios a los usuarios que lo utilicen, comenta Laura Vélez (T&E, *Transport & Environment*) en su intervención. Además, se dispone de puntos de recarga suficientes en las principales carreteras y ciudades del territorio nacional.

- **Oportunidad tecnológica para construir más km de redes eléctricas** y para acelerar todos los procesos de AyC (Acceso y Conexión) a la red eléctrica. Debido al crecimiento de los CdD (Centros de Datos) y del VE, se prevé que haya un aumento notable de la demanda eléctrica. Esto podría dar lugar a importantes beneficios económicos y tecnológicos al ampliar la longitud total de redes eléctricas existentes.

- **Eficiencia energética y cambio de patrones de uso.** Más allá de emplear un biocombustible o RFNBO (*Renewable Fuel of Non-Biological Origin*) o aumentar el parque de cargadores eléctricos, se deben promover también medidas de mejora de la eficiencia energética en el transporte. Algunos ejemplos son el teletrabajo,

cambio modal y un aumento del índice de ocupación de vehículos, el cual actualmente se encuentra en un 1,74, según afirma Orlando Redondo (EREN, Ente Regional de la Energía).

2.1.2. BARRERAS A VENCER

Algunas de las barreras más destacadas son: trámites administrativos y legales de implantación de plantas de biocombustibles muy tediosos y lentos, la baja aceptación social en el desarrollo de plantas de biometano, la negación social sin motivos aparentes, la desinformación de la población acerca de las ventajas competitivas que suponen una mayor utilización de biocombustibles, la lentitud en los procesos de AyC de posibles puntos nuevos de demanda eléctrica, unas redes muy poco desarrolladas y saturadas en muchos de los puntos de AyC, unos procesos de aprobación medioambiental de biorrefinerías desfasados, lentos y a veces repetitivos, la falta de hojas de ruta claras para el desarrollo de biocombustibles, RFNBOs, bio-H2..., unos costes de producción de bio-H2 muy elevados (electrolizadores), etc.

2.2. TALLER 2: TECNOLOGÍAS HABILITADORAS DE LA GESTIÓN DE TODOS LOS TRANSPORTES

Taller organizado por las plataformas PAE (Plataforma Tecnológica Aeroespacial Española) y PTE-ee. Este taller trata sobre el papel que juega el desarrollo de distintas tecnologías que van a permitir que el transporte en 2050 sea tal y como viene definido en la Estrategia Española de Descarbonización a Largo Plazo 2050. Se recogen a continuación las oportunidades de desarrollo tecnológico para España y las barreras a vencer en relación a la aplicación de estas tecnologías.

2.2.1. OPORTUNIDADES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

- **Alto potencial español en tecnologías de geolocalización y navegación por satélite.** Dentro de Europa, España posee una posición muy fuerte en programas como Galileo y EGNOS, señala Ana Cezón (GMV). Comenta que debemos aprovechar esta ventaja competitiva y liderar soluciones críticas para todo el transporte autónomo europeo, especialmente el terrestre. Una empresa especialista en estos sistemas es GMV, especialmente en el sector terreno.

- **Nuevos mercados de venta de hardware y software y creación de empresas de auditoría acerca de ciberseguridad y defensa.** El transporte es el segundo sector más atacado en la UE, abarcando el 11% de los incidentes. La ciberseguridad en el transporte ha pasado de ser algo que algunas empresas implementaban, a día de hoy, algo imprescindible en todas ellas. Además, con la aprobación

del reglamento de Ciberresiliencia (CRA) y de la transposición nacional de la directiva NIS2, todo esto gana mucha más importancia.

- **Oportunidad para el desarrollo de redes 5G y *Edge Computing*.** El transporte del futuro estará interconectado; los vehículos se comunicarán unos con otros y con la infraestructura de tráfico. Para ello, se necesitan latencias muy bajas, del orden de 50 milisegundos, aclara Mar Hernández (Vodafone). Esto hará posible que el tráfico sea más fluido y hará más fácil su gestión dinámica y predictiva. En España, el desarrollo de estos nodos *Edge Computing* y 5G sigue siendo un reto, especialmente en zonas rurales. Por tanto, existe un desarrollo potencial enorme para empresas de telecomunicaciones que quieran adentrarse en este nicho de mercado.

- **Aprovechamiento de la tecnología propia para conseguir que el transporte multimodal sea autónomo.** España debe aprovechar los sistemas de tecnología de navegación y geolocalización punteros que posee para implementarlos en los sistemas de transporte y así hacer que sean autónomos, aunque enfrenta barreras asociadas con una regulación y tramitación lenta (especialmente en comparación con EEUU y China), con una tecnología en muchos casos aún sin desarrollar del todo (coches en entornos urbanos, robotaxi), unos costes generalmente elevados, baja escalabilidad a rutas largas y un marco legal confuso.

- **Aprovechamiento de infraestructuras españolas existentes y del actual desarrollo de la IA para la integración de sensores inteligentes.** En 2050, el transporte incorporará sensores y tecnología inteligente a bordo de los vehículos, en la infraestructura y en la cadena logística. Mónica Pelegrín (ADIF) comenta que algunos ejemplos de esta tecnología son redes 5G, sistemas inerciales, cámaras y radares. España debe aprovecharse de su gran estructura de ferrocarril, portuaria y de aeropuertos y del enorme desarrollo de la IA para integrar toda esta tecnología de sensores emergentes y así aumentar la eficiencia, seguridad y sostenibilidad en los trayectos.

2.2.2. BARRERAS A VENCER

- **Barreras tecnológicas.** Las denominadas “zonas sombra” y las interferencias intencionadas en la navegación vía satélite, dificultad de pequeñas empresas y de pequeños fabricantes para adaptarse a la nueva legislación vigente (CRA y Directiva NIS2), brechas de cobertura en zonas rurales que impiden que un vehículo autónomo dependa exclusivamente de la red móvil local y problemas técnicos de las baterías de las aeronaves y barcos para su tripulación autónoma.

- **Barreras normativas.** En muchos casos, los retos normativos y legales son más determinantes que los tecnológicos. Algunos ejemplos son: falta de homogeneización en las normas entre los diferentes países de la UE (lo que dificulta enor-

mamente los trayectos transfronterizos de vehículos autónomos y la validación de soluciones tecnológicas a nivel continental), la imposibilidad de adaptarse a la nueva normativa por parte de muchos países, normativa confusa en temas responsabilidad ante posibles accidentes en vehículos autónomos, etc.

- **Otras barreras.** Elevados costes de inversión de tecnologías como 5G + Edge Computing o sensores inteligentes, madurez tecnológica desigual en la UE y aceptación social negativa hacia vehículos autónomos.

2.3. TALLER 3: MOVILIDAD URBANA

Taller presentado por las plataformas BatteryPlat (Plataforma Tecnológica y de Innovación Española de Almacenamiento de Energía), M2F (Plataforma Tecnológica Española de Automoción y Movilidad) y PTE-ee. La movilidad urbana es un elemento clave para avanzar hacia un sistema de transporte descarbonizado, eficiente y sostenible en el horizonte 2050. Su transformación requiere un enfoque integral que combine tecnología, energía, digitalización y una adecuada planificación urbana. Los expertos coinciden en que la movilidad urbana del futuro debe ser segura, limpia, eficiente y sostenible, y que la tecnología debe alinearse con estos objetivos. En este contexto, el taller 3 de Prospectiva Transporte 2050 identifica oportunidades de desarrollo tecnológico para España y barreras que pueden limitar su despliegue. A continuación, se analizan ambos aspectos a partir de las aportaciones de los expertos.

2.3.1. OPORTUNIDADES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

- **Desarrollo de sistemas ITS.** Jaime Huerta (ITS España) afirma que existe una excelente oportunidad para España para desarrollar soluciones ITS (*Intelligent Transport Systems*) que optimicen la gestión del tráfico urbano reduciendo la congestión y aumentando la seguridad y eficiencia en las vías. Además, España cuenta con una base fuerte de I+D para desarrollar estos softwares innovadores.

- **Desarrollo de vehículos que funcionan con pila de hidrógeno.** España debe sacar partido al exceso de renovables que posee, especialmente de fotovoltaica en horas centrales del día, para alimentarla a electrolizadores y poder obtener H2 verde, que funciona como combustible sin emisiones en vehículos dotados con pilas de combustible. Además, España actualmente cuenta con hidrolineras y electrolizadores en operación distribuidos por las principales ciudades del territorio nacional.

- **Organización de campañas para luchar contra la desinformación.** España debe llevar a cabo congresos y sesiones informativas públicas lideradas por expertos de este sector para que los ciudadanos no teman al cambio, para luchar contra

la desinformación y para que seamos conscientes de los numerosos beneficios que se pueden llegar a alcanzar si la movilidad se vuelve más eficiente y sostenible, sobre todo en términos de cuidado al medio ambiente y de eficiencia energética.

- **Aprovechamiento de ayudas y subvenciones públicas.** Las ayudas que se otorgan por parte de los fondos PRTR pueden servir para la adopción de VE, vehículos que funcionan con pila de H2 o instalaciones afines que hacen de la movilidad actual, una más sostenible.

- **Micro movilidad y soluciones de última milla.** Soluciones como bicicletas autónomas, bicicletas eléctricas y patinetes eléctricos son también muy válidas y eficientes, comentan Jaime Huerta y Caterina Tormo Domènech (ITE, Centro Tecnológico de la Energía). Estos modos de transporte permiten disminuir las emisiones de CO2 asociadas a la circulación de turismos que funcionan con motor de combustión interna y la congestión del tráfico en vías urbanas.

2.3.2. BARRERAS A VENCER

Jaime Huerta comenta que la falta de profesionalización en la toma de decisiones técnicas es una de las barreras más importantes, junto con marcos regulatorios rígidos. También se encuentran otras barreras como la desinformación sobre tecnologías de movilidad eléctrica y puntos de recarga de VE mal distribuidos por todo el territorio nacional y no adaptados a zonas rurales y periféricas.

2.4. TALLER 4: MOVILIDAD INTERURBANA

Taller organizado por las Plataformas *Green Future Plat* y *M2F*. En él se aborda la problemática de la movilidad interurbana y como ésta se debe transformar en todos los ámbitos (desarrollo tecnológico, innovación, regulatorio y social) para cumplir con los compromisos de descarbonización establecidos en la Estrategia Española de Descarbonización a Largo Plazo 2050. A continuación, distintos expertos analizan e identifican las principales vías de desarrollo tecnológico a explotar en el sector, así como sus barreras asociadas.

2.4.1. Oportunidades de desarrollo tecnológico

- **Refuerzo del ferrocarril.** El ferrocarril parte de una posición ventajosa frente a otros modos de transporte interurbano, ya que su grado de electrificación es elevado y permite transportar grandes volúmenes de pasajeros con menores emisiones por viajero-kilómetro. Los expertos coincidieron en que el reto no está tanto en la tecnología ferroviaria, sino en mejorar su integración con otros modos y en

hacer más atractiva su oferta frente al vehículo privado. David Lorenzo (ALSTOM) señala que el ferrocarril “está bien situado” en electrificación y que incluso en convocatorias públicas “no aparece” porque se considera bastante avanzado.

- **Electrificación del transporte público urbano por carretera**, especialmente el autobús. La electrificación de flotas, combinada con soluciones de carga adaptadas a la operación real puede generar reducciones significativas de consumo energético y emisiones de GEI. Este tipo de soluciones se considera especialmente relevante en corredores interurbanos de media distancia, donde medios de transporte como el autobús pueden competir en tiempo y coste con el coche privado si se acompaña de una buena planificación y frecuencia de servicio.

- **Digitalización y desarrollo de plataformas de movilidad**. La digitalización y el desarrollo de plataformas de movilidad como servicio aparecen también como una oportunidad clave. La integración de diferentes modos de transporte en una única plataforma, que ofrezca al usuario soluciones puerta a puerta priorizando criterios de sostenibilidad, permitiría optimizar el uso de infraestructuras existentes y reducir desplazamientos innecesarios. En este ámbito, la inteligencia artificial juega un papel central al facilitar la planificación de viajes, la predicción de la demanda y la recomendación de opciones más eficientes desde el punto de vista energético.

- **Combinación de tecnologías según caso de uso y rediseño del modelo metropolitano**. Se plantea también la necesidad de combinar distintas tecnologías como el VE, gases renovables, biocombustibles avanzados, hidrógeno o combustibles sintéticos, en función del tipo de trayecto, la distancia, la infraestructura disponible y las características del usuario. Otra posible oportunidad de desarrollo tecnológico, aunque más difícil de implementar, sería rediseñar el modelo metropolitano e interurbano, pasando de esquemas radiales muy centrados en las grandes ciudades a modelos en coronas que conecten municipios periféricos entre sí. Este cambio permitiría reducir recorridos, congestión y consumo energético, especialmente en áreas donde los desplazamientos interurbanos de corta y media distancia son muy frecuentes. Sin embargo, habría que realizar muchas obras y supondría un coste muy elevado.

2.4.2. BARRERAS A VENCER

- **Falta de capilaridad e infraestructura de recarga fuera de grandes núcleos urbanos**. Una de las principales barreras es la falta de infraestructura energética, especialmente de recarga eléctrica, fuera de los grandes núcleos urbanos. La escasa capilaridad de la red de recarga en municipios pequeños y zonas rurales limita la adopción del VE en la movilidad interurbana y genera inseguridad en los usuarios.

- **La variable social y el cambio de hábitos.** Otra barrera importante es el componente social y de hábitos. Aunque las tecnologías estén disponibles, el usuario todavía muestra reticencias a cambiar rutinas consolidadas, como aceptar tiempos de parada más largos para recargar o planificar con antelación sus desplazamientos con un VE. Este factor humano se identificó como un elemento crítico que puede frenar la adopción de soluciones eficientes si no se acompaña de pedagogía, incentivos y alternativas reales.

- **Inestabilidad regulatoria.** La inestabilidad regulatoria y la falta de un marco normativo claro y coherente se señalaron también como obstáculos relevantes. La movilidad interurbana requiere inversiones a largo plazo en vehículos e infraestructuras, y la ausencia de horizontes regulatorios estables dificulta la toma de decisiones por parte de operadores y administraciones. A ello se suma la falta de coordinación entre distintos niveles de gobierno, que ralentiza la implantación de soluciones.

2.5. TALLER 5: MOVILIDAD EN LA ESPAÑA DESPOBLADA

Taller organizado conjuntamente por ECODES (Fundación Ecológica y Desarrollo) y PTE-ee en el que se analiza la problemática del transporte en la España despoblada, especialmente en zonas rurales y poco habitadas. A continuación, se detallan oportunidades de desarrollo tecnológico para España y los retos o barreras a vencer en relación con dichas vías de desarrollo.

2.5.1. OPORTUNIDADES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

- **Electrificación del transporte privado en zonas rurales.** Los expertos coincidieron en que la electrificación del vehículo privado es la opción más eficiente, económica y ambientalmente sostenible para la movilidad rural. En España, las zonas rurales concentran una parte muy relevante del despliegue de energías renovables, lo que abre una oportunidad clara para vincular la movilidad eléctrica con la generación local. Además, la electrificación reduce la exposición de la población rural a la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles, a los que son especialmente vulnerables debido a la alta dependencia del coche privado.

En lo relativo a los biocombustibles en los entornos rurales, se opina que ralentizarían la electrificación y que son poco relevantes.

- **Despliegue estratégico de infraestructura de recarga de VE.** España se encuentra rezagada respecto a otros países europeos en cuanto a número y distribución de puntos de recarga de VE, especialmente en puntos de recarga ultrarrápidos y de calidad garantizada. Por ello, se debe llevar a cabo un plan de despliegue de una red de recarga distribuida territorialmente, que vaya más allá de los grandes corredores y áreas urbanas. Esto no solo facilita la adopción del VE, sino que

contribuye a vertebrar el territorio y a garantizar un acceso equitativo a la transición energética.

- **Movilidad compartida: *Car pooling*.** El *Car pooling* se identifica por parte de los expertos como una de las vías de desarrollo tecnológico más importantes en zonas rurales. Se dispone de un dato importante que dice que, en la actualidad, muchos vehículos circulan con una ocupación media de 1,9 personas en viajes interurbanos, lo que supone un uso muy ineficiente de la flota existente. Sara Benavent (BlaBlaCar) comenta que plataformas de coche compartido como BlaBlaCar ya alcanzan al 87 % de las localidades españolas, incluso en pueblos muy pequeños, demostrando que la tecnología permite optimizar desplazamientos sin necesidad de grandes inversiones en infraestructuras.

- **Establecimiento de incentivos para el uso del transporte público.** Una oportunidad excelente de desarrollo podría ser el establecimiento de incentivos para aquellos que hagan uso del transporte público, en lugar de su vehículo privado correspondiente. Para ello, se deben instalar líneas de ferrocarril o metro ligero próximas a zonas rurales y ampliar servicios de autobús y tranvía.

2.5.2. BARRERAS A VENCER

- **Falta de puntos de recarga de VE y dependencia estructural del vehículo privado.** La falta de puntos de recarga accesibles y fiables en zonas rurales y su concentración en áreas urbanas y corredores principales deja amplias zonas del territorio sin cobertura adecuada, lo que frena la adopción del VE y genera desconfianza en la población rural. Por otro lado, el vehículo privado es prácticamente la única opción de movilidad, debido a la escasez de transporte público. Esta dependencia dificulta la transición, especialmente en un contexto de envejecimiento poblacional y dispersión territorial.

- **Brecha digital y envejecimiento de la población.** La brecha digital existente hoy en día se identifica como una barrera crítica para la implantación de soluciones basadas en tecnología, como el VE o la movilidad compartida. El envejecimiento de la población rural y la falta de competencias digitales limitan la adopción de estas soluciones si no van acompañadas de formación y apoyo específico.

- **Falta de inversión y coordinación institucional.** Los expertos señalan una falta muy grande de inversión pública en movilidad rural y una escasa coordinación entre administraciones. La ausencia de una planificación territorial integrada y de marcos regulatorios claros dificulta el despliegue de infraestructuras y servicios, y genera incertidumbre para la inversión privada.

2.6. TALLER 6: MERCANCÍAS EN CIUDADES

Taller organizado en colaboración de la PTE-ee y ECODES en el que se ponen en común distintas ideas a impulsar acerca del transporte de mercancías en ciudades. Algunos de los temas tratados por los expertos son la digitalización de la infraestructura necesaria, la colaboración público-privada y la regulación existente. A continuación, se analizan las vías más importantes de desarrollo tecnológico para España y las barreras existentes.

2.6.1. OPORTUNIDADES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

- **Desarrollo del mercado del VE.** Javier Romo (CIDAUT), afirma que el VE es la opción más eficiente energéticamente para la logística de última milla debido a las bajas velocidades de los vehículos que transportan la mercancía (en comparación con el transporte pesado en carretera), a que son recorridos cortos y a que hacen paradas frecuentes. Por tanto, como se ha detallado anteriormente en el Taller 1, ya que España es un fabricante muy importante en Europa de VE, esto supone una oportunidad muy grande para generar ingresos a partir de su venta.

- **Infraestructura de recarga de VE adaptada a la logística.** Oportunidad para establecer puntos de recarga en bases logísticas y zonas de pernocta (grandes almacenes) para que así se pueda cargar la batería del VE por la noche y poder operar durante toda la jornada laboral sin hacer paradas para recargar.

- **Digitalización y monitorización de rutas y creación de lockers.** Creación de plataformas o softwares informáticos que realicen funciones de monitorización y optimización de rutas de vehículos de reparto para minimizar la cantidad de km recorridos (disminución de emisiones de GEI) y para reducir tiempos de entrega evitando congestiones y tráfico. Por otro lado, se pueden habilitar lockers o puntos de recogida en aparcamientos disuasorios para depositar ahí la mercancía de los clientes y que ellos lo recojan cuando quieran/puedan evitándose la compañía de reparto el tener que hacer muchos viajes en periodos cortos de tiempo. Esto último dará lugar al aumento de la eficiencia en el uso de los medios, y puede permitir la necesaria colaboración entre los sectores público y privado.

- **Uso de combustibles alternativos.** Aunque, como se ha dicho, la electrificación es prioritaria, existe también un enorme potencial en el uso del biometano como combustible para vehículos dedicados al reparto de mercancías. Pedro Seco (Segigás) concluye que esto llevaría a un desarrollo muy importante en España de las plantas de biometano y se podría aprovechar también el sistema de GdO ya existente.

2.6.2. BARRERAS A VENCER

Renato Frerreira (Iberdrola) comenta que una de las barreras principales tiene que ver con la obtención del permiso de AyC a red. Los procesos son muy lentos, pueden tardar hasta dos años y además los permisos están muy codiciados, apenas hay nodos disponibles. El cambio de uso del suelo para establecer puntos de recarga es complicado, especialmente en entornos urbanos densos. Otras barreras son la falta de homogeneidad de acuerdos entre CCAA (Comunidades Autónomas) y la colaboración indeseada/ineficiente entre empresas de reparto de mercancías y empresas operadoras de lockers en los que deposita la mercancía.

2.7. TALLER 7: TRANSPORTE DE MERCANCÍAS EN MEDIA Y LARGA DISTANCIA

Taller organizado por la Fundación Renovables y PTE-ee. El objetivo del taller es reflexionar colectivamente sobre los desafíos y oportunidades que plantea la descarbonización del transporte de mercancías en rutas interurbanas y de larga distancia, en línea con los compromisos recogidos en la Estrategia Española de Descarbonización a Largo Plazo 2050. A continuación, se recogen las oportunidades de desarrollo tecnológico y las barreras asociadas más importantes, identificadas por expertos del sector.

2.7.1. OPORTUNIDADES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

- **Impulso al ferrocarril y a la intermodalidad.** Actualmente, el transporte de mercancías en España está dominado por la carretera, responsable del 94 % de las emisiones del sector, mientras que el ferrocarril apenas alcanza una cuota del 4 %, muy por debajo de la media europea cercana al 20 % y de países como Austria o Suiza, en los que se supera el 30 %. El desarrollo de autopistas ferroviarias, terminales intermodales y una mejor coordinación carretera-ferrocarril permitiría reducir consumos energéticos, emisiones y congestión viaria.

- **Electrificación del transporte pesado en media distancia.** Aunque este punto generó opiniones positivas y negativas entre los expertos, la electrificación de la flota de camiones se identificó como una oportunidad relevante de desarrollo tecnológico, especialmente en rutas de media distancia. Isabel Gómez (Iberdrola) comenta que el descenso en el precio de las baterías y un plan ambicioso de infraestructuras de recarga rápida y de ayudas públicas estables constituyen una oportunidad que España no debe desaprovechar para electrificar su flota de camiones y transporte pesado.

- **Desarrollo del biometano y otras soluciones como H2 renovable y los com-**

bustibles sintéticos. El biometano permite reducir emisiones de GEI aprovechando la infraestructura gasista existente y es además compatible con los motores de combustión interna y estaciones de repostaje existentes. Por su parte, el H₂ verde y los combustibles sintéticos, producidos a partir de H₂ renovable y CO₂ capturado, se identificaron como una opción con potencial a medio y largo plazo para el transporte pesado de larga distancia, aunque todavía presentan costes elevados y desafíos tecnológicos.

- Digitalización y logística colaborativa. El diseño de rutas más eficientes, la reducción de retornos en vacío y la mejora de la coordinación entre operadores logísticos permiten disminuir consumos energéticos y costes operativos. Los expertos subrayaron que la digitalización promueve una logística más colaborativa que da lugar a ahorros económicos y energéticos sin necesidad de grandes inversiones tecnológicas.

2.7.2. BARRERAS A VENCER

- Limitaciones económicas del sector del transporte. El sector del transporte de mercancías en España está formado mayoritariamente por autónomos y pymes con escasa capacidad inversora. El elevado coste inicial de los vehículos eléctricos o de nuevas tecnologías supone una barrera importante para su adopción, incluso cuando los costes operativos puedan ser menores a largo plazo.

- Inestabilidad y complejidad del marco de ayudas. Los expertos señalaron la falta de continuidad y previsibilidad de las políticas públicas en España. Las convocatorias poco estables y las cargas administrativas dificultan la planificación de inversiones a medio y largo plazo, lo que frena la adopción de nuevas tecnologías.

2.8. TALLER 8: INTERMODALIDAD FERROCARRIL-CARRETERA-PUERTOS-AEROPUERTOS

Taller organizado por la PTFE (Plataforma Tecnológica Ferroviaria Española) y la PTE-ee en el que se abordan distintas oportunidades de desarrollo tecnológico y barreras asociadas con el transporte intermodal ferrocarril-carretera-puertos-aeropuertos. La intermodalidad es una de las claves para mejorar la eficiencia energética y reducir emisiones en el transporte de mercancías. En España existe un margen de mejora muy grande, pero para aprovecharlo no basta solo con tecnología, también influyen la regulación, las infraestructuras y la forma en que trabajan los distintos actores del sector. A continuación, se identifican oportunidades y barreras de desarrollo tecnológico para España en este ámbito.

2.8.1. OPORTUNIDADES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

- **Aumento del uso del ferrocarril.** Actualmente la mayoría de la mercancía se transporta por carretera, aproximadamente el 95% de toda la que entra en España, afirma Antonio Torregrosa (Fundación Valencia Port). El uso del ferrocarril supone una gran oportunidad para España ya que es mucho más eficiente energéticamente que la carretera y permite reducir de forma importante las emisiones de CO₂. Además, España cuenta con la red ferroviaria más extensa de Europa, lo que le permitiría aprovechar una hipotética construcción masiva de ferrocarriles. Las empresas españolas fabricantes de ferrocarril deben aprovecharse de esto.

- **Digitalización de la cadena logística.** Plataformas como SIMPLE (sistema de digitalización del transporte y la logística de mercancías basado en una plataforma pionera para gestionar la cadena de suministro 'puerta a puerta' integrando el transporte ferroviario, marítimo y por carretera a efectos de garantizar la trazabilidad de los envíos en todo momento) o el uso de documentación digital permiten conectar carretera, ferrocarril, puertos y aeropuertos de forma más eficiente, comenta Javier Jaso (AECOC, Asociación Española de Codificación Comercial). Gracias a la digitalización se pueden reducir tiempos, evitar duplicidades y mejorar la trazabilidad de las mercancías. España tiene una buena oportunidad en el desarrollo de *software* y sistemas de gestión logística, como se comentó en el taller anterior.

- **Autopistas ferroviarias.** Desarrollo de autopistas ferroviarias en las que el vehículo pesado (camión o tráiler) transporta la mercancía en un primer tramo del viaje, luego se deposita a bordo del tren y se vuelve a bajar para usarse de nuevo en el último tramo. Esto reduce consumo energético, emisiones y congestión y resulta atractivo para las empresas de transporte.

2.8.2. BARRERAS A VENCER

- **Baja cuota ferroviaria y falta de competitividad.** La principal barrera es que el ferrocarril parte de una posición muy débil en España. Con tan poca cuota, es difícil competir con la carretera en precio y flexibilidad. Esto hace que muchas empresas no consideren el tren como una opción real, aunque sea más eficiente energéticamente.

- **Complejidad administrativa y normativa.** Otra barrera importante es la complejidad administrativa y la falta de coordinación entre territorios. Los trámites son largos y diferentes según la comunidad autónoma, lo que genera inseguridad y retrasa los proyectos. Esto desincentiva la inversión y dificulta el despliegue rápido de soluciones intermodales.

2.9. TALLER 9: TRANSPORTE AÉREO DE MERCANCÍAS Y PERSONAS

Taller organizado por las plataformas BIOPLAT, PAE y PTE-ee. Intervienen expertos de líneas aéreas, de navegación aérea, fabricantes de aeronaves y motores, organismos reguladores, investigadores académicos y miembros de la administración pública. Todos ellos aportan su visión empleando un enfoque multidisciplinar e identifican las principales vías de desarrollo y barreras del transporte aéreo de mercancías y personas.

2.9.1. OPORTUNIDADES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

- **Producción nacional de SAF.** Los expertos identifican el empleo de SAF como la herramienta clave de descarbonización a corto y medio plazo del transporte aéreo. Las alternativas son baterías con motores eléctricos e hidrógeno, ambas incipientes. España cuenta con alta disponibilidad de biomasa, capacidad renovable y tejido industrial para producir tanto SAF biogénico como sintético. Además, el uso de SAF permite llevar a cabo reducciones de emisiones de hasta el 80 % en todo su ciclo de vida, afirma Carolina Herrero (ALA, Asociación de Líneas Aéreas) y puede utilizarse sin modificar los motores actuales, lo que facilita su adopción inmediata.

- **Renovación de flotas y mejora de la eficiencia energética de las aeronaves.** Otra oportunidad clara está en la renovación progresiva de flotas, ya que los nuevos modelos de aeronaves (como A320neo o Boeing 787) ofrecen mejoras de eficiencia energética del 15-20 %, e incluso del 25-30 % respecto a modelos antiguos, comenta de nuevo Carolina Herrero. El desarrollo de nuevas arquitecturas, materiales más ligeros y motores más eficientes permite reducir consumo de combustible y emisiones sin cambiar radicalmente el modelo operativo.

- **Desarrollo de tecnologías de hidrógeno para aviación de corto alcance.** Aunque no es una solución inmediata para todos los vuelos, especialmente para aquellos de largo alcance, el hidrógeno aparece como una oportunidad tecnológica relevante para el medio y largo plazo. Fabricantes y empresas de motores trabajan ya en pilas de combustible y turbinas adaptadas a hidrógeno. España, aprovechando el gran ecosistema académico y de investigación que posee y la gran cantidad de horas de sol anuales, debe posicionarse como uno de los países líderes en el desarrollo de este bio-combustible.

- **Digitalización y gestión inteligente del espacio aéreo.** La digitalización del espacio aéreo es una de las oportunidades con mayor impacto en eficiencia energética. Francisco José Jiménez Roncero (ENAI, Entidad Pública Empresarial de Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea) comenta que proyectos como SESAR 3 permiten optimizar trayectorias, reducir esperas y acortar rutas, lo que puede

suponer una reducción de hasta el 9 % del consumo de combustible. España, a través de ENAIRE, tiene un papel relevante en estos desarrollos, lo que la sitúa en una posición estratégica para liderar la gestión del tráfico aéreo del futuro.

- **Otras menos importantes** como reconversión industrial, generación de empleo verde, innovación en nuevos motores y sistemas de impulsión, posibilidad de establecer alianzas multisectoriales y gobernanza compartida.

2.9.2. BARRERAS A VENCER

- **Dificultad de electrificación del transporte aéreo de medio y largo radio.** Para vuelos que cubren trayectos largos, la electrificación aún no se ha logrado. Las baterías actuales no tienen densidad energética suficiente, lo que limita el uso de soluciones eléctricas a aeronaves pequeñas o aplicaciones muy concretas.

- **Coste elevado y escasas plantas de producción de SAF.** Aunque el SAF es clave, su producción actual es limitada pues apenas hay plantas y su coste es significativamente superior al del queroseno convencional. En 2025, el uso obligatorio del 2 % de SAF (a través del reglamento *ReFuel* EU) ya ha supuesto un sobrecoste de más de 234 millones de euros para las aerolíneas en España, detalla Carolina Herrero. Sin incentivos claros, esto pone en riesgo la viabilidad económica del sector.

- **Inestabilidad y falta de coordinación legislativa.** Una de las barreras más importantes es la falta de compatibilidad entre los marcos regulatorios europeos (ETS, *ReFuel* EU, RED II) y los internacionales (CORSIA). Esta descoordinación genera incertidumbre en productores e inversores, dificulta la trazabilidad de los combustibles y retrasa decisiones de inversión en plantas de SAF.

- **Otras menos importantes** como elevados costes operativos para aerolíneas (marcados por la desaparición de derechos gratuitos de emisión en el ETS y el aumento progresivo de las obligaciones ambientales), falta de personal cualificado y desigualdad regulatoria a nivel internacional.

2.10. TALLER 10: TRANSPORTE MARÍTIMO DE MERCANCÍAS Y PERSONAS

Taller organizado por PTE-ee y *Logistop* en el que se analiza por parte de expertos del sector la problemática del transporte marítimo actual en relación a su difícil electrificación, elevados costes de tecnologías habilitadoras y los confusos cambios regulatorios dominantes. A continuación, se identifican las principales vías de desarrollo y barreras del sector.

2.10.1. OPORTUNIDADES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

- **Electrificación de los puertos.** Una de las principales oportunidades para España en el transporte marítimo es la electrificación de los puertos mediante sistemas OPS (*Onshore Power Supply*), que permiten a los buques conectarse a la red eléctrica cuando están atracados y apagar sus motores auxiliares. Esto reduce de forma significativa las emisiones de CO₂, NO_x y SO_x en entornos portuarios, mejorando la calidad del aire en ciudades costeras. Dado el peso estratégico de los puertos españoles en el tráfico mediterráneo y atlántico, el despliegue masivo de estas soluciones puede situar a España como referente en transición energética portuaria.

- **Desarrollo e implementación de biocombustibles, combustibles sintéticos y nuevas tecnologías a largo plazo.** Otra gran oportunidad está en el desarrollo y suministro de combustibles alternativos como biocombustibles avanzados, metanol renovable, amoníaco verde o hidrógeno. El transporte marítimo de larga distancia es muy difícil de electrificar, por lo que estos combustibles se perfilan como soluciones clave para cumplir con los objetivos de descarbonización. Bosco Serrano, en representación de T&E, menciona que España debe fijar un porcentaje mínimo de utilización de biocombustibles o combustibles sintéticos para lograr los objetivos marcados para 2050, así como una regulación adecuada en relación a su uso. También se visualiza una posible utilización de pequeños reactores modulares SMR (*Small Modular Reactors*) a bordo de buques que suministren a la batería de energía eléctrica constante, aunque esta alternativa es más a largo plazo. Elena Seco, presidenta de la Asociación de Navieros Españoles (ANAVE), afirma que su desarrollo está siendo muy rápido y no duda que los veremos en operación antes de lo que podamos pensar.

- **Electrificación de travesías de corta distancia.** En el transporte marítimo de corta distancia y en los ferris, especialmente en conexiones insulares, existe un importante potencial de electrificación parcial e hibridación mediante baterías y sistemas híbridos. Estas soluciones permiten reducir emisiones locales y ruido en trayectos relativamente cortos, donde la autonomía eléctrica es ya viable.

- **Adaptabilidad de marcos regulatorios globales a la normativa europea.** Tal y comenta Elena Seco, la normativa mundial en ocasiones no se adapta a los problemas existentes en España, por tanto, existe una gran oportunidad para avanzar en la descarbonización en este aspecto actualizando la reglamentación a necesidades más específicas que puedan surgir en el sector.

- **Oportunidad para financiación a partir del régimen de derechos de emisión de CO₂ ETS.** Existe una gran oportunidad para que el capital recaudado de este mecanismo de mercado sobre créditos de CO₂ pueda ser empleado en financiación de proyectos de descarbonización.

2.10.2. BARRERAS A VENCER

- **Inversiones elevadas en electrificación de puertos.** Una de las principales barreras es el elevado coste de inversión inicial, tanto en infraestructuras portuarias como en renovación o adaptación de flotas. La electrificación de muelles requiere refuerzos significativos de la red eléctrica y nuevas subestaciones, mientras que la transición hacia combustibles alternativos implica modificar motores, sistemas de almacenamiento y cadenas logísticas. Elena Seco y Pedro Seco, de Sedigás, ponen énfasis en el elevado coste que supondría aumentar la longitud de una línea eléctrica para que llegue a un puerto y así poder cargar la batería del buque.

- **Limitaciones técnicas en la construcción y desarrollo de baterías eléctricas.** También existen limitaciones técnicas, especialmente en la electrificación total de buques de gran tamaño, debido al elevado peso y coste de las baterías y a las necesidades energéticas del transporte oceánico.

- **Inestabilidad reglamentaria y normativa confusa.** La normativa vigente es en ocasiones confusa y muy cambiante y eso provoca que no se ejecuten inversiones que ya estaban programadas para acelerar la descarbonización del sector.

ANEXO Tablas resumen

TALLER	OPORTUNIDADES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO	BARRERAS ASOCIADAS
<p>1.</p> <p>FUENTES DE ENERGÍA</p> 	<p>Enorme potencial para el desarrollo y producción local de biocombustibles, H₂ renovable, SAF y biometano en sectores de difícil electrificación, sacar partido a la enorme cantidad de biomasa que tenemos para exportar biocombustibles a Europa, gran oportunidad para promover la adopción del VE y construcción de redes para absorber la demanda.</p>	<p>Tramitación lenta y compleja de plantas de biocombustibles, baja aceptación social, redes eléctricas saturadas, falta de hojas de ruta claras y elevados costes de tecnologías como el hidrógeno renovable.</p>
<p>2.</p> <p>TECNOLOGÍAS HABILITADORAS</p> 	<p>Liderazgo español en tecnologías de geolocalización y navegación por satélite, impulso a auditorías acerca de ciberseguridad y defensa, desarrollo de 5G y <i>edge computing</i> para el transporte del futuro y aprovechamiento de la IA y sensores inteligentes para la producción de vehículos de conducción autónoma.</p>	<p>Desfase entre tecnología y regulación, falta de armonización normativa con respecto a Bruselas, brechas de cobertura digital en zonas rurales, elevados costes de inversión y desconfianza social hacia sistemas autónomos.</p>
<p>3.</p> <p>MOVILIDAD URBANA</p> 	<p>Impulso al desarrollo de sistemas ITS para optimizar tráfico, oportunidad de electrificación y uso de hidrógeno en flotas urbanas, desarrollo de soluciones de última milla y aprovechamiento de subvenciones públicas del Estado.</p>	<p>Marcos regulatorios rígidos, falta de profesionalización en la toma de decisiones técnicas, desinformación ciudadana acerca de nuevos biocombustibles o movilidad eléctrica y despliegue desigual de puntos de recarga de VE.</p>
<p>4.</p> <p>MOVILIDAD INTERURBANA</p> 	<p>Refuerzo del ferrocarril, impulso de la electrificación del transporte privado y público por carretera (especialmente en trayectos de media distancia), desarrollo de plataformas de movilidad como servicio y uso combinado de tecnologías (VE, biocombustibles, H₂) según trayecto.</p>	<p>Falta de infraestructura de recarga fuera de grandes núcleos, resistencia social al cambio de hábitos, inestabilidad regulatoria y escasa coordinación entre administraciones.</p>

TALLER	OPORTUNIDADES DE DESARROLLO TECNOLÓGICO	BARRERAS ASOCIADAS
<p>5.</p> <p>MOVILIDAD EN LA ESPAÑA DESPOBLADA</p> 	<p>Empleo de biocombustibles y electrificación del vehículo privado vinculada a renovables locales (FV que alimenta a estaciones de recarga y plantas de biometano), despliegue de recarga distribuida, impulso al <i>car pooling</i> rural y establecimiento de incentivos para una mayor tasa de utilización de transporte público.</p>	<p>Dependencia estructural del coche privado, escasez de puntos de recarga de VE, brecha digital y envejecimiento poblacional, falta de inversión y planificación coordinada.</p>
<p>6.</p> <p>MERCANCÍAS EN CIUDADES</p> 	<p>Impulso del VE para el transporte de mercancías en la última milla (recorridos cortos y bajas velocidades), oportunidad para establecer puntos de recarga nocturna en bases logísticas, digitalización de rutas para su optimización y establecimiento de <i>lockers</i> urbanos.</p>	<p>Lentos procesos de acceso y conexión a red, dificultades urbanísticas para instalar recarga, falta de homogeneidad normativa entre CCAA y baja colaboración entre operadores logísticos.</p>
<p>7.</p> <p>MERCANCÍAS MEDIA Y LARGA DISTANCIA</p> 	<p>Desarrollo de infraestructura ferroviaria e impulso de la intermodalidad carretera - ferrocarril, electrificación del transporte pesado en media distancia, desarrollo del biometano, hidrógeno y otros combustibles sintéticos, y desarrollo de plataformas digitales que optimizan los trayectos.</p>	<p>Baja capacidad inversora de pymes y autónomos para adquirir vehículos eléctricos o adaptarse a nuevas tecnologías, inestabilidad de ayudas públicas y complejidad administrativa.</p>
<p>8.</p> <p>INTERMODALIDAD FERROCARRIL - CARRETERA - PUERTOS - AEROPUERTOS</p> 	<p>Impulso al ferrocarril (aprovechando la extensa red que posee España), desarrollo de autopistas ferroviarias, digitalización integral de la cadena logística con plataformas como SIMPLE y desarrollo de software logístico avanzado.</p>	<p>Muy baja cuota ferroviaria, falta de competitividad frente a la carretera, trámites administrativos complejos y descoordinación territorial.</p>
<p>9.</p> <p>TRANSPORTE AÉREO</p> 	<p>Impulso a la producción nacional de SAF, a la renovación de flotas (que implican mejoras de eficiencia en torno al 15-30 %), a la digitalización del espacio aéreo (SESAR 3) y al desarrollo de hidrógeno para aviación de corto alcance.</p>	<p>Coste de producción elevado y escasez de SAF, dificultad de electrificación en vuelos largos, descoordinación regulatoria internacional y aumento de costes operativos para aerolíneas.</p>
<p>10.</p> <p>TRANSPORTE MARÍTIMO</p>	<p>Electrificación de travesías de corto alcance y estaciones portuarias, desarrollo e implementación de biocombustibles y combustibles sintéticos, adaptabilidad de marcos regulatorios globales a la normativa europea y financiación alternativa a partir de los fondos recaudados en el mercado ETS.</p>	<p>Elevado coste de inversión, limitaciones técnicas en la construcción y en el desarrollo de baterías eléctricas e inestabilidad reglamentaria y normativa confusa.</p>



Plataforma
tecnológica española de
eficiencia energética



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES