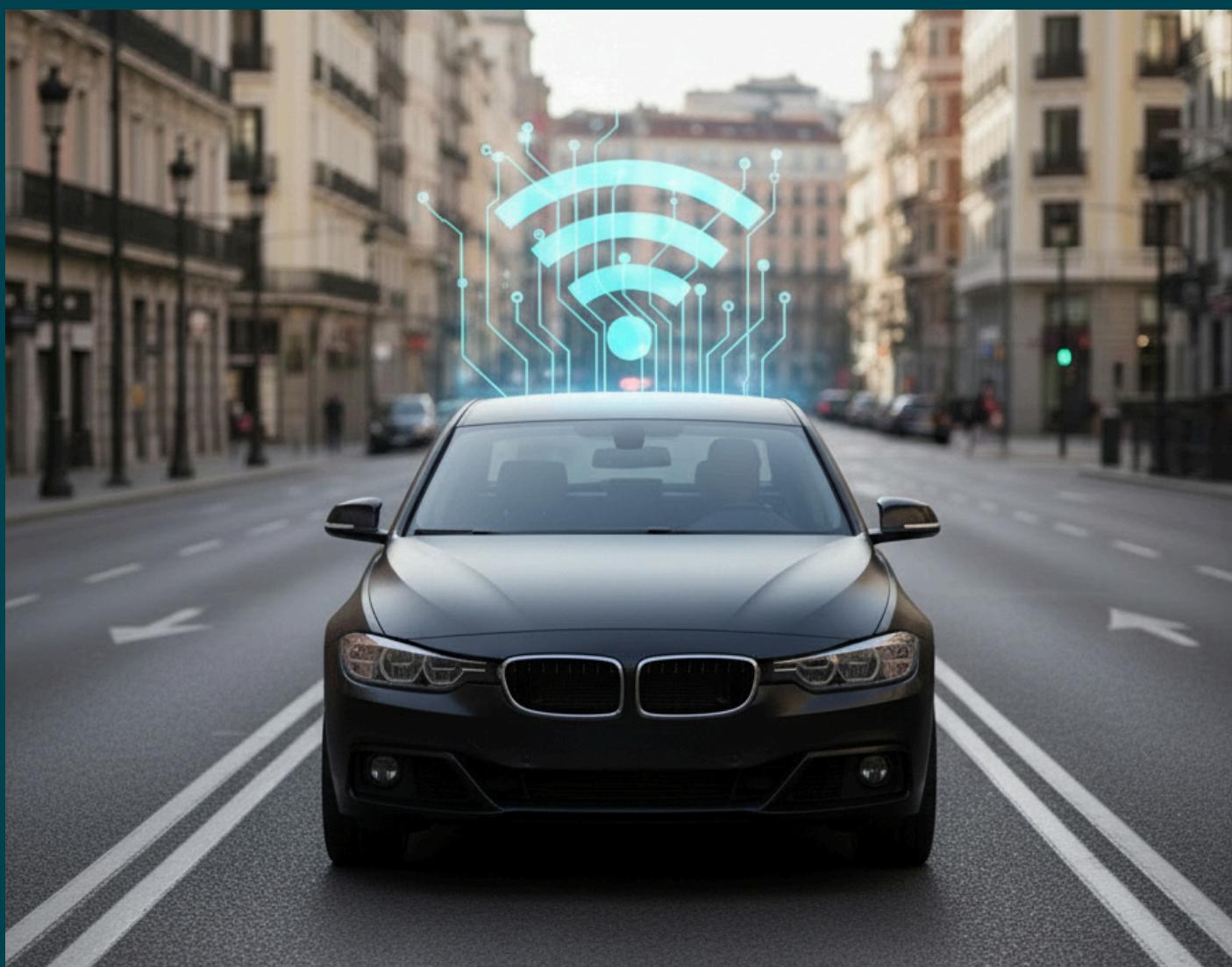


2025

Libro Blanco MOVINN

Tecnologías emergentes en movilidad conectada
y su impacto en la regulación

GRUPO DE TRABAJO DIN - MOVINN



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



Plan de
Recuperación,
Transformación
y Resiliencia

RESUMEN EJECUTIVO

La movilidad del futuro ya no es una aspiración tecnológica: es un proceso de transformación profunda que afecta a la manera en que planificamos nuestras ciudades, gestionamos el transporte, garantizamos la seguridad y utilizamos los datos. España se encuentra en un momento decisivo para avanzar hacia una movilidad conectada, cooperativa y automatizada (CCAM), en la que vehículos, infraestructuras, datos, inteligencia artificial y sistema energético convergen para formar un sistema único, más seguro, más eficiente y más sostenible.

El Libro Blanco MOVINN nace, precisamente, para acompañar ese proceso. Elaborado en el seno del Grupo de Trabajo de Desarrollo e Innovación Normativa (GT-DIN) del Proyecto MOVINN, este documento combina el conocimiento técnico de los agentes del ecosistema con una mirada jurídica y estratégica que busca responder a una pregunta clave: ¿cómo podemos garantizar que la regulación avance al ritmo de la tecnología y la habilite sin frenar su potencial? ¿cómo podemos dar soporte al ecosistema para acelerar la adopción y transferencia de tecnologías emergentes?

El análisis realizado muestra que España cuenta con fortalezas importantes: un ecosistema tecnológico en madurez avanzada, un marco sólido de pruebas y ensayos (ES-AV), una infraestructura digital emergente liderada por DGT 3.0 y un futuro Espacio de Datos Integrado de Movilidad (EDIM) que podría colocar al país en una posición de liderazgo europeo si se dan determinadas circunstancias que se proponen en este documento. Además, la llegada del AI Act, el Data Act, la Directiva ITS y NIS2 abre una oportunidad histórica para alinear el marco español con la nueva agenda europea.

Sin embargo, persisten desafíos estructurales que impiden pasar del piloto a la operación regular: ausencia de una estrategia CCAM estatal, fragmentación normativa entre administraciones, falta de estándares nacionales de infraestructuras conectadas, insuficiente integración del dato y de la ciberseguridad como columna vertebral del sistema, y una escasez de instrumentos de innovación regulatoria adaptados a las tecnologías digitales.

Lejos de ser obstáculos insalvables, estos retos representan una oportunidad. El GT-DIN ha identificado tres líneas de transformación que pueden situar a España entre los países líderes en movilidad automatizada:

1. **Un marco de gobernanza e interoperabilidad CCAM unificado**, que articule vehículo, infraestructura, datos, IA y ciberseguridad a través de estándares comunes y responsabilidades claras.
2. **Instrumentos regulatorios dinámicos** que permitan ensayar, supervisar y actualizar tecnologías mientras se despliegan, reduciendo la incertidumbre y reforzando la seguridad jurídica.
3. **Una contratación pública innovadora**, capaz de acelerar la transición tecnológica mediante requisitos de conectividad, digitalización, datos y neutralidad tecnológica.

MOVINN no propone simplemente un cambio normativo; propone un cambio de cultura: entender que una buena regulación no es un límite, sino una **palanca de competitividad y confianza**, y que solo mediante la cooperación entre administraciones, industria, centros tecnológicos y ciudadanía podremos construir una movilidad automatizada segura, inclusiva y con impacto real.

Contenido

1. Introducción: La Movilidad Inteligente como Ecosistema Interconectado	5
1.1. Contexto del proyecto MOVINN y del Grupo de Trabajo DIN	6
1.2. Objetivos del Libro Blanco	7
1.3. Metodología de trabajo (hojas Excel, encuestas, entrevistas, eventos)	7
1.4 Ámbitos tecnológicos y normativos analizados	8
2. Áreas de actuación del GT-DIN	10
2.1. Vehículo Autónomo	10
2.2. Infraestructuras Conectadas	10
2.3. Movilidad Conectada y Automatizada (CCAM)	10
2.4. Energías Renovables en Carreteras	10
2.5. Espacio de Datos en Movilidad	11
2.6. Ciberseguridad	11
2.7. Inteligencia Artificial en Movilidad	11
3. Mapa normativo	12
3.1. Ámbito internacional	12
3.2. Ámbito Europeo	13
3.3. Ámbito nacional de la regulación en movilidad conectada y automatizada	14
4. Diagnóstico transversal de ecosistema	15
4.1. Retos y barreras identificadas	15
4.2. Oportunidades y líneas de innovación normativa	16
4.3 Casos de éxito y buenas prácticas	17
5. Recomendaciones estratégicas, políticas y normativas	19
Conclusiones	24

1. Introducción: La Movilidad Inteligente como Ecosistema Interconectado

La movilidad del siglo XXI se construye sobre la integración de múltiples tecnologías que, lejos de operar de manera aislada, funcionan como un ecosistema interconectado. Este ecosistema combina vehículos cada vez más automatizados y conectados, infraestructuras inteligentes, inteligencia artificial aplicada, fuentes de energía renovable, sistemas avanzados de ciberseguridad y espacios compartidos de datos. Su desarrollo coordinado permite avanzar hacia un modelo de movilidad más segura, eficiente, y sostenible.

El vehículo autónomo constituye uno de los nodos más visibles de este ecosistema: un sistema capaz de tomar decisiones de conducción mediante sensores avanzados (como cámaras, radares o LIDAR) y algoritmos de inteligencia artificial. Pero su funcionamiento real depende directamente de otros componentes: necesita infraestructuras conectadas que le proporcionen información en tiempo real sobre el entorno, sistemas de comunicación V2X (vehicle-to-everything) que garanticen la interoperabilidad, y espacios de datos donde las administraciones, empresas y operadores comparten información de forma segura.

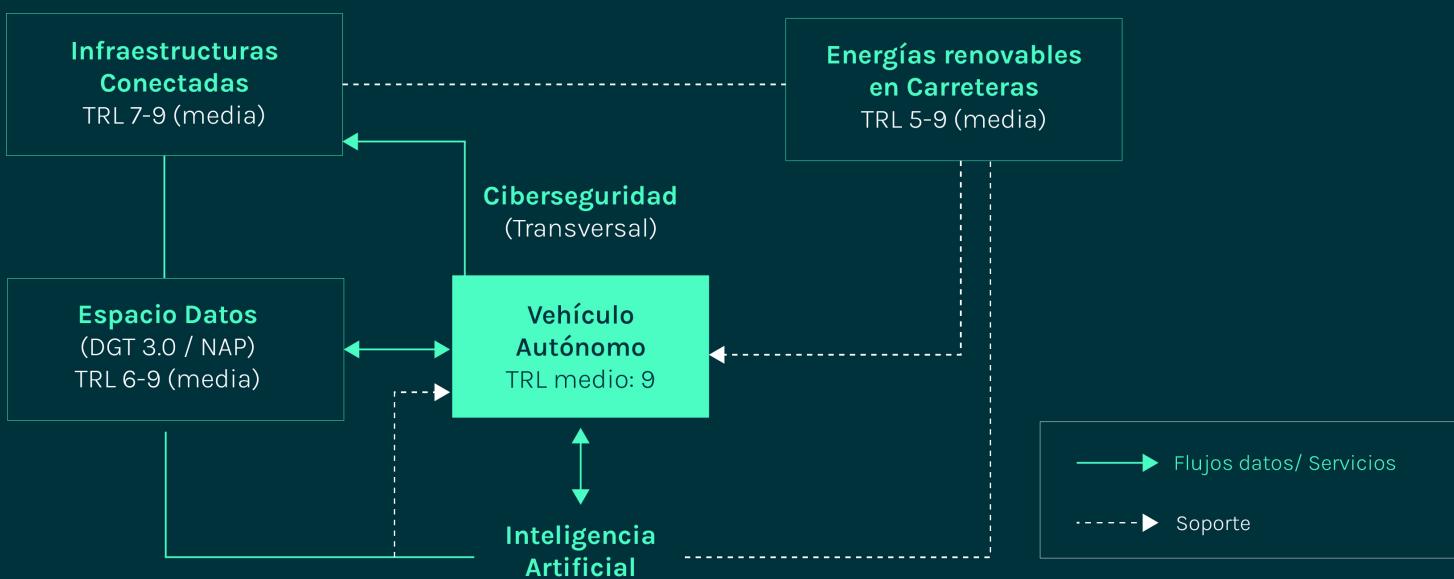
Al mismo tiempo, este sistema se apoya en una **capa transversal de ciberseguridad**, que protege las comunicaciones y evita riesgos derivados

de ataques o fallos en el software, y en un **entorno normativo sobre inteligencia artificial**, que asegura que los sistemas automatizados actúen de forma ética, explicable y conforme a los principios de seguridad jurídica. Finalmente, las **energías renovables aplicadas a las carreteras** –como el uso de pavimentos solares, puntos de recarga inteligentes o generación distribuida– completan la transición hacia una movilidad baja en emisiones, resiliente y digitalmente integrada.

Cada una de estas tecnologías presenta niveles de **madurez técnica (Technology Readiness Level, TRL)** distintos. Algunas, como el vehículo autónomo o la conectividad 5G, ya alcanzan **TRL 8 o 9**, es decir, están listas para un uso comercial. Sin embargo, en movilidad inteligente, la eficacia de todo el conjunto depende de la sincronización entre los elementos técnicos y su habilitación normativa.

Y es precisamente aquí donde entra el papel decisivo de la **normativa**. La regulación puede tener **dos efectos** sobre la innovación tecnológica:

- 4. Limitar el desarrollo tecnológico** cuando las definiciones o requisitos legales están pensados para escenarios obsoletos, o inadaptados a la innovación.



5. **Bloquear el despliegue**, incluso cuando la tecnología ya está lista (TRL alto), si no existen procedimientos legales para autorizar su uso, establecer responsabilidades o garantizar la seguridad de los datos. Es decir, la tecnología puede estar técnicamente madura, pero jurídicamente “inutilizable”.

Por ello, alcanzar un ecosistema de movilidad inteligente requiere **doble madurez**:

- **Madurez tecnológica**, que garantice que las soluciones son seguras, interoperables y fiables.
- **Madurez regulatoria**, que asegure que esas soluciones pueden operar legalmente dentro de un marco claro de responsabilidades, ciberseguridad y gobernanza de datos.

Si alguno de los elementos del ecosistema (tecnológico o normativo) se queda atrás, se rompe la cadena. Una infraestructura sin estándares comunes puede impedir que un vehículo conectado funcione correctamente, y una normativa desactualizada puede dejar fuera del mercado a una tecnología plenamente funcional.

El reto, por tanto, no es solo innovar más rápido, sino **regular mejor y de forma coordinada**, creando un entorno que **habilite el despliegue seguro, ético y legal** de la innovación. El verdadero salto hacia la movilidad inteligente se dará cuando **todas las piezas del ecosistema alcancen simultáneamente una alta madurez técnica y una plena habilitación normativa**, permitiendo que el progreso tecnológico se traduzca en beneficios tangibles para la ciudadanía, las empresas y las administraciones públicas.

La **regulación es un elemento central en la competitividad del ecosistema** de movilidad. Un marco jurídico adecuado no solo garantiza seguridad y confianza, sino que permite:

- Reducir costes de transacción
- Estimular inversión
- Facilitar interoperabilidad y estandarización
- Acortar tiempos de llegada al mercado
- Potenciar la cooperación internacional
- Crear nuevas oportunidades industriales y tecnológicas

Con este marco conceptual, el Libro Blanco

avanza ahora hacia la descripción de las áreas tecnológicas analizadas por el GT-DIN, punto de partida necesario para comprender las implicaciones normativas que se desarrollan en los siguientes capítulos.

1.1. Contexto del proyecto MOVINN y del Grupo de Trabajo DIN

El proyecto **MOVINN** (Ecosistema de Movilidad Inteligente, Conectada y Sostenible) se enmarca en el programa **Ecosistemas de Innovación del CDTI**, dentro del **Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación y del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia (NextGenerationEU)**. Nace con el propósito de fortalecer la cooperación entre los principales agentes de la movilidad –centros tecnológicos, industria, administraciones y empresas innovadoras– para acelerar la adopción de tecnologías emergentes que transformen la movilidad hacia un modelo más seguro, automatizado, digital y sostenible.

MOVINN amplía y da continuidad a la **Red Cervera Integra**, integrando el conocimiento acumulado en torno a la **movilidad conectada, cooperativa y automatizada (CCAM)** y trasladándolo a un enfoque de ecosistema nacional. En este marco, se estructura en torno a diversas **actividades colaborativas**, de capacitación y difusión, entre las que destaca la creación de **grupos de trabajo especializados (GT)**.

MOVINN nace como un ecosistema de referencia nacional, concebido para conectar conocimiento, tecnología y regulación en torno a la movilidad del futuro. Este enfoque integrador pretende superar las barreras de fragmentación sectorial y avanzar hacia una **movilidad conectada, cooperativa y automatizada (CCAM)**, con infraestructuras inteligentes y un marco regulatorio adaptativo.

En este contexto, se crea el **Grupo de Trabajo de Desarrollo e Innovación Normativa (GT-DIN)**, coordinado por **Impulso Mobility**, como **eje jurídico y de gobernanza del ecosistema MOVINN**. Su función no es únicamente analizar la normativa existente, sino **convertir la regulación en una herramienta activa de innovación**, capaz de acompañar y acelerar el despliegue tecnológico.

Mientras MOVINN impulsa la colaboración tecnológica y la madurez de los distintos ámbitos

—vehículo autónomo, IA, datos, ciberseguridad o energías renovables—, el GT-DIN asegura que estos avances se produzcan dentro de un **marco jurídico seguro, coherente y facilitador**, anticipando los desafíos normativos que pueden frenar la innovación. Su misión es **alinear la velocidad de la ley con la velocidad de la tecnología**, promoviendo una cultura de “**innovación normativa**” donde el derecho actúe como catalizador y no como obstáculo.

De este modo, el GT-DIN contribuye al objetivo central de los Ecosistemas de Innovación del CDTI: **acelerar la adopción y transferencia de tecnologías emergentes**, pero desde la óptica del marco regulatorio, generando **confianza institucional, seguridad jurídica y entornos experimentales (sandbox)** que faciliten el paso de la investigación al mercado. La innovación, por tanto, se concibe como un proceso **tecnológico y jurídico al mismo tiempo**, donde la norma se convierte en palanca para la competitividad y la sostenibilidad del nuevo modelo de movilidad.



1. 2. Objetivos del Libro Blanco

El **Libro Blanco MOVINN sobre Tecnologías Emergentes en Movilidad Conectada y su Impacto en la Regulación** constituye el resultado más relevante del trabajo colaborativo desarrollado por el **Grupo de Trabajo DIN**, dentro del marco del ecosistema MOVINN. Su finalidad es ofrecer una **visión compartida, prospectiva y aplicada** de cómo la regulación puede convertirse en un **instrumento de impulso tecnológico**, acompañando la innovación

en lugar de ir a remolque de ella.

Lejos de limitarse a un análisis jurídico, el Libro Blanco pretende **construir un lenguaje común entre tecnología, industria y derecho**, creando puentes entre tres planos esenciales: el técnico (qué puede hacerse), el normativo (qué debe hacerse) y el estratégico (cómo y cuándo hacerlo). En este sentido, el documento persigue **alinear el marco regulatorio con la evolución real de la movilidad inteligente**, facilitando la transición hacia modelos de gobernanza más ágiles, experimentales y colaborativos.

Entre sus propósitos centrales se encuentran:

- **Identificar los retos regulatorios** que condicionan el despliegue de las tecnologías emergentes en movilidad, desde la automatización y los datos hasta la ciberseguridad o la energía.
- **Proponer posibles soluciones innovadoras** —estándares adaptativos, certificaciones dinámicas, marcos de interoperabilidad— que permitan acelerar la adopción tecnológica con seguridad y confianza.
- **Ofrecer un marco de reflexión y acción conjunta**, que posicione a España como referente en innovación normativa aplicada a la movilidad inteligente.

En definitiva, el Libro Blanco no es un documento técnico más, sino una **herramienta de gobernanza para la transformación**. Aspira a demostrar que la **regulación puede ser innovadora**, que los marcos jurídicos pueden diseñarse de forma anticipada y colaborativa, y que solo así será posible una movilidad verdaderamente conectada, automatizada y sostenible.

1. 3. Metodología de trabajo (hojas Excel, encuestas, entrevistas, eventos)

El trabajo del **Grupo de Trabajo de Desarrollo e Innovación Normativa (GT-DIN)** se ha desarrollado siguiendo una metodología abierta, colaborativa y orientada a resultados, en plena coherencia con los principios del programa **Ecosistemas de Innovación del CDTI**. El enfoque metodológico se ha diseñado para asegurar la **co-creación entre agentes tecnológicos, jurídicos e institucionales**,

permitiendo combinar la visión estratégica de la industria con la experiencia regulatoria y la perspectiva científica.

1. Estructura de trabajo y fuentes

El punto de partida fue la definición de las **áreas tecnológicas prioritarias** –vehículo autónomo, infraestructuras conectadas, CCAM, energías renovables, espacio de datos, ciberseguridad e inteligencia artificial–, cada una abordada como **línea de análisis específica**. Para cada área, el grupo elaboró una matriz de trabajo en formato Excel, en la que se identificaron:

- El **marco regulatorio vigente** (europeo, nacional y local),
- Los **retos jurídicos y técnicos** asociados,
- Las **oportunidades de innovación normativa**, y
- Las **recomendaciones estratégicas y políticas**.

Estas matrices fueron alimentadas de forma conjunta por los miembros del ecosistema MOVINN y constituyen la base empírica sobre la que se sustenta el Libro Blanco.

2. Procesos participativos y contrastación

El GT-DIN aplicó una metodología participativa basada en la combinación de **métodos cualitativos y deliberativos**:

- **Encuestas estructuradas** a expertos y entidades del ecosistema para recoger percepciones sobre barreras y necesidades regulatorias.
- **Entrevistas semiestructuradas** con representantes de administraciones públicas, industria y centros tecnológicos, orientadas a identificar prioridades normativas y buenas prácticas.
- **Mesas redondas temáticas y sesiones de contraste**, celebradas en el marco de los encuentros MOVINN, donde se validaron los hallazgos y se formularon propuestas conjuntas.
- **Eventos y talleres** específicos, entre ellos el MOVINN Regulatory Innovation Workshop, concebido como espacio de diálogo entre innovación y norma.

3. Integración de resultados

Los resultados obtenidos se sistematizaron en una **metodología de síntesis iterativa**, median-

te la cual se fueron cruzando los hallazgos tecnológicos con los marcos legales y las tendencias europeas. Este proceso permitió identificar **patrones comunes y líneas transversales de innovación regulatoria**.

El producto final –el **Libro Blanco del GT-DIN**– integra así evidencia empírica, análisis comparado y reflexión estratégica, ofreciendo un documento de referencia para orientar la acción pública y privada en el despliegue normativo de las tecnologías emergentes en movilidad.

1. 4 Ámbitos tecnológicos y normativos analizados

El trabajo del GT-DIN se ha estructurado en torno a siete **ámbitos tecnológicos estratégicos**, seleccionados por su capacidad para redefinir la movilidad y por el grado de transformación regulatoria que implican. Todos ellos comparten un denominador común: la necesidad de **un marco jurídico dinámico, interoperable y orientado al dato**, capaz de acompañar la innovación sin frenarla.



En primer lugar, el **vehículo autónomo** constituye el núcleo más visible de esta revolución. Su despliegue no depende solo de la madurez tecnológica, sino de la creación de un ecosistema regulatorio que aborde cuestiones de **seguridad, responsabilidad civil, ética y certificación**. Es, básicamente, el lugar donde comprobamos cómo se entienden la tecnología autónoma y las normas de circulación.

El segundo ámbito, las **infraestructuras conectadas**, amplía la mirada hacia la red que hace posible esa autonomía. Carreteras sensorizadas, comunicaciones V2X y plataformas digitales requieren estándares comunes, reglas claras sobre **interoperabilidad, mantenimiento de datos y go-**

beranza de infraestructuras digitales, y una revisión del papel de la administración como gestora de activos inteligentes.

La **movilidad conectada y automatizada (CCAM)** representa la integración de ambos mundos –vehículo e infraestructura– bajo un modelo cooperativo. Aquí el reto no es solo tecnológico, sino **institucional y normativo**: cómo coordinar niveles de administración, cómo compartir datos en tiempo real y cómo garantizar que la automatización sea inclusiva, segura y compatible con la movilidad urbana y rural.

El cuarto eje, las **energías renovables en carreteras**, conecta la movilidad con la transición energética. El despliegue de fuentes renovables, puntos de recarga y generación distribuida requiere un marco jurídico que permita **integrar energía y transporte**, favoreciendo nuevos modelos de negocio, autoconsumo en infraestructuras y corredores energéticamente neutros.

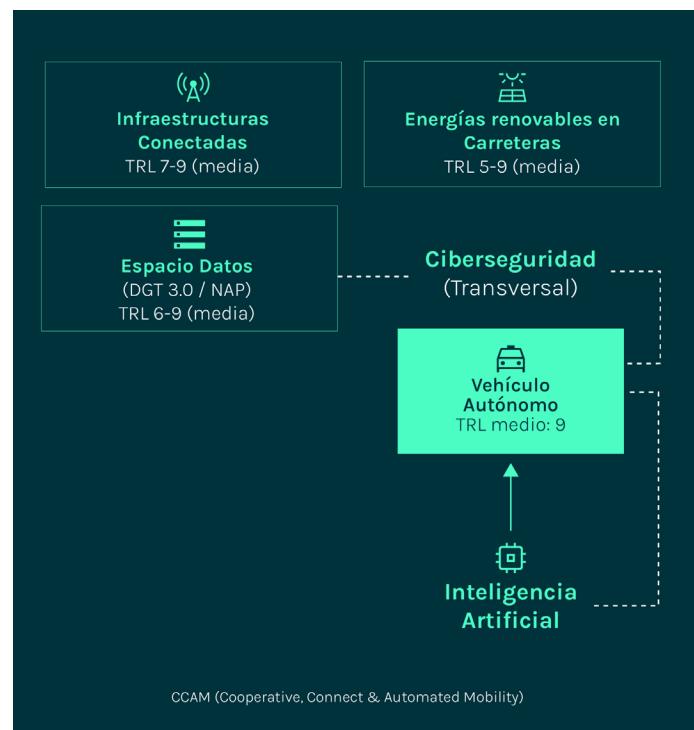
El **espacio de datos en movilidad** constituye la columna vertebral de esta transformación. Los datos son ya el nuevo combustible de la movilidad, y su gestión exige reglas precisas sobre **acceso, interoperabilidad, neutralidad y reutilización**, en línea con el **Data Act** y los **principios FAIR**. La creación de espacios de datos europeos y nacionales será determinante para asegurar un ecosistema basado en la confianza y la transparencia.

La **ciberseguridad en movilidad**, por su parte, se convierte en la condición sine qua non de todo el sistema. Cada sensor, cada vehículo y cada infraestructura son potenciales puntos de vulnerabilidad. Integrar el marco **NIS2**, los estándares **UNE-ISO** y los principios de resiliencia digital en el diseño de la movilidad conectada es una prioridad tanto jurídica como estratégica.

Finalmente, la **inteligencia artificial aplicada a la movilidad** introduce un nuevo paradigma en la toma de decisiones automatizadas: desde la gestión predictiva del tráfico hasta la conducción autónoma. Su regulación exige asegurar **responsabilidad, trazabilidad y supervisión humana**, en coherencia con el **AI Act** y con un enfoque ético que preserve los derechos fundamentales en entornos digitales.

Estos siete ámbitos conforman un **mapa regulatorio integral** que refleja la convergencia de tecnología, energía, datos y derecho. Su análisis coordinado permite al GT-DIN anticipar las implicaciones normativas de cada innovación y diseñar **propuestas transversales**, no fragmentadas, que sitúen a España en la vanguardia europea de la regulación tecnológica aplicada a la movilidad.

En el siguiente capítulo se detallan los marcos normativos internacional, europeo y español que condicionan el despliegue de estos siete ámbitos tecnológicos.



2. Áreas de actuación del GT-DIN

En las secciones anteriores ya se han presentado los ejes estratégicos de MOVINN, pero antes de avanzar hacia el análisis jurídico y regulatorio es necesario describir con claridad el punto de partida tecnológico de cada área. Esta sección sintetiza el estado del arte tecnológico en España a través de la información recopilada en encuestas, sesiones técnicas y mesas del GT-DIN, ofreciendo una fotografía precisa de los niveles de madurez (TRL) y de las tecnologías clave en cada vertical. Estos elementos constituyen la base sobre la que se apoyará el análisis de impacto regulatorio y las necesidades normativas desarrolladas en los capítulos posteriores.



2. 1. Vehículo Autónomo

El ámbito del vehículo autónomo presenta el mayor grado de madurez tecnológica del ecosistema analizado, con múltiples subsistemas ya en fase precomercial o plenamente operativa (TRL 8-9). Las tecnologías clave abarcan sensores avanzados como LIDAR, cámaras con IA integrada y radar, elementos esenciales para la percepción y la redundancia. La IA embarcada –clasificada como de alto riesgo bajo el AI Act– requiere trazabilidad y supervisión. La conectividad 5G habilita comunicaciones V2X, mientras que la cartografía HD, la simulación avanzada y los gemelos digitales permiten validación continua del comportamiento del vehículo. Las arquitecturas electrónicas basadas en UNECE R155/R156 y los primeros sistemas ALKS completan una cadena tecnológica madura, a falta de un marco jurídico integral para su despliegue pleno.

2. 2. Infraestructuras Conectadas

Las infraestructuras conectadas presentan una madurez creciente, con tecnologías V2I, IoT vial y analítica predictiva en niveles TRL 7-9. El GT-DIN identificó avances significativos en digitalización de semáforos, sensores ambientales, pavimentos y sistemas ITS, así como en gemelos digitales de carretera para simulación y mantenimiento predictivo. La recarga eléctrica inteligente –estática y dinámica– y la integración de realidad aumentada en diseño BIM/GIS muestran potencial operativo, aunque precisan marcos normativos y estándares comunes para garantizar interoperabilidad. La infraestructura se posiciona así como un pilar crítico para habilitar servicios CCAM escalables.

2. 3. Movilidad Conectada y Automatizada (CCAM)

La movilidad CCAM integra vehículo, infraestructura, energía, plataformas de servicio y conectividad, conformando el ámbito más transversal del ecosistema. Tecnologías maduras como el vehículo eléctrico (TRL 9), MaaS y plataformas multimodales contrastan con otras aún emergentes como baterías de estado sólido o V2G. Las comunicaciones V2V/V2N muestran alta madurez, mientras que V2P sigue en transición. La movilidad aérea urbana (UAM) y los vehículos definidos por software completan un panorama tecnológico donde la interoperabilidad y los estándares de servicio serán determinantes para el futuro de los despliegos.

2. 4. Energías Renovables en Carreteras

Es el ámbito donde existe mayor distancia entre innovación y regulación. Las tecnologías analizadas por el GT-DIN incluyen pavimentos inteligentes, asfalto fotocatalítico, carreteras solares, sistemas piezoeléctricos, microeólica, soluciones cinéticas y nano-recubrimientos multifuncionales. Con TRL muy heterogéneos (5-9), este eje muestra un fuerte potencial para generar energía distribuida, alimentar redes ITS, sensores y recarga, pero carece aún de

un marco que permita integrar generación renovable en dominio viario para apoyar servicios CCAM. Representa una de las mayores oportunidades regulatorias del ecosistema.

2. 5. Espacio de Datos en Movilidad

El análisis del GT-DIN sitúa el espacio de datos como una de las áreas más maduras (TRL 7-9), impulsada por IoT, big data, cloud, edge computing, blockchain y GIS avanzado. Estas tecnologías permiten capturar, almacenar, procesar y compartir datos en tiempo real para soporte de servicios CCAM, análisis predictivo, priorización semafórica, plataformas multimodales y modelización avanzada. Su madurez contrasta con la necesidad urgente de definir un marco jurídico homogéneo para gobernanza de datos, interoperabilidad y licencias de uso en el futuro EDIM. Ciberseguridad en Movilidad

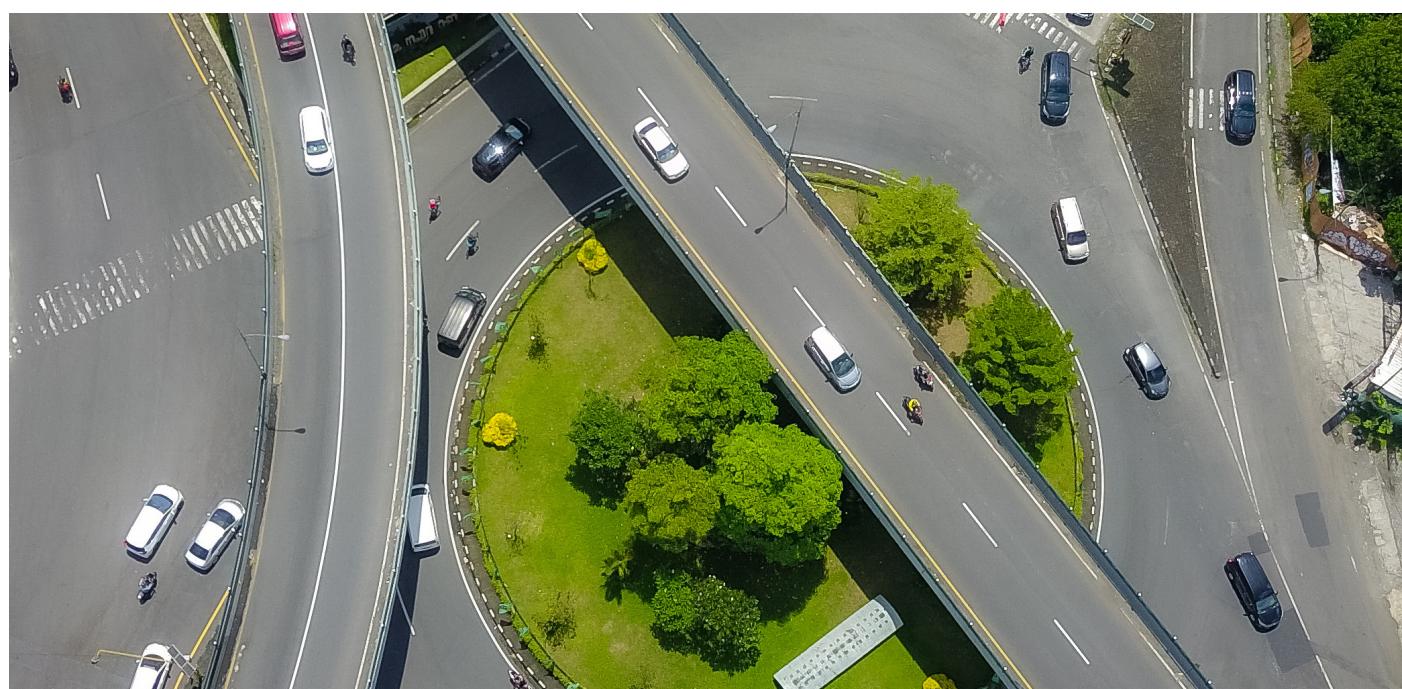
esquemas coordinados que unifiquen vehículo, infraestructura, plataformas ITS y espacio de datos bajo NIS2 y las normas UNECE.

2. 7. Inteligencia Artificial en Movilidad

La IA aplicada a movilidad es uno de los ámbitos de mayor madurez (TRL 7-9), con aplicaciones consolidadas en optimización de rutas, mantenimiento predictivo, gestión de tráfico, planificación urbana y conducción autónoma. Al mismo tiempo, emergen usos innovadores como IA generativa para simulación o predicción de trayectorias. El GT-DIN identifica que estas tecnologías, clasificadas como de alto riesgo por el AI Act, requieren trazabilidad, supervisión humana, validación continua y mecanismos de explicabilidad para su integración segura en servicios CCAM.

2. 6. Ciberseguridad

La ciberseguridad presenta niveles de madurez elevados (TRL 7-9), apoyada en criptografía avanzada, Zero Trust, frameworks de seguridad IoT, firewalls de infraestructura crítica, análisis predictivo de amenazas e IA para detección de comportamientos anómalos. Las tecnologías post-cuánticas, aunque menos maduras, anticipan retos futuros. Para el GT-DIN, este eje constituye la “columna vertebral invisible” de la movilidad conectada y exige



3. Mapa normativo

3.1. Ámbito internacional

La movilidad conectada y automatizada **avanza a velocidades muy diferentes** en cada región del mundo. Mientras Europa impulsa un enfoque regulatorio basado en la armonización y la seguridad, Asia lidera el despliegue comercial en entornos urbanos complejos y Estados Unidos se consolida como laboratorio global, impulsado por la industria y la experimentación descentralizada. Esta diversidad de aproximaciones está configurando un ecosistema internacional heterogéneo donde los marcos normativos, los modelos de gobernanza y la madurez tecnológica revelan tanto las oportunidades como los retos a los que se enfrentará la movilidad automatizada en la próxima década.

El análisis comparado de países como China, Japón y Estados Unidos permite entender mejor **cómo se estructura la regulación del vehículo automatizado en contextos estratégicos distintos** y qué lecciones pueden extrapolarse al desarrollo de la normativa española y europea. Para ello, la tabla que se presenta a continuación recoge no solo los principales marcos normativos vigentes en cada país, sino también la estrategia nacional que orienta

su despliegue, la arquitectura de gobernanza que distribuye competencias entre administraciones y organismos, y el nivel general de madurez tecnológica del ecosistema a través de una estimación del TRL dominante.

Este enfoque permite ir más allá de la descripción regulatoria tradicional e **identificar patrones comunes, vacíos normativos y modelos inspiradores**. En China destaca la integración vertical entre política industrial y regulación, en Japón la precisión técnica y jurídica de los procesos de homologación y supervisión del software, y en Estados Unidos la influencia decisiva del sector privado y de las políticas estatales sobre la evolución real del mercado.

El resultado es un panorama internacional que combina estrategias país muy diferenciadas, estructuras de gobernanza altamente variadas y niveles de madurez tecnológica que avanzan a ritmos desiguales, configurando un laboratorio global del que extraer aprendizajes clave para el futuro ecosistema CCAM en España.

País	Fuente/Marco	Año/Estado	Breve resumen normativo (highlights)	Estrategias país (visión CCAM)	Modelo de Gobernanza	TRL dominante
China CN	Administrative Measures for Road Testing and Demonstration Application of ICVs - MIIT / Ministerio de Seguridad Pública	2023 (vigente)	Marco nacional que regula pruebas y despliegue comercial. Licencias obligatorias, reporting, ciberseguridad estricta, roles definidos por MIIT y MPS. China ya autoriza robottaxis comerciales en varias ciudades (WeRide, Baidu Apollo).	Estrategia "Smart Vehicle + Smart Road + Smart City": Prioridad nacional; liderazgo estratégico global en automatización y conectividad. En 2030 buscan despliegue masivo urbano y corredores interurbanos autónomos.	Gobernanza centralizada: MIIT lidera coordinación normativa; MPS supervisa seguridad. Ciudades tienen capacidad ejecutiva para pilotos comerciales. Sistema fuertemente vertical y orientado al despliegue rápido.	TRL 7-9 (pilotos comerciales reales, servicios urbanos autónomos operativos)
Japón JP	Road Transport Vehicle Act + Act on Special Measures for ADS - MLIT	2020-2021 (operativo)	Primer país que autoriza SAE Nivel 3 comercial (Honda Legend). Marco muy detallado: ADS type approval, responsabilidad clara, registro de datos obligatorio, reporting, auditorías de software.	Estrategia "Society 5.0": movilidad autónoma como columna vertebral de una sociedad digital, inclusiva y envejecida. Objetivo: automatización progresiva en transporte público y carreteras regionales.	Gobernanza técnico-regulatoria centralizada por MLIT, con fuerte base en estandarización (ISO/UNECE). Permisos nacionales, supervisión continua, auditorías periódicas del software.	TRL 6-8 (vehículos SAE nivel 3 comerciales + pilotos SAE nivel 4 controlados)
Estados Unidos US	Automated Vehicles Comprehensive Plan 2021-2023 (DOT/NHTSA) + AV TEST Initiative	2020-2021	Marco voluntario y fragmentado: la NHTSA fija principios, los Estados regulan pruebas. Más de 35 Estados con leyes AV. Liderazgo industrial (Waymo, Cruise, Aurora). Propuesta 2023: obligar a reportar crashes y supervisión.	Estrategia "Innovation first" sin plan nacional único. Prioridad: mercado, competencia, liderazgo tecnológico y captación de inversión. No existe hoja de ruta federal CCAM integrada.	Gobernanza descentralizada: NHTSA marca principios, pero permisos y licencias dependen de los Estados. Ecosistema híbrido donde la industria es agente primario. Alta volatilidad regulatoria.	TRL 7-9 (pilotos comerciales en ciudades; Waymo/Cruise operativos aunque sujetos a stop&go regulatorio)

Tabla 1. Panorama internacional de marcos regulatorios CCAM: estrategia país, gobernanza y madurez tecnológica

3. 2. Ámbito Europeo

La movilidad inteligente se desarrolla dentro de un **marco normativo multinivel** (ONU, Unión Europea, Estado y administraciones locales). Este conjunto busca garantizar que tecnologías como el vehículo autónomo, la conectividad o la inteligencia artificial se desplieguen de forma segura, interoperable y coherente en toda Europa.

Europa presenta un **ecosistema CCAM más homogéneo** que Asia o América, pero con **diferencias significativas en cuanto a ambición estratégica, gobernanza y madurez tecnológica**. Francia y Alemania representan los marcos más completos y con mayor capacidad de escalado; Países Bajos y Finlandia destacan en gobernanza técnica y flexibilidad; mientras que Suecia, Noruega y Suiza han orientado la automatización a casos de uso específicos (seguridad vial, transporte regional, condici-

nes climatológicas complejas).

El análisis conjunto revela que **la región avanza hacia un modelo común**, pero todavía caracterizado por **distintos niveles de TRL, distintos enfoques** de supervisión regulatoria y diferentes grados de alineamiento con el futuro marco europeo basado en el AI Act, Data Act e ITS Directive.

País	Fuente/Marco	Año/Estado	Breve resumen normativo (highlights)	Estrategias país (visión CCAM)	Modelo de Gobernanza	TRL dominante
Alemania DE	Autonomous Driving Act + "Strategy for Automated and Connected Driving" (BMVI)	2015 - 21 (vigente)	Primer marco europeo que regula operaciones L4 en espacios definidos; corredor A9 de pruebas; condiciones claras de seguridad, reporting e infraestructura digital cooperativa.	Visión "Mobility 4.0": liderazgo industrial, despliegue seguro y armonización con UNECE. Objetivo: automatización progresiva de corredores y ciudades medianas.	Gobernanza federal coordinada: BMVI diseña estrategia; autoridades regionales autorizan operaciones; TÜV supervisa seguridad funcional.	TRL 6-8 (pilotos urbanos y autopista, ensayos avanzados L4)
Francia FR	Estrategia Nacional de Movilidad Automatizada + decretos sobre experimentación y operación (2019-2024)	2025 actualizada	Marco integral para pruebas y explotación comercial: categorías de AV, responsabilidad, comunicación obligatoria e interacción con infraestructuras. Decreto 2024-1063 permite operaciones comerciales controladas.	Estrategia "France Véhicule Autonome": automatización gradual, prioridad en transporte público y logística; fuerte inversión estatal.	Gobernanza central fuerte: Ministerio de Transición Ecológica fija norma; prefecturas autorizan pilotos; organismos técnicos validan seguridad.	TRL 7-8 (pilotos precomerciales y ensayos avanzados con pasajeros)
Finlandia FI	Road Traffic Act y Vehicle Act (permisos para pruebas CCAM)	Última reforma 2020	Marco flexible basado en permisos de prueba, test planes, reporting obligatorio y fuerte supervisión de ciberseguridad. País muy favorable a la experimentación.	Estrategia "Intelligent Transport System Finland": foco en innovación, clima nórdico y automatización en transporte público.	Gobernanza ágil y unificada: Traficom otorga permisos y supervisa todo el ciclo (datos, seguridad, informes).	TRL 5-7 (pruebas controladas, pilotos en clima adverso)
Países Bajos NL	Guía RDW para pruebas AV + Ley de Experimentos	(vigente)	Permite pruebas sin conductor a bordo con operador remoto. Requisitos estrictos de datos, informes e infraestructura cooperativa. RDW es referencia europea.	Estrategia "NL Smart Mobility": liderazgo en interoperabilidad, V2X y logística. Prioridad: facilitación de ensayos y datos abiertos.	Gobernanza técnica de precisión: RDW (homologación), Ministerio de Infraestructura (visión), municipios (implementación).	TRL 7-8 (pilotos urbanos y corredores logísticos)
Suecia SE	Ordenanza para Ensayos con Vehículos Automatizados	2024 (vigente)	Permisos caso a caso; énfasis en seguridad operacional. Ecosistema histórico de innovación: Volvo + Zenseact + ciudad de Gotemburgo.	Estrategia sueca integrada en "Next Generation Mobility": automatización como herramienta de seguridad vial (Visión Cero).	Gobernanza compartida: Agencia Sueca de Transporte concede permisos; municipios gestionan integración urbana; fuerte rol de industria.	TRL 6-7 (pilotos urbanos y suburbanos)
Noruega NO	Act on Testing Self-Driving Vehicles	2017 (vigente)	Uno de los primeros países europeos con legislación específica de pruebas AV. Permisos para vía pública con planes de seguridad y evaluaciones técnicas.	Estrategia ligada a transporte sostenible y electrificación. Automatización orientada a movilidad rural y clima severo.	Gobernanza simple y centralizada: Ministerio de Transportes autoriza; operadores deben demostrar control total de riesgos.	TRL 5-6 (pilotos limitados en entornos reales)
Suiza CH	Ordinance on Automated Driving + autorizaciones FEDRO/ASTRA	2014-25	Regula registro y uso de datos, autorización federal para pilotos, y requisitos estrictos de ciberseguridad. Marco jurídico claro y exigente.	Estrategia suiza centrada en infraestructura inteligente y transporte público autónomo en ciudades medianas.	Gobernanza federal centralizada: FEDRO/ASTRA supervisa y aprueba pilotos; cantones ejecutan.	TRL 6-7 (pilotos avanzados, especial foco en datos y seguridad)

Tabla 2. Marcos regulatorios CCAM en Europa: visión estratégica, gobernanza nacional y TRL dominante

3. 3. Ámbito nacional de la regulación en movilidad conectada y automatizada

La regulación de la movilidad conectada y automatizada en España se encuentra en una fase decisiva, marcada por la convergencia de tres vectores: la transformación tecnológica acelerada del vehículo y de las infraestructuras, la llegada de nuevos marcos europeos sobre inteligencia artificial, datos y ciberseguridad, y la necesidad de que el país disponga de instrumentos jurídicos capaces de acompañar la evolución del ecosistema industrial y urbano. España ha avanzado en múltiples frentes –pruebas en vía pública, digitalización de la movilidad, despliegue progresivo de infraestructuras conectadas o planificación de espacios de datos sectoriales–, pero lo ha hecho de manera fragmentada entre distintos niveles administrativos y sin una estrategia CCAM unificada que articule prioridades regulatorias y gobernanza a medio plazo.

El análisis que sigue aborda de manera estructurada el estado de la normativa española a partir de los ejes definidos por MOVINN: vehículo autónomo, infraestructuras conectadas, movilidad automatizada, conectada, energías renovables en carreteras, espacios de datos, ciberseguridad y uso de la inteligencia artificial. Esta aproximación permite examinar el grado de alineamiento entre políticas, capacidades tecnológicas y necesida-

des operativas, así como identificar lagunas regulatorias y oportunidades para acelerar la transición hacia un entorno plenamente CCAM.

La comparación sistemática entre estos ámbitos muestra un paisaje heterogéneo: algunos bloques cuentan con marcos sólidos y bien definidos, mientras que otros apenas han comenzado a configurarse o dependen todavía de desarrollos normativos europeos pendientes de aplicación. Esta sección presenta tanto un análisis cualitativo profundo como una matriz de madurez que sintetiza el grado de avance normativo, tecnológico y organizativo en cada uno de los ejes, proporcionando una visión clara y orientada a la toma de decisiones sobre el camino regulatorio que España debe recorrer en los próximos años.

La siguiente tabla sintetiza el estado actual de la regulación española en materia de movilidad conectada y automatizada, integrando en un único marco comparado el nivel de desarrollo normativo, la madurez tecnológica estimada y los principales desafíos identificados en cada uno de los ejes definidos por MOVINN. Esta visión transversal permite evaluar de forma equilibrada tanto los avances logrados como las áreas donde persisten vacíos o soluciones parciales, ofreciendo una lectura clara de las prioridades regulatorias que España deberá abordar para consolidar un ecosistema CCAM robusto, interoperable y alineado con la nueva agenda europea del dato, la inteligencia artificial y la ciberseguridad.

Eje MOVINN	Marco UE de referencia	Marco de España específico	Nivel normativo (RAG)	TRL ecosistema en España (aprox.)	Comentario clave / brecha
Vehículo autónomo	GSR2, UNECE ALKS, R155/R156, AI Act (alto riesgo), Directiva ITS revisada	GLey de Tráfico (Ley 18/2021), Instrucción VEH-2022-07, Programa ES-AV 2025, proyecto RD de conducción automatizada.	●	TRL 7-8	Buen nivel en pruebas y definición legal; falta Ley CCAM integral y régimen detallado de responsabilidad, seguros y supervisión continua de software.
Infraestructuras conectadas	ITS Directive, AFIR, TEN-T, norma europea de ITS	EMSC 2030, proyectos ITS, DGT 3.0, digitalización documental en Ley de Movilidad.	●	TRL 5-7	Infraestructura digital avanza (DGT 3.0, V-16 conectada), pero sin estándar nacional de "infraestructura CCAM-ready" ni coordinación homogénea entre territorios.
CCAM (ecosistema)	Estrategia CCAM UE, AI Act, Data Act	EMSC 2030, Ley de Movilidad Sostenible, ES-AV.	●	TRL 6-7	Marco razonable para pilotos y pruebas; falta estrategia CCAM 2030 específica y mecanismos de escalado a servicios regulares.
Energías renovables Carreteras	Green Deal, Ley 7/2021, AFIR, política TEN-T	Ley de Cambio Climático, planes de infraestructuras, programas de inversión en movilidad eléctrica. (● ●	TRL 4-6	Normativa viene del mundo energético, no de CCAM: falta enfoque integrado "carretera descarbonizada y conectada" y regulación específica de generación en dominio viario para movilidad automatizada.
Espacio de datos de movilidad	Data Act, Data Governance Act, EU Mobility Data Space	EDIM (art. 13 Ley Movilidad), Plan de Impulso de Espacios de Datos, Kit Espacios de Datos, Big Data MITMA.	●	TRL 5-7	España es pionera al positivizar EDIM, pero faltan reglas claras de gobernanza, licencias y articulación con DGT 3.0 y plataformas locales.
Ciberseguridad en Movilidad	UNECE R155/R156, NIS2, normativa de ciber infraestructuras	Homologación de vehículos con criterios R155/R156, guías INCIBE, esquemas de certificación privados.	●	TRL 5-7	Buen nivel en vehículo; falta visión integrada vehículo-infraestructura-plataforma y coordinación interinstitucional clara
IA en movilidad	AI Act (alto riesgo), política europea de IA	ENIA, Estrategia IA 2024, EMSC 2030, futura Ley de Movilidad (Título V: vehículos automatizados)	●	TRL 5-7	Capacidad técnica muy fuerte (factorías de IA, HPC), pero sin guía sectorial específica para movilidad y seguridad vial; se abre un espacio claro para que MOVINN defina principios, metodologías y esquemas de auditoría.

Tabla 3. Matriz CCAM España: nivel normativo, madurez tecnológica y brechas por eje MOVINN

Analizado el marco internacional, europeo y español, y una vez identificados los elementos normativos que estructuran el despliegue de la movilidad conectada y automatizada en España, el siguiente paso consiste en evaluar de forma crítica las brechas, incoherencias y retos sistémicos que persisten en el ecosistema. Este diagnóstico transversal permite contrastar el grado de madurez regulatoria con el ritmo real de evolución tecnológica y operativa, y constituye la base necesaria para formular las oportunidades de mejora y las recomendaciones estratégicas que se desarrollan en las siguientes secciones.

4. Diagnóstico transversal de ecosistema

El análisis realizado por el GT-DIN sobre los siete ejes tecnológicos de MOVINN –vehículo autónomo, infraestructuras conectadas, CCAM, energías renovables en carreteras, espacio de datos, ciberseguridad e inteligencia artificial– muestra un ecosistema español en clara transición hacia la movilidad conectada y automatizada, pero todavía caracterizado por una **madurez regulatoria desigual**.

En términos generales, España dispone de **buenos miembros normativos** (reconocimiento legal del vehículo automatizado, programa ES-AV, despliegue de DGT 3.0, diseño del Espacio de Datos Integrado de Movilidad, alineamiento con el AI Act y las normas UNECE de ciberseguridad), pero estos avances conviven con **lagunas importantes**: ausencia de una estrategia CCAM unificada, fragmentación multinivel, falta de estándares comunes para infraestructuras conectadas y una aún incipiente articulación jurídica de los espacios de datos, la ciberseguridad sistémica y la IA aplicada a la movilidad.

El resultado es una situación donde las tecnologías alcanzan, en muchos casos, niveles de madurez técnica relativamente alta (TRL 6-7), mientras que la **madurez regulatoria se mantiene en fase preintermedia**, generando cuellos de botella

que dificultan la escalabilidad de proyectos piloto a servicios regulares y limitan la capacidad de España para posicionarse como referente internacional en innovación normativa CCAM.

4.1. Retos y barreras identificadas

El diagnóstico transversal permite agrupar los principales retos y barreras en cinco bloques interrelacionados, con expresión concreta en cada uno de los ejes MOVINN.

a) Desajuste entre madurez tecnológica y madurez regulatoria

En varios ejes –especialmente vehículo autónomo, infraestructuras conectadas, CCAM e IA– el ecosistema español opera ya en niveles de TRL 6-7, con pilotos avanzados y capacidades tecnológicas contrastadas. Sin embargo, la inexistencia de una **Ley o Estrategia CCAM integral**, la falta de un régimen específico de responsabilidad y seguros para vehículos automatizados y la ausencia de procedimientos de **homologación y supervisión continua del software** generan una brecha clara entre lo que es técnicamente posible y lo que está jurídicamente habilitado. El resultado es una dependencia excesiva de autorizaciones caso a caso y de interpretaciones ad hoc, que no ofrecen previsibilidad a largo plazo.

b) Fragmentación normativa y de gobernanza multinivel

El marco CCAM se construye sobre capas regulatorias diversas: Unión Europea, Estado, comunidades autónomas y entidades locales. Cada una de las siete áreas analizadas se ve afectada por esta multiplicidad, pero de forma especialmente crítica en **infraestructuras conectadas, CCAM, espacio de datos e IA en movilidad**. La falta de un **mecanismo formal y estable de coordinación** provoca que los proyectos piloto dependan en gran medida de la voluntad y capacidad individual de las administraciones implicadas, dando lugar a soluciones heterogéneas y a una “geografía desigual” de la innovación: hay territorios con ecosistemas muy activos, mientras otros quedan prácticamente al margen.

c) Marcos sectoriales que no dialogan entre sí

Buena parte de la regulación relevante para la movilidad inteligente procede de sectores tradicionales (tráfico, telecomunicaciones, energía, protección de datos, seguridad industrial, contratación pública). En **energías renovables en carreteras**, por ejemplo, la normativa se ha diseñado desde la óptica del sector energético y ambiental, sin un enfoque integrado que considere las necesidades específicas de la movilidad automatizada, la recarga inteligente o la generación distribuida asociada a corredores CCAM. Algo similar sucede en el **espacio de datos**, donde conviven múltiples iniciativas (DGT 3.0, datos abiertos MITMA, EDIM, plataformas locales) sin un marco jurídico claramente armonizado que defina roles, responsabilidades, licencias de uso y modelos de gobernanza compartida.

d) Insuficiente integración de ciberseguridad y gobernanza del dato como “columna vertebral”

Aunque España aplica ya las normas UNECE de ciberseguridad para vehículo y las obligaciones europeas en materia de protección de datos, el enfoque sigue siendo **parcial y centrado en piezas aisladas** (vehículo, sistema, plataforma concreta). Desde la óptica transversal del GT-DIN, la ciberseguridad y la gobernanza del dato deberían considerarse una infraestructura crítica horizontal, enlazando vehículo autónomo, infraestructuras conectadas, CCAM, espacios de datos e IA. La falta de un **marco integrado de ciberseguridad en movilidad**, con responsabilidades bien delimitadas y coordinación efectiva entre DGT, MITMA, INCIBE, operadores de infraestructuras y proveedores tecnológicos, se identifica como una barrera clave para la escalabi-

lidad segura del ecosistema.

e) Déficit de instrumentos de innovación regulatoria y de capacidades institucionales

El ecosistema español se apoya en instrumentos valiosos como las instrucciones de la DGT o la figura del ensayo controlado, pero aún carece de un catálogo sistemático de **instrumentos de innovación normativa** propios del ámbito digital: sandboxes sectoriales específicos para movilidad, regímenes de autorización progresiva (gradual deployment), certificaciones dinámicas, cláusulas experimentales en normas generales o modelos de “in-use regulation” inspirados en otras jurisdicciones. A ello se suma la necesidad de reforzar las **capacidades técnicas y jurídicas** de las administraciones responsables de aplicar estas normas: sin equipos formados en CCAM, datos, IA y ciberseguridad, incluso el mejor marco normativo corre el riesgo de quedar-se en papel.

4. 2. Oportunidades y líneas de innovación normativa

Frente a los retos identificados, el análisis transversal del ecosistema CCAM en España evidencia un conjunto de oportunidades estratégicas que permitirían transformar la fragmentación actual en un sistema coherente, interoperable y alineado con la nueva agenda europea. La primera de estas oportunidades reside en el desarrollo de **marcos comunes de gobernanza e interoperabilidad**, capaces de articular vehículo, infraestructura, datos, IA y ciberseguridad como elementos de un mismo sistema operativo. Para lograrlo, será necesario avanzar hacia una estandarización transversal que defina lenguajes comunes de datos, responsabilidades compartidas entre administraciones y operadores, y procedimientos homogéneos para pruebas, autorizaciones y supervisión continua. Esto implica traducir las obligaciones europeas –NIS2, AI Act, Data Act o la nueva Directiva ITS– en requisitos operativos claros y aplicables, capaces de guiar tanto a los reguladores como a la industria en su transición hacia modelos de movilidad conectada y automatizada.

La segunda línea de oportunidad se vincula al despliegue de **instrumentos normativos dinámicos**, que permitan acompañar el ritmo real de la innovación tecnológica. España puede apoyarse en las mejores prácticas internacionales para introdu-

cir marcos más flexibles —permisos de operación en uso (in-use), cláusulas experimentales, evolución de los sandboxes regulatorios sectoriales, certificaciones graduales o esquemas de actualización continua del software— que posibiliten probar nuevos servicios y tecnologías sin necesidad de esperar a reformar leyes completas. Estos instrumentos no solo reducirían los tiempos de adopción y proporcionarían seguridad jurídica, sino que permitirían capturar datos reales de funcionamiento, fundamentales para ajustar las políticas públicas, evaluar riesgos y demostrar la fiabilidad de los sistemas automatizados.

Una tercera oportunidad surge de la **compra pública innovadora, la estandarización técnica y la gobernanza del dato**, que se consolidan como palancas transversales para escalar la movilidad inteligente. La modernización de pliegos y guías técnicas —desde la actualización de materiales y componentes no contemplados en el PG3 hasta la incorporación de requisitos digitales, energéticos y de conectividad— puede transformar la contratación pública en un motor de despliegue CCAM. Al mismo tiempo, el desarrollo de **espacios de datos interoperables**, centros de procesamiento distribuidos y sistemas de ciberseguridad integrados permitirá aprovechar plenamente el potencial del dato en tiempo real y consolidar una infraestructura digital robusta. Si estos avances se coordinan desde una visión unificada y alineada con los Data Spaces europeos, España podrá situarse como país pionero en la explotación responsable y segura de datos en movilidad.

En conjunto, todas estas oportunidades convergen en una idea central: la movilidad inteligente no necesita un mayor volumen de normas, sino un marco regulatorio **más coordinado, más adaptativo, más interoperable y más orientado a resultados**. España cuenta con capacidades técnicas, institucionales y de gobernanza suficientes para liderar esta transformación, siempre que convierta estas oportunidades en políticas, estándares y herramientas normativas concretas que permitan escalar el ecosistema CCAM con seguridad, confianza y ambición europea.

4. 3 Casos de éxito y buenas prácticas

Dentro del marco del grupo de trabajo, se han analizado casos de éxito y buenas prácticas. Los casos analizados por el GT-DIN muestran que tanto en España como en el ámbito internacional existen

experiencias concretas que ilustran cómo la normativa puede actuar como palanca efectiva para el despliegue de tecnologías CCAM cuando se diseña de manera proactiva, coordinada y orientada a resultados.

En España

En el contexto nacional destacan, en primer lugar, las experiencias vinculadas al **Programa ES-AV de la DGT con la oficina**, que ha permitido estructurar de manera clara el procedimiento de autorización de pruebas y operaciones con vehículos automatizados en vías abiertas. Este programa introduce requisitos técnicos y documentales exigentes, que han contribuido a crear un entorno de confianza para proyectos piloto y a alinear la práctica española con el marco europeo de seguridad, sin frenar la experimentación. ES-AV constituye un ejemplo de cómo una instrucción administrativa bien diseñada puede tener un impacto equiparable a una norma de rango superior cuando establece criterios claros, transparentes y replicables.

En segundo lugar, la **plataforma DGT 3.0** y las medidas asociadas (como la obligatoriedad progresiva de la baliza V-16 conectada) representan una buena práctica en materia de infraestructuras conectadas y espacio de datos. A través de DGT 3.0, la administración de tráfico se posiciona como **nodo público de datos en tiempo real**, capaz de integrar información de vehículos, señalización y centros de control, anticipando la lógica de los futuros espacios de datos europeos. Esta experiencia demuestra que la inversión en infraestructuras digitales y la definición de obligaciones de conexión pueden acelerar de forma decisiva la madurez del ecosistema.

En tercer lugar, los **pilotos de movilidad automatizada vinculados a entornos urbanos y metropolitanos** —como los ensayos de autobuses autónomos o lanzaderas automatizadas en varias ciudades españolas— ilustran cómo la coordinación entre administraciones estatales y locales puede materializarse en autorizaciones específicas y marcos de operación controlada. Estos casos muestran que, allí donde existe voluntad política, capacidades técnicas y un marco de colaboración claro, es posible construir “mini-sandbox” normativos funcionales, incluso antes de contar con una ley CCAM integral.

Finalmente, el diseño del Espacio de Datos Integrado de Movilidad (EDIM) en la Ley de Movilidad Sostenible constituye una buena práctica

en términos de anticipación. Al positivizar en norma el concepto de espacio de datos sectorial, España se adelanta a otros países y sienta las bases para una gobernanza de datos de movilidad más estructurada. El reto, a partir de ahora, será traducir esa previsión legal en reglas concretas y operativas.

Ejemplos internacionales: Alemania, Francia, Noruega, Japón, EE. UU.

El análisis comparado de marcos internacionales realizado por el GT-DIN aporta lecciones valiosas para la innovación normativa en España. Alemania, con su Autonomous Driving Act y la estrategia “Mobility 4.0”, es un referente en la regulación de operaciones de nivel 4 en ámbitos definidos, combinando una ley específica con instrumentos técnicos robustos y una supervisión fuerte por parte de las autoridades de homologación. La lección principal es que una ley específica CCAM, cuando se apoya en un ecosistema técnico y administrativo sólido, puede ofrecer seguridad jurídica y al mismo tiempo flexibilidad para la innovación.

Francia destaca por su estrategia nacional de movilidad automatizada y por los decretos que permiten la explotación comercial controlada de servicios autónomos, especialmente en transporte público y logística. El enfoque francés demuestra que es posible pasar de la experimentación a la operación regular mediante un marco graduado de permisos y obligaciones que define categorías de vehículos, condiciones de uso y responsabilidades, evitando la dicotomía “piloto versus vacío normativo”.

Países como Noruega, Finlandia, Países Bajos o Suiza muestran buenas prácticas en materia de permisos de prueba sencillos, gobernanza técnica unificada y énfasis en la ciberseguridad y el dato. En ellos, la clave ha sido dotar a una agencia técnica de competencias claras para autorizar, supervisar y aprender de los pilotos, en un entorno regulatorio que asume la experimentación como parte estructural del sistema, no como excepción.

Fuera de Europa, **Japón y Estados Unidos** ofrecen dos modelos extremos y complementarios. Japón ha optado por un enfoque minucioso de **type approval para sistemas ADS**, donde la normativa detalla condiciones, responsabilidades y procedimientos de supervisión, permitiendo la comercialización de vehículos de nivel 3 en un entorno jurídicamente muy definido. Estados Unidos, por el

contrario, ha construido un ecosistema basado en la **fragmentación regulatoria y el liderazgo de la industria**, con principios federales y normas estatales, convirtiendo el país en un gran laboratorio donde coexisten múltiples modelos de regulación y despliegue.

5. Recomendaciones estratégicas, políticas y normativas

La evolución de la movilidad conectada y automatizada en España no depende solo de la calidad de sus algoritmos o de la sofisticación de sus sensores, o de la correcta gestión de sus datos, sino de algo más silencioso y decisivo: la **capacidad del sector público para ordenar el cambio, explicarlo y hacerlo gobernable**.

El diagnóstico del GT-DIN muestra un país en tránsito: con tecnologías que alcanzan **niveles de madurez técnica relativamente avanzados** (TRL 6-7-8) y, al mismo tiempo, con **normas e instituciones que todavía buscan el ritmo adecuado**. Este capítulo propone, por tanto, un conjunto de recomendaciones estratégicas que actúan como bisagra entre ambos mundos.

Las propuestas se estructuran en tres planos complementarios:

Recomendaciones transversales de **gestión pública**, centradas en la pedagogía del riesgo, el liderazgo institucional, la comunicación y la operación del ecosistema.

Recomendaciones **específicas por área tecnológica**, que concretan cómo se traduce este marco en cada eje MOVINN.

El objetivo último es sencillo de formular y complejo de ejecutar: que, en pocos años, recorrer un kilómetro en un servicio de movilidad automatizada en España sea percibido como más seguro, más previsible y más transparente que hacerlo hoy en un vehículo con conducción exclusivamente humana.

5.1. Recomendaciones transversales del GT-DIN

Las recomendaciones transversales se agrupan en torno a cuatro dimensiones de gestión pública que resultan decisivas para el despliegue la movilidad conectada y automatizada: pedagogía basada en evidencia, liderazgo institucional, operación regulada y comunicación estratégica.

1. Estrategia país:

Liderazgo institucional y gobernanza del ecosistema

La primera condición es contar con un “**centro de gravedad** institucional” claro, capaz de ordenar la conversación, fijar prioridades y asumir la responsabilidad de la agenda CCAM.

1. 1 Aprobar una Estrategia Estatal CCAM 2030 con valor normativo

El primer paso consiste en **aprobar una Estrategia Estatal CCAM 2030** con valor normativo que sirva como marco de referencia para todo el ecosistema. Esta estrategia deberá articular los siete ejes tecnológicos descritos en el Libro Blanco y definir objetivos, métricas y responsabilidades concretas, prestando especial atención al despliegue del vehículo autónomo y conectado en corredores estratégicos y áreas urbanas. Su función es **ordenar prioridades, aportar coherencia entre niveles administrativos y garantizar que la regulación pueda anticiparse de forma coordinada a la evolución tecnológica**.

1. 2 Crear un Consejo Estatal CCAM como líder institucional del relato y la coordinación

Junto a la estrategia, es imprescindible constituir un Consejo Estatal CCAM que asuma el **liderazgo institucional del relato, la coordinación y la supervisión del despliegue**. Este órgano, alineado con el Sistema Nacional de Movilidad Sostenible, tendría el mandato de emitir directrices y estándares CCAM-ready, coordinar la acción del Estado con comunidades autónomas y ciudades, y ejercer como voz pública cualificada en materia de seguridad, incidentes y oportunidades del vehículo autónomo. Su estructura se apoyaría en dos instancias complementarias: un **Foro Técnico-Jurídico**, integrado por industria, centros tecnológicos y expertos en IA y ciberseguridad, y un **Consejo Social CCAM**, que incorporaría a sindicatos, asociaciones de usuarios, colectivos vulnerables, representantes

del taxi y VTC y organizaciones de consumidores. Con ello se garantiza una gobernanza equilibrada y transparente, basada tanto en rigor técnico como en legitimidad social.

1. 3 Ventanilla única para pruebas y operaciones automatizadas

Para dar certidumbre al ecosistema y facilitar la transición del piloto a la operación, resulta clave disponer de **una ventanilla única para pruebas y servicios automatizados**. Este papel recaería en una Oficina de Facilitación de Pruebas y Operaciones CCAM, que actuaría como interlocutor único para proyectos piloto, operaciones precomerciales y solicitudes de despliegue. Su función sería simplificar y armonizar los procedimientos de autorización, reducir duplicidades administrativas y acortar los tiempos de respuesta, evitando que la complejidad regulatoria frene la innovación. Con un esquema así, España podría ofrecer un entorno claro, predecible y competitivo para el desarrollo del vehículo autónomo y los servicios CCAM.

2. Operación regulada: del piloto a la ciudad demostradora

La segunda condición es operativa: cómo evolucionar desde pilotos aislados hacia servicios estables sin renunciar al control público ni a la capacidad de aprendizaje. La DGT ha iniciado este camino a través de su Oficina de Pruebas, pero para dar el salto a una verdadera política de Estado será necesario un liderazgo institucional más amplio, capaz de coordinar a todos los niveles de la administración y ofrecer una dirección clara al ecosistema.

2.1 Implantar un sistema escalonado de operación (prueba precomercial servicio regular)

El primer paso consiste en establecer un **sistema escalonado** que permita **evolucionar de los ensayos** iniciales a una operación comercial consolidada, garantizando seguridad jurídica y estabilidad institucional en todo el proceso. Para ello es necesario definir en una norma estatal las distintas fases de madurez de un servicio automatizado –a. ensayo controlado, b. operación precomercial supervisada y c. servicio regular bajo régimen consoli-

dado–, cada una con requisitos técnicos, de reporting y de evaluación claramente diferenciados. Este enfoque permite acompañar el avance tecnológico con controles proporcionados, evitando tanto la sobrerregulación como la ausencia de reglas en la transición hacia servicios estables.

2. 2 Programa de Ciudades Demostradoras de Vehículo Autónomo y Conectado

La consolidación del ecosistema CCAM requiere demostrar su viabilidad en entornos reales, urbanos y metropolitanos. Por ello, se propone la creación de un **Programa de Ciudades Demostradoras de Vehículo Autónomo y Conectado**, basado en una convocatoria competitiva que seleccione áreas urbanas y periurbanas para operar como laboratorios de innovación en movilidad automatizada, ya sea en lanzaderas a estaciones, última milla logística, servicios nocturnos, campus, puertos o polígonos. Para garantizar su impacto, estos pilotos **deberán cumplir condiciones mínimas como la integración con el transporte público, la coherencia tarifaria, la compartición de datos operativos en el Espacio de Datos Integrado de Movilidad (EDIM) y la realización de evaluaciones sociales ex ante y ex post**.

2. 3 Instrumentos avanzados de innovación regulatoria

La aceleración del despliegue CCAM exige contar con instrumentos normativos que permitan ensayar, adaptar y corregir en **tiempo real**. En este sentido, es necesario desplegar sandboxes específicos para CCAM, inteligencia artificial y datos; **habilitar autorizaciones progresivas in-use para operaciones precomerciales; implementar certificaciones dinámicas para software ADS y ciberseguridad;** y utilizar cláusulas experimentales acompañadas de mecanismos claros de evaluación y cierre. Estos instrumentos, ya adoptados en países líderes, permiten reducir la incertidumbre regulatoria, generar evidencia y facilitar una transición ordenada hacia la operación regular

2. 4 Estándares nacionales de infraestructura CCAM-ready y espacios de datos

La movilidad automatizada requiere una **infraestructura digital interoperable y homogénea en todo el territorio**. Para ello es imprescindible definir estándares nacionales CCAM-ready que unifiquen criterios técnicos y jurídicos en ámbitos como señalización conectada, cartografía HD, comunicaciones V2X, requisitos mínimos de infraestructura digital y recarga inteligente. Paralelamente, debe completarse el despliegue del Espacio de Datos Integrado de Movilidad (EDIM), desarrollando licencias sectoriales, reglas claras de privacidad y ética, y su articulación efectiva con DGT 3.0 y los futuros data spaces europeos. Esta combinación de estándares y gobernanza del dato es la base de una movilidad automatizada confiable y escalable.

2. 5 Compra pública innovadora CCAM

La compra pública constituye una palanca decisiva para impulsar la movilidad automatizada en España. A través de los contratos de transporte público y de infraestructura, **las administraciones pueden introducir requisitos vinculados a conectividad, automatización, compartición de datos, interoperabilidad y neutralidad tecnológica, condicionando el mercado y acelerando la adopción de soluciones avanzadas**. Este enfoque permite que el sector público actúe no solo como regulador, sino como motor de innovación, generando demanda, reduciendo riesgos y facilitando la consolidación de servicios CCAM en entornos reales.

3. Pedagogía del riesgo

y de los beneficios basada en datos

La **tercera** condición para que la ciudadanía acepte la automatización no es tecnológica, sino pedagógica. El vehículo **automatizado** debe poder ser explicado.

3.1 Crear un Indicador Español de Riesgo Vial por Kilómetro (IER-VAC)

Un elemento clave para orientar la toma de decisiones es la creación de un Indicador Español de Riesgo Vial por Kilómetro (IER-VAC), que permita

comparar de manera periódica y objetiva la siniestralidad por cada 100 millones de kilómetros recorridos en dos situaciones: conducción humana convencional y ensayos o servicios automatizados autorizados. Este indicador deberá desagregarse por entorno urbano e interurbano, tipo de vía y caso de uso –como transporte público autónomo, robótaxis, logística o lanzaderas de última milla– para ofrecer una visión precisa de dónde aporta más valor la automatización y cómo evoluciona su nivel de seguridad en el tiempo.

3.2 Constituir un Observatorio de Seguridad y Vehículo Automatizado

Para consolidar esta aproximación basada en datos, se propone la creación de un Observatorio de Seguridad y Vehículo Automatizado, integrado en la arquitectura CCAM nacional y con participación de la DGT, MITMA, comunidades autónomas, ciudades y operadores. Su misión sería **publicar informes anuales**, elaborados en un lenguaje accesible, que expliquen qué tipos de siniestros disminuyen con la automatización, qué nuevos riesgos emergen – como los derivados del software, la ciberseguridad o los casos extremos – y cómo se gestionan. Con ello se reforzaría la **transparencia institucional y se generaría confianza pública** en las nuevas tecnologías.

3.3 Herramientas pedagógicas abiertas

El despliegue CCAM debe ir acompañado de herramientas pedagógicas que traduzcan los datos en información comprensible para la ciudadanía y los tomadores de decisiones. Para ello se propone desarrollar **paneles interactivos** de acceso público que respondan a preguntas concretas, como “¿cuántos siniestros urbanos podrían evitarse si un porcentaje de los kilómetros nocturnos se realizara mediante servicios automatizados sometidos a estándares de seguridad definidos?”. Estos recursos deberían integrarse en **programas de formación** dirigidos a decisores públicos, periodistas especializados y equipos técnicos, con el fin de que la comparación entre vehículo autónomo y conducción manual deje de ser un debate abstracto y se convierta en un ejercicio de gestión del riesgo basado en evidencia pública, trazable y accesible.

4. Comunicación estratégica y gestión de incidentes

Por último, toda gran transformación exige un relato público consistente y una gestión madura de los inevitables incidentes.

4.1 Plan de comunicación en doble carril: progreso e incidentes

La implantación de servicios automatizados exige una estrategia de comunicación pública capaz de **explicar tanto los avances como los desafíos**. Por ello se propone desarrollar un plan de comunicación en doble carril que combine, por un lado, una narrativa clara sobre las mejoras progresivas que aporta la automatización –reducción de siniestros, mayor accesibilidad, nuevos servicios en barrios y municipios antes desconectados– y, por otro, una **gestión transparente de los incidentes puntuales**, explicando qué ha ocurrido, qué medidas se adoptan para corregirlo y cómo se recalibra el sistema. Esta aproximación equilibrada permite construir confianza social sin ocultar la complejidad inherente a estas tecnologías.

4.2 Protocolo nacional de comunicación de incidentes con vehículos automatizados

Para reforzar la coherencia institucional y evitar mensajes contradictorios, resulta necesario establecer un **protocolo nacional de comunicación de incidentes** con vehículos automatizados. Este protocolo debería definir categorías de incidentes, plazos máximos de notificación, criterios para la publicación de información preliminar y procedimientos para valorar suspensiones temporales o reducciones de operación cuando corresponda. En los casos graves, la comunicación deberá estar liderada por el Consejo Estatal CCAM y las autoridades públicas competentes, garantizando que la información se gestione con rigor, transparencia y responsabilidad institucional, y no recaiga exclusivamente en los operadores privados.

4.3 Simulacros de crisis y formación en comunicación de riesgo

La **preparación ante situaciones críticas** es tan importante como la regulación o la tecno-

logía. Por ello, se propone **incorporar simulacros periódicos** de incidentes CCAM en la planificación de protección civil y en los planes de autoprotección de ciudades y operadores, de modo que las administraciones y servicios de emergencia estén **familiarizados con los protocolos** de actuación ante fallos de sistemas automatizados. Asimismo, es necesario formar a portavoces institucionales en comunicación de riesgo para evitar mensajes contrarios o descoordinados en momentos de alta sensibilidad social. Con estas herramientas, la respuesta pública gana coherencia, credibilidad y capacidad para gestionar escenarios complejos de manera ordenada.

5.2. Recomendaciones específicas por área tecnológica

Sobre este armazón transversal, el GT-DIN formula recomendaciones concretas para cada uno de los siete ejes tecnológicos de MOVINN, con especial atención al papel del vehículo autónomo como **catalizador del conjunto del ecosistema**.

Vehículo Autónomo

- **Aprobar un marco regulatorio específico de conducción automatizada**, que integre responsabilidad civil, seguros, certificación y actualización continua del software, supervisión remota y reporting obligatorio de incidentes.
- **Crear una certificación continua ADS “MOVINN Compliance”**, que combine requisitos legales, técnicos y éticos, y que incorpore de forma explícita el IER-VAC y las lecciones extraídas de los pilotos nacionales e internacionales.
- **Establecer la obligación de evaluaciones comparadas de riesgo** (vac/humano) para proyectos con gran volumen de kilómetros automatizados, como condición para su renovación o escalado.

Infraestructuras Conectadas

- **Definir un estándar nacional de infraestructura CCAM-ready**, vinculante para proyectos financiados con fondos públicos, que incluya señalización digital, comunicaciones, datos de alta resolución y ciberseguridad de carretera.
- **Priorizar la digitalización y sensoriza-**

ción de corredores estratégicos (TEN-T, áreas metropolitanas, nodos logísticos) como base para servicios automatizados de transporte público y logística.

Ecosistema CCAM

- **Implantar el sistema escalonado de operación** (pruebas → precomerciales → servicio regular), armonizado con el Programa ES-AV y con los futuros desarrollos reglamentarios de conducción automatizada.
- **Elaborar directrices estatales para modelos operativos de servicios automatizados** (autobuses autónomos, robotaxis, lanzaderas, logística), incluyendo requisitos mínimos de accesibilidad, inclusión social, integridad de los datos y protocolos de comunicación pública.

Energías Renovables en Carreteras

- **Diseñar un marco integrado de “carretera descarbonizada y conectada”,** que combine generación renovable, recarga eléctrica, almacenamiento distribuido y conectividad como parte del dominio público viario.
- Incorporar criterios energéticos y digitales en el PG3 y en los manuales de carreteras, facilitando pilotos de **recarga automatizada** y soluciones de suministro alineadas con los futuros servicios autónomos.

Espacio de Datos en Movilidad

- **Desarrollar la arquitectura jurídico-operativa del EDIM,** definiendo roles, derechos de acceso, licencias, condiciones de interoperabilidad y mecanismos de supervisión.
- Establecer la **obligación de que infraestructuras y operadores CCAM integren datos en formatos unificados**, con niveles de calidad y frecuencia adecuados para la supervisión de la seguridad y la planificación de políticas públicas.

Ciberseguridad en Movilidad

- **Crear un Esquema Nacional de Ciberseguridad en Movilidad,** alineado con NIS2 y UNECE, que abarque vehículo, infraestructura y plataformas ITS, e incluya requisitos de resiliencia, respuesta a incidentes y pruebas periódicas.

- **Exigir auditorías regulares de sistemas críticos** (vehículos, centros de control, plataformas de datos) y protocolos de respuesta coordinada entre operadores, autoridades de tráfico y equipos de ciberseguridad.

Inteligencia Artificial en Movilidad

- **Aprobar una Guía Sectorial de IA en Movilidad,** que traduzca el AI Act al ecosistema CCAM, con criterios de explicabilidad, gestión de sesgos, seguridad funcional y comportamiento en casos extremos.
- Impulsar un **laboratorio nacional de simulación y verificación algorítmica** en entornos urbanos y carreteros, que permita someter los modelos de decisión del vehículo autónomo a escenarios de alta complejidad en condiciones controladas.

Conclusiones

La transformación hacia una movilidad conectada, cooperativa y automatizada avanza con rapidez, pero su éxito dependerá de que **España sea capaz de acompañarla desde la regulación, la gobernanza y la capacidad institucional**. El trabajo del GT-DIN demuestra que el país dispone de piezas fundamentales —tecnología madura, ecosistema científico sólido, industria competitiva y marcos europeos avanzados—, pero necesita ensamblarlas mediante reglas claras, procesos coherentes y una visión compartida a largo plazo.

El diagnóstico deja claro que las mayores barreras no son tecnológicas, sino normativas y organizativas: falta una estrategia CCAM estatal, persiste la fragmentación entre administraciones, los marcos sectoriales continúan funcionando en silos y sigue pendiente una integración real de la ciberseguridad y la gobernanza del dato como infraestructuras críticas del sistema. En este contexto, la **innovación normativa** se revela no como un ejercicio jurídico, sino como un **proceso de co-creación** que exige escuchar, experimentar, evaluar y corregir.

Las recomendaciones del GT-DIN apuntan precisamente a ese cambio cultural. Plantean una manera distinta de regular: **más ágil, más interoperable, más sometida a evidencia y más alineada con la velocidad de la tecnología**. Proponen bases sólidas —estrategia estatal, estándares comunes, certificaciones dinámicas, mecanismos de governance y espacios de datos operativos— que permitan que la automatización genere confianza, no incertidumbre; y que cada kilómetro automatizado aporte más seguridad que el modelo actual.

El Libro Blanco demuestra que España no parte de cero: cuenta con talento, capacidades tecnológicas y experiencias pioneras. Pero también evidencia que el verdadero salto vendrá cuando la regulación deje de ir por detrás de la tecnología y se convierta en su mejor aliada.

Ese es el propósito último de MOVINN: construir un marco coherente, seguro y anticipativo que陪伴 al conjunto del ecosistema —sociedad, empresas e instituciones— y permita a España situarse en la vanguardia europea, transformando la movilidad automatizada en una oportunidad real de progreso para las personas, las ciudades y el país.



ECOSISTEMA DE INNOVACIÓN
PARA LA MOVILIDAD INTELIGENTE
Y SEGURA