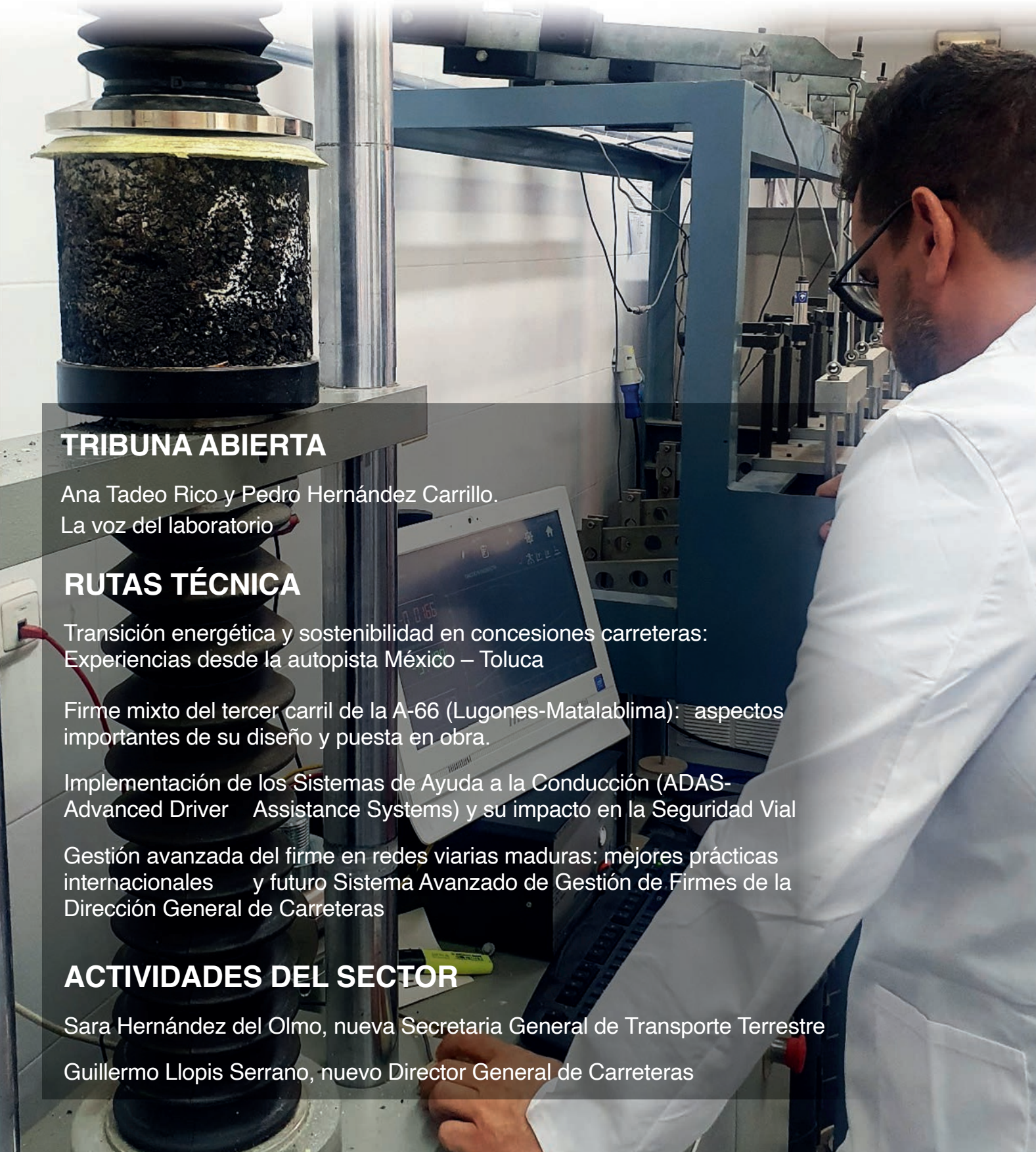
Asociación Técnica de Carreteras

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Nº 208
JULIO - SEPTIEMBRE
2026

ISSN 1130-7102
Revista Trimestral



TRIBUNA ABIERTA

Ana Tadeo Rico y Pedro Hernández Carrillo.
La voz del laboratorio

RUTAS TÉCNICA

Transición energética y sostenibilidad en concesiones carreteras: Experiencias desde la autopista México – Toluca

Firme mixto del tercer carril de la A-66 (Lugones-Matalablima): aspectos importantes de su diseño y puesta en obra.

Implementación de los Sistemas de Ayuda a la Conducción (ADAS-Advanced Driver Assistance Systems) y su impacto en la Seguridad Vial

Gestión avanzada del firme en redes viarias maduras: mejores prácticas internacionales y futuro Sistema Avanzado de Gestión de Firmes de la Dirección General de Carreteras

ACTIVIDADES DEL SECTOR

Sara Hernández del Olmo, nueva Secretaria General de Transporte Terrestre

Guillermo Llopis Serrano, nuevo Director General de Carreteras



SUMARIO

NÚMERO 208

JULIO / SEPTIEMBRE 2026
REVISTA TRIMESTRAL











Tribuna Abierta

03 **Los laboratorios: cimiento de las carreteras**
Óscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez

Entrevista

04 **Ana Tadeo Rico y Pedro Hernández Carrillo. La voz del laboratorio**

Rutas Técnica

07 **Transición energética y sostenibilidad en concesiones carreteras: Experiencias desde la autopista México – Toluca**
Energy transition and sustainability in road concessions: Lessons learnt from the Mexico–Toluca motorway
Francisco Ramírez Moreno, Isaac Vázquez López, Marco Antonio Montiel Flores y Alejandra Mendoza González

14 **Firme mixto del tercer carril de la A-66 (Lugones-Matalablima): aspectos importantes de su diseño y puesta en obra.**
Composite pavement for the third carriageway of the A-66 (Lugones–Matalablima): key aspects of its design and construction.
Jesús Díaz, José Luis Carrera y Patricia Amo

24 **Implementación de los Sistemas de Ayuda a la Conducción (ADAS- Advanced Driver Assistance Systems) y su impacto en la Seguridad Vial**
Implementation of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) and their impact on Road Safety
Grupo de trabajo 3 del Comité de Seguridad Vial de la ATC

42 **Gestión avanzada del firme en redes viarias maduras: mejores prácticas internacionales y futuro Sistema Avanzado de Gestión de Firmes de la Dirección General de Carreteras**
Advanced pavement management in mature road networks: international best practice and the future Advanced Pavement Management System of the Directorate General for Roads
Christian de la Calle, Antonio Muruais, Jose Antonio Ramos y Fernando Varela

Actividades del Sector

51 **Sara Hernández del Olmo, nueva Secretaria General de Transporte Terrestre**

52 **Guillermo Llopis Serrano, nuevo Director General de Carreteras**

53 **La ATC, el IES Virgen de la Paloma y ACEX impulsan la formación en conservación de carreteras**

PIARC

54 **KEC presenta en España su propuesta para acoger el Congreso Mundial de Vialidad Invernal de PIARC de 2029**

ATC

55 **El Centenario del Circuito Nacional de Firmes Especiales: Infraestructura, Territorio y Patrimonio (1926-2026)**

59 **Curso de formación “Incendio en túneles”: conocimiento y experiencia para mejorar la seguridad**

60 **Próximos eventos ATC**

61 **Junta Directiva, Comités Técnicos y Socios de la ATC**

Edita:
ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS
Monte Esquinza, 24 4º Dcha. ◆ 28010 ◆ Madrid
Tel.: 913 082 318 ◆ Fax: 913 082 319
info@atc-piarc.com - www.atc-piarc.com

Comité Editorial:

Presidente:
Álvaro Navareño Rojo — Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras (España)

Vicepresidente Ejecutivo:
Óscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez — Dirección General de Carreteras, MITMS (España)

Vocales:

Ana Isabel Blanco Bergareche	Subdirectora Adjunta de Circulación, DGT, M. Interior
Alfredo García García	Catedrático de la Universitat Politècnica de València
Jaime Huerta Gómez de Merodio	Secretario del Foro de Nuevas Tecnologías en el Transporte, ITS España
María Martínez Nicolau	Directora Técnica de Innovia-Coptalia
Jesús J. Rubio Alférez	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Javier Sainz de los Terreros Goñi	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Vocales-Representantes de los Comités Técnicos de la ATC:

Rafael López Guarga	Presidente del CT de Túneles de Carreteras
José Manuel Blanco Segarra	Presidente del CT de Financiación
Luis Azcue Rodríguez	Presidente del CT de Vialidad Invernal
Valverde Jiménez Ajo	Presidenta del CT de Firmes de Carreteras
Fernando Pedrazo Majarrez	Presidente del CT de Movilidad, Planificación y Diseño
Manuel Romana García	Presidente del CT de Geotecnia Vial
Paula Pérez López	Presidenta del CT de Conservación y Gestión
Emilio Criado Morán	Presidente del CT de Puentes de Carreteras
Roberto Llamas Rubio	Presidente del CT de Seguridad Vial
Antonio Muruais Rodríguez	Presidente del CT de Carreteras Sostenibles y Resilientes
Mónica Laura Alonso Plá	Presidenta del CT de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico
Álvaro Navareño Rojo	Presidente del CT de Dotaciones Viales
Rita Ruiz Fernández	Presidenta del CT de Valor Histórico Patrimonial

Redacción, Maquetación, Diseño, Producción y Gestión Publicitaria:
Asociación Técnica de Carreteras
Tel.: 91 308 23 18 ◆ info@atc-piarc.com

Arte Final, Impresión y Distribución:
Huna Comunicación (Huna Soluciones Gráficas S. L.)
Tel.: 91 029 26 30 ◆ www.hunacomunicacion.es

Depósito Legal: M-7028-1986 - ISSN: 1130-7102
Todos los derechos reservados.

La Revista Rutas publica trabajos originales de investigación, así como trabajos de síntesis, sobre cualquier campo relacionado con las infraestructuras lineales. Todos los trabajos son revisados de forma crítica al menos por dos especialistas y por el Comité de Redacción, los cuales decidirán sobre su publicación. Solamente serán considerados los artículos que no hayan sido, total o parcialmente, publicados en otras revistas, españolas o extranjeras. Las opiniones vertidas en las páginas de esta revista no coinciden necesariamente con las de la Asociación ni con las del Comité de Redacción de la revista.

Precio en España: 18 euros +IVA



Nº 208 JULIO - SEPTIEMBRE 2026

RUTAS
REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

© Asociación Técnica de Carreteras

REVISTA RUTAS

La Revista Rutas desde 1986, año de su creación, es la revista editada por la Asociación Técnica de Carreteras (Comité Nacional Español de la Asociación Mundial de la Carretera).

Las principales misiones de la Asociación, reflejadas en sus Estatutos son:

- Constituir un foro neutral, objetivo e independiente, en el que las administraciones de carreteras de los distintos ámbitos territoriales (el Estado, las comunidades autónomas, las provincias y los municipios), los organismos y entidades públicas y privadas, las empresas y los técnicos interesados a título individual en las carreteras en España, puedan discutir libremente todos los problemas técnicos, económicos y sociales relacionados con las carreteras y la circulación viaria, intercambiar información técnica y coordinar actuaciones, proponer normativas, etc.
- La promoción, estudio y patrocinio de aquellas iniciativas que conduzcan a la mejora de las carreteras y de la circulación viaria, así como a la mejora y extensión de las técnicas relacionadas con el planteamiento, proyecto, construcción, explotación, conservación y rehabilitación de las carreteras y vías de circulación.

Gestión avanzada del firme en redes viarias maduras: mejores prácticas internacionales y futuro Sistema Avanzado de Gestión de Firmes de la Dirección General de Carreteras



Advanced pavement management in mature road networks: international best practice and the future Advanced Pavement Management System of the Directorate General for Roads

Christian de la Calle
Dirección General de Carreteras
MITMS

Antonio Muruais
Dirección General de Carreteras
MITMS

Jose Antonio Ramos
RAUROSZM

Fernando Varela
RAUROSZM

La gestión de pavimentos se ha convertido en una de las funciones críticas de las administraciones viarias avanzadas. En redes maduras, el problema principal ya no es únicamente conocer el estado superficial o estructural del firme, sino decidir dónde, cuándo y cómo intervenir para maximizar el valor público de la red bajo restricciones presupuestarias, exigencias de seguridad, presión sobre la disponibilidad, objetivos de descarbonización y exposición creciente a eventos climáticos extremos.

El análisis internacional muestra una convergencia clara. Estados Unidos ha institucionalizado la gestión por desempeño mediante inventarios federales y métricas normalizadas del National Highway System; Inglaterra vincula la gestión del Strategic Road Network a periodos regulatorios, objetivos de servicio y auditoría externa; Canadá, Australia, Nueva Zelanda, Japón, Alemania, Irlanda y los países miembros de CEDR han desarrollado marcos de referencia, indicadores comparables, modelos de deterioro y plataformas de apoyo a la decisión que permiten pasar de la conservación reactiva a la conservación preventiva y predictiva.

En este contexto, el Sistema Avanzado de Gestión de Firmes (SAGF) previsto por la Dirección General de Carreteras (DGC) del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible representa una oportunidad para situar la gestión de firmes de la Red de Carreteras del Estado en la frontera de las mejores prácticas internacionales. El pliego[1] del expediente de contratación AC-520/25 “Consultoría y asistencia técnica para la gestión técnica avanzada de los firmes de la Red De Carreteras del Estado” incorpora los elementos esenciales para ello: integración de datos históricos y futuros, inventario estructurado, auscultación, tráfico, geometría, climatología, modelos de deterioro, prognosis, inteligencia artificial, programación plurianual, análisis del ciclo de vida, cambio climático, interoperabilidad y trazabilidad de actuaciones ejecutadas.

Pavement management has become one of the critical functions of advanced road authorities. In mature networks, the main challenge is no longer simply to ascertain the surface or structural condition of the pavement, but to decide where, when and how to intervene in order to maximise the public value of the network, whilst taking into account budgetary constraints, safety requirements, pressure on availability, decarbonisation targets and increasing exposure to extreme weather events. International analysis reveals a clear convergence. The United States has institutionalised performance-based management through federal inventories and standardised metrics for the National Highway System; England links the management of the Strategic Road Network to regulatory periods, service targets and external audits; Canada, Australia, New Zealand, Japan, Germany, Ireland and the member countries of CEDR have developed reference frameworks, comparable indicators, deterioration models and decision-support platforms that enable a shift from reactive maintenance to preventive and predictive maintenance.

In this context, the Advanced Pavement Management System (SAGF) planned by the Directorate-General for Roads (DGC) of the Ministry of Transport and Sustainable Mobility represents an opportunity to bring pavement management on the State Road Network into line with international best practice. The tender specifications for contract AC-520/25 'Consultancy and technical assistance for the advanced technical management of road pavements on the State Road Network' incorporates the essential elements for this: integration of historical and future data, a structured inventory, condition surveys, traffic, geometry, climatology, deterioration models, forecasting, artificial intelligence, multi-year planning, life-cycle analysis, climate change, interoperability and traceability of actions carried out.

1. Introducción: la gestión de firmes como problema estratégico de gestión de activos

La gestión de firmes ha evolucionado desde una disciplina centrada en la auscultación y la rehabilitación técnica hacia la concepción estratégica de la gestión de activos viales. En su formulación clásica, el gestor medía el estado del pavimento, clasificaba los tramos por indicadores de regularidad, fisuración, roderas, textura o deflexiones, y programaba actuaciones de acuerdo con umbrales técnicos y disponibilidad presupuestaria. Ese enfoque sigue siendo necesario, pero ya no es suficiente.

En redes viarias maduras, la decisión de conservación debe responder simultáneamente a varias preguntas: qué tramo está peor, qué tramo se deteriorará antes, qué intervención es técnicamente más adecuada, qué alternativa genera menor coste de ciclo de vida, qué impacto produce una actuación sobre los usuarios y logística, qué huella de carbono genera, qué riesgo climático afecta al tramo y qué consecuencias tendría no actuar. Por tanto, la gestión de firmes forma parte de la gestión integral de activos viales y debe coordinarse con una gestión de estructuras, drenaje, señalización, activos geotécnicos, así como con otras disciplinas como la conservación ordinaria, el seguimiento de la vialidad, la información geográfica, los datos de movilidad y tráfico y, por supuesto, el marco de financiación.

Las necesidades objeto del pliego del expediente de contratación AC-520/25 se sitúan precisamente en esta lógica. El contrato se deriva del Programa de Compra Pública de Innovación impulsado en 2022 por la DGC y tiene como objeto la gestión técnica avanzada de los firmes de la Red de Carreteras del Estado. El propio pliego señala que la DGC recibió más de 550 propuestas en una consulta preliminar de mercado y que, para el reto específico de diagnóstico del estado actual de los firmes y su evolución, se recibieron 45 propuestas, de las cuales el 33% fueron consideradas interesantes. Este dato evidencia que la gestión de firmes es un campo técnicamente maduro, pero todavía abierto a la innovación aplicada.

[1] https://contrataciondelestado.es/FileSystem/servlet/GetDocumentByIdServlet?cifrado=QUC1GjXXSiLkydRHJBmbpw%3D%3D&DocumentIdParam=dCloYKmr9OlHL1QGMjh/6f2iDpKUHx8RugMhqiycfDYLtUkjBQoIlWwBQZ/LccU9S/Ra53OfcuUaTTUcsMZya5yCvMAP5b3n9wwx3J0w4CDVTD3T98KC0nSgQFM0q%2B5s

2. Contexto internacional: redes extensas, maduras y sometidas a presión presupuestaria

La comparación internacional permite comprender la escala del problema y la razón por la que los países con redes desarrolladas han reforzado sus sistemas de gestión de pavimentos. La gestión moderna no surge solo por disponibilidad tecnológica, sino por necesidad institucional: mantener redes extensas, envejecidas y con tráfico intenso exige priorizar con datos y justificar cada euro invertido.

La tabla 1 no pretende homogeneizar realidades institucionales muy distintas, sino identificar patrones comunes de gestión avanzada. Los países con mejor práctica han formalizado tres elementos: un modelo de datos, una métrica de desempeño y un proceso de decisión. Cuando alguno de estos tres elementos falta, la gestión tiende a convertirse en inventario, diagnóstico o programación presupuestaria, pero no en verdadera gestión de activos.

La comparación internacional se entiende mejor si, además del modelo institucional, se observa la es-

Tabla 1.

País / ámbito	Magnitud de red	Tipología de red	Modelo de gestión	Mejor práctica destacable	Fuente / enlace web o referencia
Estados Unidos	Red pública total: más de 4 millones de millas; Sistema Nacional de Autopistas con medición federal normalizada de condición (estado).	Interestatal, arteriales, colectoras, locales y Sistema Nacional de Carreteras de los Estados Unidos (NHS).	FHWA Highway Statistics; HPMS; Transportation Performance Management; planes estatales de gestión de activos.	Gestión por desempeño, reporte federal homogéneo y vinculación con financiación.	Refs. [3]-[5]: FHWA Highway Statistics, HM-47C y HPMS.
Inglaterra	Red viaria estratégica: aprox. 4.500 millas / 7.240 km.	Autopistas y carreteras A principales gestionadas por National Highways.	Road Investment Strategy por periodos, indicadores de rendimiento (KPIs), ORR como monitor independiente, cuadros regionales.	Separación entre política, operador y regulador; control externo de resultados.	Refs. [6]-[8]: National High-ways, ORR y Performance Monitoring Statements.
Canadá	Red pública: 1.042,3 miles de km equivalentes a dos carriles; 415,6 miles de km pavimentados y 626,7 no pavimentados.	Red federal/provincial/ territorial y municipal; gran peso de red rural no pavimentada.	Inventarios provinciales, guías TAC, indicadores de condición y desempeño.	Gestión adaptada a redes extensas, clima severo y baja densidad territorial.	Ref. [9]: Transport Canada, Table RO2.
Australia	Aprox. 463.000 km de carreteras pavimentadas y tráfico anual del orden de 260.000 millones de vehículos-km.	Carreteras nacionales, estatales, locales; gran presencia de red regional y remota.	Austroads, Road Asset Data Standard, guías de evaluación de pavimentos, modelos PMS estatales.	Estandarización de datos, guías técnicas comunes y fuerte cultura de gestión de activos.	Refs. [14]-[15]: Austroads Road Asset Data Standard y Guide to Pavement Technology.
Nueva Zelanda	Red estatal y local gestionada bajo un marco nacional de clasificación funcional.	Autopistas estatales y redes locales clasificadas por función y nivel de servicio.	One Network Road Classifica-tion / One Network Frame-work; indicadores de coste, seguridad, accesibilidad, condición y nivel de servicio.	Relación explícita entre jerarquía funcional, nivel de servicio y financiación.	Refs. [12]-[13]: ONRC/ ONF y Auditor-General NZTA.
Japón	Red total superior a 1,2 millones de km; combinación de autopistas, carreteras nacionales, carreteras prefecturales y vías municipales.	Autopistas, carreteras nacionales, carreteras prefecturales y carreteras municipales.	Mantenimiento preventivo, inspección periódica, gestión de envejecimiento de activos y guías de conservación.	Planificación preventiva en una red envejecida y expuesta a riesgos natura-les.	Ref. [16]: MLIT, Roads in Japan 2024.
Alemania	Red federal troncal: aprox. 13.000 km de Autobahnen y 38.000 km de Bundesstras-sen.	Autopistas federales y carreteras federales; gestión con evaluación periódica ZEB.	ZEB: evaluación de estado con regularidad longitudinal/transversal, adherencia y daños superficiales.	Ciclo sistemático de medición, normalización técnica y uso de bases de datos de condición.	Ref. [17]: BASt/BMDV, ZEB.
Europa / CEDR	2023 Pan-European Road Network Performance Report: más de 61.000 km en 18 administraciones nacionales.	Autopistas de más de cuatro carriles, autopistas de hasta cuatro carriles y carreteras no autopistas.	Modelo común de referenciación, definiciones homogéneas y benchmarking bienal.	Comparabilidad internacional mediante definiciones comunes y datos suministrados por las Autoridades Nacionales de Carreteras.	Ref. [10]: CEDR 2023 PERN Report.

cala relativa de las redes o ámbitos de análisis. La Figura 1 resume esas magnitudes con carácter orientativo y no homogéneo.

3. Mejores prácticas internacionales en gestión de pavimentos

Las mejores prácticas internacionales pueden agruparse en ocho bloques. El primero es la existencia de un inventario único, georreferenciado y mantenido, con trazabilidad lineal y espacial. El segundo es la realización de campañas sistemáticas de auscultación con indicadores comparables en el tiempo. El tercero es la integración de información de tráfico, geometría, clima y estructura del firme. El cuarto es el registro histórico de actuaciones ejecutadas. El quinto es la calibración de modelos de deterioro y prognosis. El sexto es la programación plurianual de actuaciones bajo restricciones presupuestarias. El séptimo es la incorporación de costes de usuario, huella de carbono y resiliencia. El octavo es la existencia de herramientas informáticas que conviertan todos estos datos en decisiones auditables.

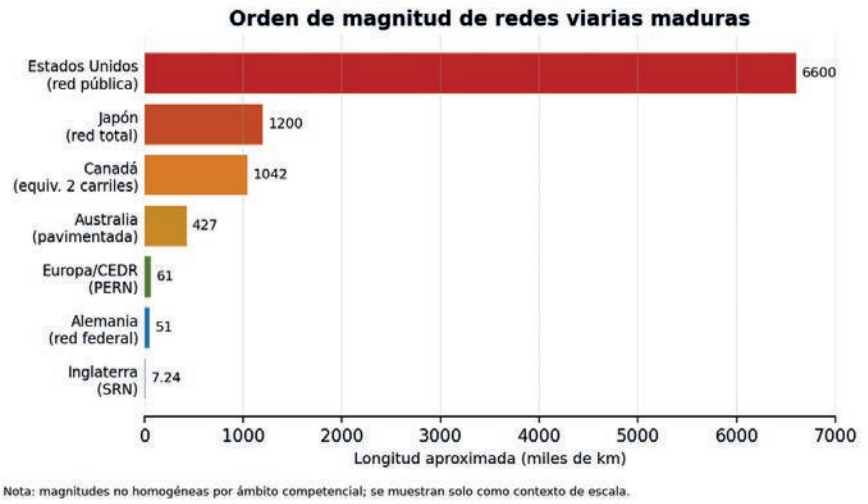


Figura 1. Orden de magnitud de algunas redes y ámbitos de referencia citados en el benchmarking internacional. [2]

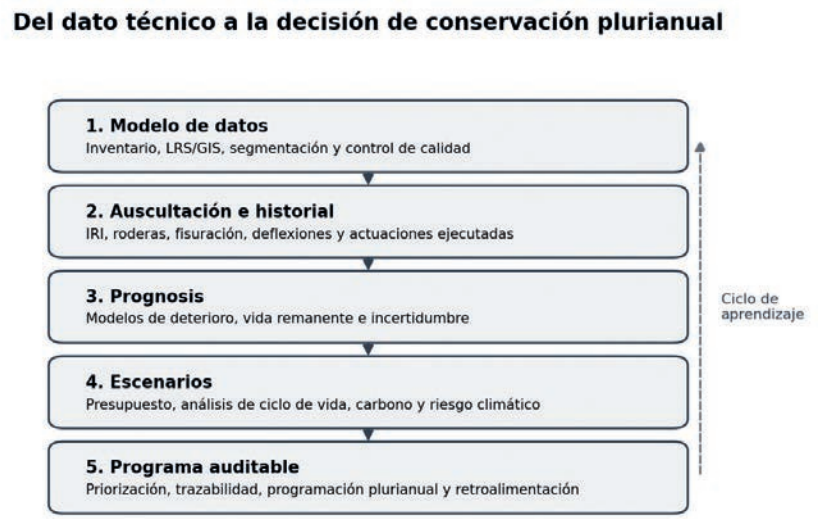


Figura 2. Esquema simplificado de transición desde el dato técnico hasta la programación plurianual de conservación. [3]

Desde esta perspectiva, la gestión avanzada no se limita a medir la condición del pavimento, sino que transforma datos auditables en decisiones de programación. La Figura 2 sintetiza ese flujo de trabajo.

Estados Unidos ofrece un ejemplo de institucionalización de métricas de pavimento. La Federal Highway Administration (FHWA) utiliza el Sistema de Seguimiento del Desempeño de Carreteras (Highway Performance Monitoring System, HPMS) y tablas nacionales sobre el Sistema Nacional de Carreteras (National Highway System, NHS) para variables como el índice internacional de regularidad (International Roughness Index, IRI), las roderas (rutting), la fisuración (cracking) y el escalonamiento en juntas o losas de pavimentos de hormigón (faulting). Esta normalización permite una lectura homogénea de la condición del pavimento y su vinculación con el marco federal de gestión del desempeño del transporte (Transportation Performance Management, TPM). En 2023, las tablas de roderas del NHS reportaban más de 112.000 millas rurales y más de 75.000 millas urbanas con información medida, lo que equivale a más de 300.000 km de longitud reportada para ese indicador.

Inglaterra representa otro modelo de interés. National Highways gestiona una red relativamente pequeña en

[2] Figura adaptada a partir de datos y referencias de FHWA Highway Statistics 2023; National Highways, Roads we manage; Transport Canada, Table RO2 2023; BITRE, Australian Infrastructure and Transport Statistics Yearbook 2023; MLIT, Roads in Japan 2024; BMDV/BASt; y CEDR, 2023 Pan-European Road Network Performance Report.

[3] Esquema adaptado a partir de PIARC, Road Asset Management Manual, y Transport Infrastructure Ireland, Pavement Asset Management Guide AM-PAV-06060.

longitud, en torno a 4.500 millas, pero de enorme peso funcional, ya que la esta red estratégica de carreteras transporta alrededor de un tercio del tráfico y dos tercios del transporte de mercancías. La gestión se articula mediante diferentes estrategias de inversión, Indicadores de estado o Key Performance Indicators (KPIs) nacionales, informe anual, evaluación externa por la Office of Rail and Road y cuadros de mando regionales. Este enfoque refuerza la rendición de cuentas y la trazabilidad de las decisiones.



Figura 3. Familias de indicadores que deben integrarse para pasar del diagnóstico técnico a una decisión de conservación orientada al valor público. [4]

Tabla 2.

Familia de KPI	Indicadores habituales	Uso internacional	Utilidad para decisión
Condición funcional	IRI / regularidad longitudinal; ELPV o métricas equivalentes de suavidad; roderas; textura.	Estados Unidos, Inglaterra, Australia, Alemania, España, Irlanda.	Priorizar rehabilitaciones superficiales, confort, coste de operación de usuarios y percepción de calidad.
Condición superficial	Fisuración longitudinal, transversal y en malla; baches; parches; deterioros visua-les; PCI en algunos entornos.	Estados Unidos, Canadá, Australia, Japón, municipios norteamericanos, aeropuer-tos.	Identificar tratamiento preventivo, sellado, fresado/reposición o rehabilitación.
Condición estructural	Deflexiones FWD o equivalentes, índice estructural, vida remanente, capacidad portante.	España, Nueva Zelanda, Australia, Japón, Alemania.	Diferenciar rehabilitación superficial frente a estructural; programar refuerzos.
Seguridad superficial	Rozamiento / skid resistance, macrotextu-ra, drenabilidad superficial.	Reino Unido, Alemania, Nueva Zelanda, Australia, España.	Priorizar intervenciones en tramos con riesgo de deslizamiento, lluvia o alta accidentalidad.
Tráfico y criticidad	IMD, pesados, HGV %, ejes equivalentes, tráfico logístico, jerarquía funcional, redundancia.	Todos los modelos avanzados.	Ponderar consecuencias: no todos los km tienen el mismo valor funcional ni social.

Nueva Zelanda destaca por la vinculación entre clasificación funcional, niveles de servicio y financiación. El "One Network Road Classification" fue concebido para estandarizar el desempeño de las carreteras en todo el país y reducir inconsistencias históricas. En el ámbito de pavimentos, este enfoque obliga a que el estado aceptable de una vía no se valore en abstracto, sino de acuerdo con su función en la red, el tipo de usuario al que sirve y el nivel de servicio exigible.

Alemania es una referencia por la sistematización de la evaluación de estado. La metodología ZEB evalúa periódicamente la red federal mediante mediciones automatizadas de regularidad, adherencia y deterioros superficiales. La lógica alemana no se limita a medir; estructura la información de manera que permita análisis de red, comparación temporal y planificación de inversiones en conservación.

El caso europeo, a través de CEDR, es especialmente útil para España porque muestra la importancia de las definiciones comunes. El Pan-European Road Network Performance Report utiliza un modelo común de referenciación y definiciones de datos compartidas, lo que permite comparar redes de administraciones nacionales distintas. En gestión de firmes, esta lección es crítica: la comparabilidad de indicadores depende tanto de la calidad de medición como de la normalización de segmentos, carriles, periodos, equipos, umbrales y criterios de agregación.

[4] Esquema adaptado a partir de FHWA, Transportation Performance Management / HPMS Field Manual; CEDR, Pan-European Road Network Performance Report; y TII, Pavement Asset Management Guide AM-PAV-06060.

4. Benchmarking de KPIs utilizados en la toma de decisiones

Los indicadores o KPIs utilizados por las administraciones avanzadas pueden clasificarse en cinco familias: condición técnica, seguridad y confort, funcionalidad y disponibilidad, economía y ciclo de vida, y sostenibilidad/resiliencia. La tendencia no es sustituir los indicadores técnicos, sino complementarlos con indicadores que permitan justificar la decisión desde una perspectiva de valor público.

La lectura de los KPIs debe ser combinada. La Figura 3 muestra las familias de indicadores que conviene integrar para evitar que la decisión dependa de un único umbral técnico.

El principal aprendizaje de este benchmarking es que el KPI aislado pierde fuerza decisoria. Por ejemplo, un IRI elevado puede indicar una necesidad funcional, pero la decisión cambia si el tramo tiene poco tráfico, si el firme conserva capacidad estructural, si existe una intervención reciente, si la carretera es un itinerario logístico crítico o si la alternativa de tratamiento genera una huella de carbono muy diferente. La gestión avanzada requiere, por tanto, indicadores combinados y trazables.

Tabla 3.

Herramienta / enfoque	Naturaleza	Funcionalidades destacadas	Ventajas	Limitaciones / cautelas
PAVER / MicroPAVER	Sistema clásico de gestión de pavimentos desarrollado inicialmente para el Department of Defense de EE. UU.; usa PCI de 0 a 100.	Inventario, inspección, PCI, predicción de condición, escenarios de mantenimiento y rehabilitación.	Fuerte trazabilidad metodológica; muy útil para redes locales, aeropuertos, instalaciones y entornos con metodología PCI.	Menor flexibilidad para integrar objetivos multi-activo, carbono o arquitecturas corporativas complejas sin adaptación.
dTIMS / Deighton	Plataforma comercial de decisión para gestión de infraestructura y pavimentos.	Modelos deterministas/ probabilísticos, análisis de escenarios, optimización, necesidades de financiación, GIS/ LRS, dashboards.	Muy potente en planificación estratégica y análisis de escenarios; usada por agencias con enfoque de gestión de activos.	Requiere configuración intensiva, calibración y adaptación al modelo de datos de la agencia.
AgileAssets / Trimble Pavement Analyst	Solución comercial orientada a optimizar planes de trabajo durante el ciclo de vida del pavimento.	Análisis multianual, restricciones múltiples, modelos de deterioro, árboles de decisión, GIS/LRS, planes optimizados.	Adecuada para agencias que buscan PMS integrado con gestión de activos corporati-vo.	La lógica final depende de configuración y de la calidad de datos históricos.
Pavement Express / Trimble	Sistema configurable de despliegue más rápido para gobiernos locales.	Inventario, estrategia, análisis y gestión de calles/aceras.	Menor tiempo de puesta en marcha; útil para administraciones locales.	Puede resultar insuficiente para requerimientos nacionales complejos o integración corpo-rativa avanzada.
RoadBotics / solu-ciones AI de inspec-ción visual	Herramientas basadas en imágenes y aprendizaje automático para evaluación rápida de condición superficial.	Captura de imágenes, clasificación automática, puntuación de segmentos, salidas GIS/CSV.	Reduce coste y tiempo de campañas visuales; útil como fuente complementaria.	No sustituye auscultación estructural ni modelos completos de ciclo de vida.
ICARO	Sistema avanzado de gestión de activos viales y firmes, desarrollado como plataforma especializada para administraciones y operadores de infraestructuras viarias.	Inventario georreferenciado, auscultación, diagnóstico de estado, integración GIS/LRS, imágenes y datos de campo, indicadores, modelos de deterioro, programación de actuaciones, análisis presupuestario, cuadros de mando e interopera-bilidad con sistemas corporativos.	Alta adaptación al modelo institucional del gestor; integración multi-activo; enfoque orientado a decisión, trazabilidad y planificación plurianual; capacidad de evolución funcional según necesidades de la administración.	Requiere gobernanza del dato, mantenimiento evolutivo, calibración específica por red y coordinación con los sistemas corporativos del titular de la infraestructura.
Sistemas nacionales a medida	Plataformas desarrolladas por o para una administración concreta.	Modelo de datos propio, integración con sistemas corporativos, reglas de negocio, informes oficiales, interoperabilidad, seguridad.	Máxima adaptación institucional; permite soberanía del dato y alineación con normativa propia.	Mayor exigencia de gobernanza, mantenimiento adaptativo, control de calidad y continuidad tecnológica.
Enfoque híbrido	Combinación de componentes comerciales, módulos específicos y arquitectura de datos propia.	Integración de datos, modelos de deterioro, AI, ACV, dashboards, conectores, servi-cios web.	Equilibra madurez tecnológica y adaptación al gestor.	Requiere una arquitectura clara para evitar dependencia tecnológica o fragmentación.

5. Herramientas informáticas: soluciones comerciales frente a sistemas a medida

La evolución de la gestión de pavimentos ha estado acompañada por distintas generaciones de herramientas informáticas. En una primera etapa predominaban bases de datos e inventarios con salidas tabulares. Posteriormente se incorporaron GIS, modelos de deterioro y optimización presupuestaria. En la actualidad, las plataformas más avanzadas integran datos multi-fuente, análisis avanzado o predictivo, dashboards, integración del factor movilidad, datos procedentes de vehículos conectados, inteligencia artificial, cálculo de la huella de carbono, análisis del ciclo de vida (ACV) y conexión con los sistemas de información y gestión corporativos.

Desde el punto de vista de contratación pública y diseño institucional, existe una tensión natural entre soluciones comerciales y desarrollos a medida. Las soluciones comerciales ofrecen rapidez de implantación, experiencia acumulada, módulos ya probados y menor riesgo de desarrollo inicial. Por su parte, las soluciones a medida permiten adaptar el modelo de datos, la lógica de negocio, las reglas de priorización, la integración con plataformas corporativas y los requisitos específicos de soberanía del dato. La práctica más robusta suele ser híbrida: aprovechar componentes maduros cuando aportan valor y desarrollar a medida las capas que definen la lógica institucional del gestor. (Tabla 3)

El SAGF que va a desarrollar la DGC se aproxima al enfoque de plataforma a medida con capacidad de incorporar módulos y datos externos. Esta orientación es coherente con una red amplia en la que la DGC debe preservar la coherencia metodológica, la interoperabilidad con potentes herramientas de apoyo también de desarrollo propio, como el visor GIS “VisoRCE” o las plataformas de big data y sistema nacional de tráfico, y otros requisitos de seguridad, trazabilidad administrativa y vocación de evolucionar el sistema intra y extra-contrato. La clave no será únicamente el desarrollo informático, sino la calidad y estandarización de los modelos de datos, el mantenimiento adaptativo, la gobernanza de cargas de información y la validación técnica de los resultados.

6. Encaje del SAGF en la frontera internacional de mejores prácticas

El pliego del contrato AC-520/25 contiene los elementos esenciales que se observan en las administraciones internacionales más avanzadas. En primer lugar, exige una aplicación web capaz de visualizar y consultar datos disponibles al inicio del contrato y datos generados durante el manejo de la aplicación. En segundo lugar, requiere capacidad de procesamiento de múltiples formatos y visualización integrable en las herramientas corporativas de la DGC. En tercer lugar, impone la integración de auscultaciones, inspecciones visuales, trabajos de campo, ensayos, inventarios, indicadores de estado, actuaciones de rehabilitación, tráfico, climatología, geometría y otros activos viarios.

El pliego también responde a una debilidad tradicional de los sistemas de pavimentos: el historial de actuaciones. Solicita un modelo de datos de actuaciones que permita registrar de forma coherente e inequívoca los datos no solo administrativos sino también técnicos de las intervenciones de conservación de firmes, incluidas rehabilitaciones superficiales o estructurales, acondicionamientos, mejoras y actuaciones procedentes de distintos ámbitos contractuales. Esta funcionalidad es determinante para calibrar modelos de deterioro y evaluar la rentabilidad real de las estrategias de conservación.

En materia predictiva, el SAGF exige modelos teóricos de deterioro, modelos de prognosis temporal y utilización de técnicas de inteligencia artificial cuando resulten apropiadas. Esta combinación reproduce la evolución internacional desde modelos empíricos y deterministas hacia modelos híbridos, calibrados con datos históricos y apoyados en aprendizaje automático cuando existe suficiente calidad de dato.

En materia económica y ambiental, el pliego exige programación anual y plurianual de actuaciones, evaluación de necesidades de inversión y desarrollo de una herramienta de análisis del ciclo de vida que contemple extracción de materias primas, fabricación, construcción, transporte, utilización, mantenimiento, reciclado y disposición final. Además, incorpora el análisis del impacto del cambio climático y mecanismos de mitigación. Esta orientación alinea el SAGF con la tendencia internacional de integrar coste de ciclo de vida, huella de carbono, resiliencia y nivel de servicio.

7. Buenas prácticas para la implantación del sistema

El benchmarking internacional permite identificar varias recomendaciones para la implantación efectiva del SAGF. La primera es definir un modelo de datos estable antes de sofisticar los modelos. Los países y agencias que han tenido éxito no han comenzado por algoritmos complejos, sino por datos fiables, segmentos homogéneos, localización consistente, reglas de actualización y control de calidad.

La segunda recomendación es distinguir entre indicador técnico e indicador de decisión. El IRI, la fisuración, la deflexión o el rozamiento describen el estado del firme; la decisión de intervención exige integrar criticidad, tráfico, seguridad, coste de usuario, coste de ciclo de vida, huella de carbono, riesgo climático y oportunidad de actuar. El SAGF debe permitir ambos niveles: diagnóstico técnico y priorización estratégica.

La tercera recomendación es evitar la gestión "worst first". Actuar únicamente sobre los tramos en peor estado suele consumir presupuesto en rehabilitaciones costosas y reduce la capacidad preventiva del sistema. Las plataformas avanzadas deben identificar tratamientos oportunos en fases tempranas de deterioro y comparar escenarios: presupuesto constante, mantenimiento de nivel de servicio, reducción objetivo del déficit de actuación, minimización de carbono o maximización del beneficio social.

La cuarta recomendación es cerrar el ciclo de aprendizaje. Cada actuación ejecutada debe actualizar el inventario, modificar la sección de firme, alimentar el historial, afectar a la predicción futura y permitir evaluar si el comportamiento posterior coincide con lo previsto. Sin este ciclo, la herramienta se convierte en un sistema de información; con este ciclo, se convierte en un sistema de gestión.

La quinta recomendación es diseñar una gobernanza de usuarios. Los cuadros de mando deben adaptarse a perfiles: dirección, planificación, demarcaciones, sectores de conservación, técnicos de firmes, responsables de explotación, responsables ambientales y responsables presupuestarios. La misma base de datos debe producir lecturas distintas sin perder coherencia metodológica.



Figura 4.

8. Conclusiones

La gestión moderna de firmes se integra dentro de la gestión de activos viales y no puede entenderse como una función aislada de auscultación o rehabilitación. Los países con redes viarias desarrolladas han institucionalizado modelos de datos, indicadores de desempeño, sistemas de reporte y herramientas de apoyo a la decisión donde los indicadores de desempeño más utilizados combinan regularidad, fisuración, roderas, textura, rozamiento, capacidad estructural, tráfico, seguridad, coste de ciclo de vida, disponibilidad, carbono y resiliencia. El historial de actuaciones es también un elemento crítico para la gestión: sin saber qué se ejecutó, dónde, cuándo, con qué materiales, con qué coste y con qué resultado, no es posible calibrar modelos ni justificar decisiones.

Las herramientas comerciales aportan madurez, módulos probados y rapidez de implantación; los desarrollos a medida aportan adaptación institucional, soberanía del dato e integración con sistemas corporativos. El enfoque óptimo suele ser híbrido y gobernado por una arquitectura clara.

En este sentido, el pliego del contrato del Sistema Avanzado de Gestión de Firmes de la DGC (SAGF) apuesta por el desarrollo de una herramienta propia ad hoc, incorporando eso sí los componentes que definen la frontera internacional: integración de datos históricos y futuros, modelos de deterioro, prognosis, inteligencia artificial, programación plurianual, análisis de ciclo de vida, cambio climático, interoperabilidad y mantenimiento adaptativo.

La oportunidad estratégica para la DGC consiste en convertir el SAGF en una plataforma de decisión auditable y evolutiva, capaz de justificar inversiones de conservación por valor técnico, económico, social, ambiental y resiliente y con potencial de convertirse en una palanca hacia la rendición de cuentas en este ámbito de cara a los usuarios y la sociedad.

Referencias bibliográficas y documentales

[1] Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. Dirección General de Carreteras. Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares AC-520/25. Contrato de servicios de consultoría y asistencia técnica para la gestión técnica avanzada de los firmes de la Red de Carreteras del Estado. 2025.

[2] PIARC - World Road Association. Road Asset Management Manual. https://road-asset.piarc.org/en

[3] Federal Highway Administration. Highway Statistics 2023. U.S. Department of Transportation. https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics/2023/

[4] Federal Highway Administration. Highway Statistics 2023, Table HM-47C: National Highway System length by measured pavement rutting. 2025. https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics/2023/hm47c.cfm

[5] Federal Highway Administration. Highway Performance Monitoring System Field Manual. U.S. Department of Transportation. https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/hpms/fieldmanual/page01.cfm

[6] National Highways. Roads we manage. Strategic Road Network. https://nationalhighways.co.uk/our-roads/roads-we-manage/

[7] Office of Rail and Road. Annual Assessment of National Highways' performance 2024-2025. 2025. https://www.orr.gov.uk/sites/default/files/2025-07/annual-assessment-of-national-highways-performance-2024-2025-print.pdf

[8] National Highways. Performance Monitoring Statements 2024-25. https://nationalhighways.co.uk/media/hf3g525d/2024-25-national-highways-performance-monitoring-statements.pdf

[9] Transport Canada. Road Transportation. Table RO2: Length of Public Road Network in Canada, 2023. https://tdih-cdit.tc.canada.ca/en/addendum-tables/2023/table-ro2-length-public-road-network-canada-2023

[10] CEDR. 2023 Pan-European Road Network Performance Report. 2024. https://www.cedr.eu/news-data/4114/CEDR-publishes-its-2023-Pan-European-Road-Network-Performance-Report

[11] Transport Infrastructure Ireland. Pavement Asset Management Guide AM-PAV-06060. 2023. https://www.tiipublications.ie/document/?id=3232

[12] New Zealand Transport Agency / Road Efficiency Group. One Network Road Classification Performance Measures. 2016. https://www.nzta.govt.nz/assets/Road-Efficiency-Group-2/docs/NZTA160801-The-ONRC-Performance-Measures-Final-Published.pdf

[13] New Zealand Office of the Auditor-General. New Zealand Transport Agency: Maintaining and renewing the state highway network - follow-up report. Part 2: Assessing the condition of the state highway network and structural assets. 2014. https://ao.parliament.nz/2014/nzta/part-2-assessing-the-condition-of-the-state-highway-network-and-structural-assets

[14] Austroads. Road Asset Data Standard. https://austroads.gov.au/infrastructure/asset-management/rads

[15] Austroads. Guide to Pavement Technology Part 5: Pavement Evaluation and Treatment Design. https://austroads.gov.au/publications/pavement/agpt05

[16] Japan Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. Roads in Japan 2024. https://www.mlit.go.jp/road/road_e/index2_e.html

[17] BASt / BMDV. Road condition monitoring and assessment in Germany / ZEB references. https://www.bast.de/EN/Publications/Media/S-ZEB-lang-engl.pdf?__blob=publicationFile&v=2

[18] PAVER. Pavement Management Software. Colorado State University. https://www.paver.colostate.edu/

[19] Deighton Associates. dTIMS Pavement Management. https://www.deighton.com/pavement-assets

[20] Trimble. Trimble Unity Maintain Pavement (incluye la evolución de AgileAssets Pavement Analyst y Pavement Express). https://assetlifecycle.trimble.com/en/products/trimble-unity-maintain/pavement

[21] RoadBotics by Michelin / Michelin Mobility Intelligence. Road Assessments. https://mobilityintelligence.michelin.com/us/road-assessments/

[22] World Bank. HDM-4 Road User Costs Model Documentation. https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/793271468171847482

[23] OECD / International Transport Forum. Asset Management for the Roads Sector. https://www.itf-oecd.org/asset-management-roads-sector

Nota de revisión: enlaces bibliográficos verificados y actualizados el 30 de junio de 2026. ❖



“EL SABER NUNCA HA ESTADO TAN CERCA”



Descubre más en

www.atc-piarc.com