

USO DE BIG DATA PARA MONITORIZAR EL ESTADO DE LOS FIRMES

NOTA INFORMATIVA DE PIARC

COMITÉ TÉCNICO 4.1 PAVIMENTOS



SOBRE LA ASOCIACIÓN MUNDIAL DE LA CARRETERA

La Asociación Mundial de la Carretera (PIARC) es una organización sin fines de lucro establecida en 1909 para mejorar la cooperación internacional y fomentar el progreso en el ámbito de las carreteras y el transporte por carretera.

El estudio objeto del presente informe se definió en el [Plan Estratégico de PIARC de 2020-2023](#) aprobado por el Consejo de la Asociación Mundial de la Carretera, integrado por representantes de los gobiernos nacionales miembros. Los miembros del Comité Técnico responsable de este informe fueron designados por los gobiernos nacionales miembros debido a sus competencias especiales.

Las opiniones, resultados, conclusiones y recomendaciones expresadas en esta publicación son las de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de sus entidades o agencias matrices.

Este informe está [disponible](#) en la página web de la Asociación Mundial de la Carretera

Copyright de la Asociación Mundial de la Carretera. Todos los derechos reservados.

Asociación Mundial de la Carretera (PIARC)

Arche Sud 5° niveau

92055 La Défense cedex, Francia

ISBN: 978-2-84060-783-0

Portada © Metamorworks/Shutterstock.com

USO DE BIG DATA PARA MONITORIZAR EL ESTADO DE LOS FIRMES

NOTA INFORMATIVA DE PIARC

COMITÉ TÉCNICO 4.1 *PAVIMENTOS*

NOTA INFORMATIVA

AUTORES/ AGRADECIMIENTOS

Esta nota informativa ha sido elaborada por el Comité Técnico 4.1 Pavimentos de la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC)

Los siguientes miembros han contribuido a esta nota informativa:

- Margo BRIESSINCK (Bélgica)
- Mehis LEIGRI (Estonia)
- Thomas LUNDBERG (Suecia)
- Fabien MENANT (Francia)
- Leif SJÖGREN (Suecia)
- Curt TURGEON (Estados Unidos)
- Richard WIX (Australia)

Otra colaboradora fue Shahrzad M. POUR (Dinamarca)

El redactor de esta nota informativa es Mehis LEIGRI para la versión inglesa.

La traducción al francés de la versión original ha sido realizada por Aïda BERGAOUI SRIHA. La traducción al español de la versión original ha sido realizada por José DEL CERRO GRAU.

Richard WIX se ha encargado del control de calidad de esta nota informativa.

El Comité Técnico estuvo presidido por Margo BRIESSINCK (Bélgica). Fabien MENANT (Francia), Gina AHLSTROM (Estados Unidos) y José DEL CERRO GRAU (España) fueron respectivamente los secretarios de habla francesa, inglesa e hispana.



RESUMEN EJECUTIVO

2023R03ES

USO DE BIG DATA PARA MONITORIZAR EL ESTADO DE LOS FIRMES

NOTA INFORMATIVA DE PIARC

Esta nota informativa ofrece una visión general de numerosas fuentes de Big Data y de los métodos que pueden utilizarse para analizar los datos para monitorizar el estado de los firmes. Se centra en las soluciones que permiten recopilar datos con rapidez, en tiempo real y de forma repetida, por ejemplo, a través del bus CAN, los teléfonos inteligentes, las imágenes digitales, los datos abiertos, los datos de origen colectivo, los satélites, etc. Aunque la mayoría de los métodos y tecnologías mencionados existen desde hace tiempo, sólo hace relativamente poco que se ha investigado su potencial para la vigilancia del estado de las carreteras. Téngase en cuenta que los equipos tradicionales de medición del estado de los firmes para controlar la uniformidad, la fricción y la capacidad portante, etc., que también pueden producir grandes cantidades de datos, se consideraron fuera del ámbito de este documento. Se puede encontrar más información sobre este tema en la revisión bibliográfica de PIARC 2023R03EN [1].

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	FUENTES DE DATOS.....	4
3.	RECOGIDA DE DATOS	5
4.	TRATAMIENTO DE DATOS	6
5.	INDICADORES DEL ESTADO DE LAS CARRETERAS	6
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	7
7.	GLOSARIO.....	8
8.	REFERENCIAS	8

1. INTRODUCCIÓN

Las exigencias y la importancia de las infraestructuras, especialmente las viarias, para el buen funcionamiento de la sociedad aumentan continuamente. Al mismo tiempo, los requisitos para la sostenibilidad global están cambiando y creciendo, por ejemplo, el cumplimiento de los objetivos especificados en la agenda 2030 para el desarrollo sostenible (Resolución de la ONU 70/1 25 de septiembre de 2015). El impacto en la salud y el medio ambiente, el consumo de energía, la accesibilidad y la comodidad son cada vez más importantes y deben abordarse, pero sin que ello repercuta negativamente en una red de carreteras técnicamente sólida y sostenible a largo plazo.

Por ello, cada vez es más importante tomar decisiones rentables. Para ello es necesario conocer bien el estado de la red de carreteras y supervisarla continuamente. Históricamente, es el estado de la red de carreteras el que se ha utilizado para la planificación y las decisiones de mantenimiento e inversión. Por ello, las agencias de carreteras mantienen amplias bases de datos sobre el estado de los firmes para utilizarlas en sus sistemas de gestión de firmes y para la toma de decisiones. Sin embargo, esta información debe actualizarse y mejorarse para cumplir los nuevos requisitos de sostenibilidad.

La seguridad vial sigue siendo un requisito esencial, y el desarrollo de la conducción colaborativa (en la que el coche se encarga de parte de la conducción, pero el conductor sigue implicado) sigue su curso. Todos los niveles de conducción autónoma requieren distintos tipos de datos viales para funcionar.

El cambio de paradigma digital ha modificado las condiciones y creado oportunidades para desarrollar nuevas herramientas y conjuntos de datos y, por tanto, mejorar los sistemas de apoyo a la toma de decisiones. Una comunicación mejor y más rápida, sensores nuevos y más baratos, proveedores de computación en la nube que almacenan y permiten procesar los datos, coches conectados y el Internet de las cosas (IoT) son solo algunos ejemplos de nuevas tecnologías que ofrecen nuevas oportunidades para la supervisión del estado de las carreteras. En consecuencia, es necesario crear nuevas herramientas y definir y especificar una expresión como Big Data.

Inicialmente, los macrodatos se asociaron a tres conceptos clave: volumen, variedad y velocidad. En términos de control del estado de las carreteras, estos tres conceptos clave representan un reto importante para la captura y el almacenamiento de datos, así como para su análisis y presentación.

Muchas de las nuevas herramientas y soluciones hacen uso de la inteligencia artificial (IA), lo que permite a los organismos extraer más información de fuentes de datos difíciles de procesar con métodos tradicionales. Por ejemplo, las soluciones de IA permiten obtener datos digitalmente normalizados y comparables a partir de vídeos e imágenes del estado de las carreteras para su uso en aplicaciones y bases de datos más tradicionales.

Las soluciones de recopilación de datos "en tiempo real" basadas en la nube que utilizan dispositivos de fácil acceso, como teléfonos inteligentes o el bus CAN (Controller Area Network) de un vehículo de motor, permiten recopilar datos con rapidez y mayor frecuencia. En comparación con los datos recogidos con equipos de vigilancia de firmes especialmente diseñados y sofisticados, estas nuevas soluciones suelen ser más baratas, pero en la mayoría de los casos, los datos también son de menor calidad y el procesamiento de datos puede ser significativamente más caro que con los métodos tradicionales.

La recogida de datos de vehículos privados y teléfonos inteligentes personales también plantea problemas de privacidad. Por un lado, el objetivo es obtener tantos datos útiles como sea necesario,

pero, por otro, es necesario proteger la intimidad y la información personal del individuo. Los dos factores principales que deben tenerse en cuenta son la expectativa pública de privacidad y las cuestiones jurídicas y políticas que implica compartir datos.

Esta nota informativa se basa en la revisión bibliográfica 2023R03EN de PIARC [1].

2. FUENTES DE DATOS

Hoy en día, la mayoría de los coches tienen uno o varios **buses CAN**. Esto permite extraer datos del gran número de ECU (unidades de control electrónico) y sensores instalados en el vehículo. Una ventaja clave es que la interconexión entre los distintos sistemas, por ejemplo, el control de crucero, los airbags y el antibloqueo de frenos (ABS), puede reportar una amplia gama de beneficios económicos y de seguridad. Otra ventaja es que los objetos que cumplen la norma ISO 11898 pueden conectarse a la red CAN para recopilar o compartir datos. El uso de Floating Car Data (FCD) puede ser una alternativa eficiente y rentable económicamente frente a los métodos tradicionales de vigilancia de la carretera. Sin embargo, aunque los FCD no pueden sustituir a estos métodos, sí pueden utilizarse para complementarlos. Uno de los mayores retos que hay que superar es el análisis de los datos. Los datos enviados por miles o millones de vehículos deben cotejarse, almacenarse, procesarse y redistribuirse en tiempo real.

Un **smartphone** es un dispositivo de bolsillo que consiste en un teléfono móvil con un ordenador de mano totalmente integrado. También lleva incorporados varios sensores, como un acelerómetro, un giroscopio, un sistema mundial de navegación por satélite (GNSS), una cámara, etc., que utiliza para realizar diversas funciones. Estos sensores integrados son muy pequeños y se conocen como sistemas microelectromecánicos (MEMS). De todos los MEMS de un smartphone, el acelerómetro es uno de los más comunes y se utiliza para medir la aceleración (o cambio de velocidad) del smartphone. Aunque la mayoría de los teléfonos inteligentes utilizan sus acelerómetros para fines funcionales, se han desarrollado aplicaciones que utilizan el acelerómetro para medir la calidad de conducción del pavimento y localizar baches y otros defectos que pueden utilizarse para evaluar el estado del pavimento. Dado que los acelerómetros MEMS no suelen tener la exactitud o precisión de los acelerómetros más sofisticados utilizados por los perfiladores láser inerciales y que sus mediciones se ven afectadas por la velocidad de desplazamiento, cómo y dónde se montan, así como por las características de la suspensión del vehículo, es muy probable que la estadística de regularidad notificada, como el IRI, sea diferente a la medida por un perfilador láser inercial. Sin embargo, los teléfonos inteligentes son relativamente baratos y prolíficos en comparación con los perfiladores láser inerciales y, aunque las métricas de calidad de la conducción pueden ser de menor precisión, pueden proporcionar a los gestores de carreteras y asociaciones (como los clubes de automovilistas) datos útiles para ayudar a identificar defectos localizados y áreas de preocupación potencial.

Una **imagen digital** es una imagen compuesta de elementos de imagen, también conocidos como píxeles. Dependiendo de si la resolución de la imagen es fija, puede ser de tipo vectorial o raster. Un vídeo digital es una representación electrónica de imágenes visuales en movimiento (vídeo) en forma de datos digitales codificados. El vídeo digital comprende una serie de imágenes digitales mostradas en rápida sucesión y, por tanto, en términos básicos, un conjunto de múltiples imágenes digitales. En el contexto de los macrodatos, las imágenes rasterizadas son el tipo de imagen más utilizado para la vigilancia del estado de las carreteras. Los formatos de archivo de imagen son medios estandarizados para organizar y almacenar imágenes digitales. Un formato de archivo de imagen ráster puede almacenar datos en un formato sin comprimir o en un formato comprimido, que puede ser sin

pérdidas. Las imágenes ráster pueden crearse mediante diversos dispositivos y técnicas, como cámaras digitales, escáneres, máquinas de medición de coordenadas, perfiles sismográficos, radares aerotransportados, etc. También pueden sintetizarse a partir de imágenes. También pueden sintetizarse a partir de datos arbitrarios ajenos a la imagen, como funciones matemáticas o modelos geométricos tridimensionales. Sin embargo, las imágenes rasterizadas suelen proceder de cámaras digitales.

Los datos abiertos se utilizan habitualmente para desarrollar aplicaciones de control del estado de las carreteras. Estos datos proceden de distintas fuentes (gobiernos, organismos nacionales, usuarios de la carretera, empresas, etc.) y contribuyen al marco de los macrodatos al aumentar significativamente el volumen de información disponible.

En la actualidad se dispone de **imágenes por satélite** y se está investigando su uso como posible fuente de datos sustitutiva para las redes de carreteras, cuando los métodos habituales de recogida de datos in situ no resultan prácticos.

La información sobre el estado de las carreteras también puede ser recopilada por los usuarios (**crowdsourced data**). Hasta ahora, estos datos se han centrado sobre todo en la localización y notificación de baches mediante un sencillo formulario en línea en el sitio web de un organismo de carreteras, una aplicación para smartphone (desarrollada por un organismo de carreteras o un proveedor de servicios) o una aplicación de movilidad como Waze.

3. RECOGIDA DE DATOS

Hoy en día, muchos vehículos, como camiones de basura, furgonetas de mensajería, coches compartidos, furgonetas postales, etc., están equipados con una unidad a bordo (OBU) que puede recoger grandes cantidades de datos procedentes de dispositivos de posicionamiento basados en GPS y sensores adicionales, como acelerómetros y giroscopios, instalados en el vehículo. Estos datos se denominan **datos flotantes del vehículo (FCD)**. Un objetivo futuro es utilizar esta gran fuente de datos para enriquecer las decisiones tomadas por los sistemas de gestión del pavimento. Al vincular los FCD con datos sobre el estado funcional y estructural del firme medidos empíricamente, debería ser posible determinar el estado de la carretera y extrapolar los resultados a toda la red de carreteras.

El uso de macrodatos en el sector vial ha sido posible gracias a la aparición de la Internet de las Cosas (IoT). Es esta variedad de tecnologías y fuentes de datos la que está ayudando al desarrollo de soluciones inteligentes integradas para los sistemas de gestión del tráfico, la supervisión del estado de las carreteras, etc. El **procedimiento en tres pasos para procesar los datos de los sensores**, tal y como se define en las arquitecturas IoT, consiste en la adquisición de datos, la recopilación de datos y el cálculo de datos. La adquisición de datos es el proceso de muestreo de las señales utilizadas para medir el estado físico de un objeto, que luego se convierten en señales digitales. Una vez muestreados, los datos se transmiten a los colectores de datos y, en última instancia, a una ubicación permanente, ya sea localmente o en un entorno de nube. El último paso es el cálculo de los datos, que se basa en los requisitos de la aplicación o los servicios. De los tres pasos, el proceso de recogida de datos es el más esencial. La recogida de datos consta de dos componentes principales. El primero son las tecnologías de comunicación, incluidas las redes, los protocolos y los algoritmos subyacentes a los elementos de encaminamiento que facilitan el proceso de transferencia de datos. El segundo es el diseño y la puesta en marcha de la canalización de Big Data para permitir la recogida automatizada de datos. Esto es

especialmente importante cuando las agencias de carreteras quieren obtener información de múltiples fuentes de datos.

4. TRATAMIENTO DE DATOS

Calidad es cuando un producto satisface las necesidades de un cliente, lo que se traduce en su satisfacción y en la ausencia de errores que obliguen a repetir el trabajo. En relación con la vigilancia del estado de los firmes y la gestión de la red viaria, es preferible que los datos estén normalizados y que los métodos de medición estén sometidos a un control de calidad. Las medidas de control de calidad deben incluir una evaluación de la repetibilidad y fiabilidad de los datos. Es importante recordar que el coste y la calidad suelen estar directamente relacionados y, por lo tanto, hay que considerar qué nivel de calidad se requiere para una situación específica.

En los últimos 10 años ha aumentado el uso de coches normales o aplicaciones de smartphone para estimar la rugosidad de las carreteras. Se trata de un segmento de negocio en desarrollo y el número de aplicaciones disponibles no deja de aumentar. Una nueva variable o parámetro de condición debe validarse siempre antes de utilizarse. Un método de validación consiste en correlacionarlo con datos reales o con un método de medición establecido. Se trata de un ámbito en el que la documentación es limitada, especialmente en lo que respecta a los vehículos conectados. En resumen, puede haber una buena correlación entre la nueva variable y un parámetro de estado medido con un método establecido, pero la calidad de la nueva variable puede verse afectada negativamente por la distancia de muestreo, el tipo de vehículo, la velocidad de conducción, el soporte del smartphone, el tipo de smartphone, etc. En la mayoría de los casos, también son necesarias varias pasadas con el vehículo conectado o la solución de smartphone para obtener un valor estable. Las soluciones de diferentes desarrolladores suelen producir diferentes medidas del estado del pavimento, pero la forma más común de informar sobre la rugosidad de la carretera es correlacionar la medida con el Índice Internacional de Rugosidad (IRI). Sin embargo, no siempre es posible hacerlo y, en algunos casos, los datos de aceleración se utilizan como alternativa y han demostrado ser un buen indicador del estado del firme.

Las recientes mejoras en la recopilación de datos han incrementado el uso de la **IA** en aplicaciones viales. La IA utiliza grandes bases de datos y estas son ahora más fáciles de construir gracias al uso de datos de automóviles flotantes y/o nuevos sistemas de medición (sensores de bajo coste, LiDAR, etc.) La inteligencia artificial está profundamente vinculada al marco del Big Data, ya que los modelos de IA necesitan grandes cantidades de datos para entrenarse y, a cambio, los Big Data aprovechan la capacidad de los modelos de IA para procesar subconjuntos de datos masivos en un periodo de tiempo razonable. El aprendizaje automático es la técnica de IA más utilizada en las aplicaciones de vigilancia de carreteras, especialmente el aprendizaje profundo en el caso del procesamiento de imágenes, por ejemplo la identificación de desperfectos en el pavimento, la detección de baches, etc. El uso de modelos de IA puede conducir a la automatización progresiva del análisis de datos y se espera que suponga un importante ahorro de tiempo (suponiendo que se disponga de los recursos informáticos adecuados).

5. INDICADORES DEL ESTADO DE LAS CARRETERAS

Hoy en día existe un gran número de indicadores utilizados para caracterizar el estado de las carreteras, algunos de los cuales llevan utilizándose muchos años y gozan de reconocimiento internacional, mientras que otros aún están en fase de desarrollo. Tradicionalmente, los datos sobre

el estado de los firmes se han recopilado utilizando equipos especializados, y la recopilación y el análisis de estos datos pueden llevar mucho tiempo. La combinación de datos obtenidos por crowdsourcing y la IA permite a menudo recopilar y analizar los datos a un ritmo mucho más rápido, pero no se traduce necesariamente en la creación de nuevos indicadores. En el contexto de los macrodatos y el estado de las carreteras, existen actualmente tres indicadores principales del estado de los firmes: **las irregularidades superficiales, la rugosidad y la fricción**. Sin embargo, se están desarrollando nuevos indicadores.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las nuevas herramientas y métodos de recopilación de datos permiten a los organismos viales **obtener información adicional** sobre las carreteras y los firmes a partir de grandes fuentes de datos que son difíciles de procesar con los métodos tradicionales; por ejemplo, las soluciones basadas en la inteligencia artificial permiten extraer automáticamente datos sobre el estado del firme a partir de imágenes digitales. La recogida masiva de datos y los dispositivos cotidianos de bajo coste, incluidos los teléfonos inteligentes y las cámaras comerciales, permiten una recogida de datos rápida y repetible. Los sistemas de bus CAN de los vehículos permiten recopilar datos sobre el estado de las carreteras sin necesidad de instalar equipos adicionales y, si estas soluciones/dispositivos de recopilación de datos están conectados a la nube, es posible acceder a los datos y supervisar las carreteras en tiempo real.

Sin embargo, no es tan sencillo como parece. La mayoría de estas soluciones no están normalizadas o definidas, por lo que no son compatibles al instante ni necesariamente fáciles de combinar con los conjuntos de datos existentes sobre el estado del firme. La creación de soluciones y el procesamiento de los datos pueden resultar caros y sigue siendo necesario entrenar algoritmos de IA para producir resultados y conclusiones de mejor calidad. El consenso es que estas metodologías alternativas proporcionan datos menos precisos que los métodos más tradicionales y sofisticados, por lo que la **calidad y la interpretabilidad de los datos** es un tema que debe seguir explorándose.

En la actualidad, los macrodatos parecen los más adecuados para **supervisar el estado de las carreteras a nivel de red**, identificar tendencias y predecir el estado de las carreteras. Estas nuevas soluciones también pueden ser una buena alternativa para países, municipios, organizaciones, etc. que no pueden permitirse mediciones tradicionales y más sofisticadas del estado de las carreteras a nivel de red. Los gestores de carreteras que ya utilizan los métodos tradicionales más avanzados de control del estado de las carreteras también pueden beneficiarse. La combinación de sus datos actuales con los datos en tiempo real, o recogidos con frecuencia, procedentes de nuevas fuentes de datos debería permitir mejorar el análisis de tendencias y las predicciones sobre el comportamiento de los firmes.

7. GLOSARIO

Plazo	Definición
ABS	Sistema antibloqueo de frenos
AI	Inteligencia artificial
CAN	Red de área de controlador
ECU	Unidad de control electrónico
FCD	Datos flotantes del coche
GPS	Sistema de posicionamiento global
IoT	Internet de las cosas
IRI	Índice Internacional de Rugosidad
MEMS	Sistemas microelectromecánicos
OBU	Unidad de a bordo

8. REFERENCIAS

- [1] PIARC (2023) Uso de Big Data para la vigilancia del estado de las carreteras, Comité Técnico 4.1 "Firmes" de PIARC, Ref 2023R03EN, PIARC, París, Francia.



Copyright de la Asociación Mundial de la Carretera. Todos los derechos reservados.

Asociación Mundial de la Carretera (PIARC)

La Grande Arche, Paroi Sud, 5e étage, F-92055 La Défense cedex