



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

PhD in Transport Infrastructure and Territory

Department of Construction Engineering and Civil Engineering Projects

---

# **Sustainable Management of Flexible Pavements Maintenance under Extreme Climate Scenarios**

---

Thesis submitted by  
Noelia Molinero Pérez

**Advisors:**  
Dr. Tatiana García Segura  
Dr. M. Amalia Sanz Benlloch

Valencia (Spain), February 2026

## RESUMEN

El mantenimiento adecuado de los pavimentos es un elemento fundamental para garantizar la funcionalidad, la seguridad y la sostenibilidad de las infraestructuras viarias, con un impacto directo en el desarrollo económico y social de un país o región. En un contexto marcado por el envejecimiento de las redes de carreteras y por el aumento de la variabilidad climática, los sistemas de gestión de pavimentos (PMS, por sus siglas en inglés) tradicionales presentan limitaciones significativas para anticipar el deterioro del pavimento y planificar estrategias de mantenimiento eficientes y resilientes. En particular, la mayoría de los enfoques existentes se basan en modelos de deterioro simplificados, formulados bajo condiciones climáticas medias, y en esquemas de planificación estáticos que no capturan adecuadamente la influencia de los eventos climáticos extremos.

Esta tesis doctoral aborda estas limitaciones mediante el desarrollo de un marco metodológico integrado para la planificación sostenible del mantenimiento de pavimentos, apoyado en técnicas de inteligencia artificial. El objetivo principal de la investigación es desarrollar un marco basado en aprendizaje por refuerzo (RL, por sus siglas en inglés) que permita planificar de forma sostenible el mantenimiento de pavimentos flexibles, garantizando su adaptación a condiciones climáticas extremas.

En primer lugar, se desarrolla un modelo predictivo generalizable para estimar el *International Roughness Index* (IRI) a partir del *Pavement Condition Index* (PCI), incorporando información sobre los daños del pavimento, el tráfico y el clima. Este enfoque permite asegurar la coherencia entre los indicadores empleados en las distintas fases de los PMS y facilita la incorporación de criterios relacionados con los usuarios en la planificación del mantenimiento, incluso en contextos donde la medición directa de la rugosidad no es viable.

Asimismo, se propone un modelo de predicción del deterioro del pavimento que integra de forma holística variables estructurales, de tráfico e indicadores asociados a eventos climáticos extremos. La inclusión de estos indicadores permite representar trayectorias de deterioro más realistas, especialmente en tramos sometidos a elevados niveles de estrés climático, superando las limitaciones de los modelos basados exclusivamente en condiciones climáticas medias.

Estas predicciones se integran en un marco de planificación adaptativa basado en RL, en el que las decisiones de mantenimiento se definen como políticas dependientes del estado del pavimento, superando las limitaciones de los enfoques tradicionales de planificación estática basados en calendarios fijos de mantenimiento. Además, el marco de planificación incorpora de forma explícita objetivos económicos, ambientales, técnicos y sociales, lo que permite abordar el mantenimiento del pavimento desde una perspectiva verdaderamente sostenible, en la que se consideran de manera conjunta la

efectividad del mantenimiento, los costes, las emisiones y los beneficios para los usuarios.

Los resultados obtenidos demuestran que la consideración explícita de los eventos climáticos extremos modifica de forma significativa los planes óptimos de mantenimiento, dando lugar a intervenciones más tempranas, frecuentes o diferenciadas en comparación con los enfoques tradicionales. En conjunto, la tesis proporciona un marco robusto y adaptable que contribuye a mejorar la eficiencia, la resiliencia y la sostenibilidad de los sistemas de gestión de pavimentos frente a escenarios de creciente incertidumbre climática.