

02-016

CHALLENGES AND NEEDS IN SUSTAINABLE MANAGEMENT OF URBAN INFRASTRUCTURE

Serra-Santamaría, José Ramón⁽¹⁾; Torres-Machí, Cristina⁽²⁾; García-Segura, Tatiana⁽¹⁾;
Montalbán-Domingo, Laura⁽¹⁾; Pellicer, Eugenio⁽¹⁾

⁽¹⁾Universitat Politècnica de València, ⁽²⁾University of Colorado at Boulder

Nowadays, maintenance operations of the urban infrastructure in Spain are based on a "worst first" approach. Under this approach, pavements showing poor conditions are given higher priority to receive maintenance. In the pavement management field, this approach has widely been recognized as the least effective maintenance strategy. Given this situation, the main objective of this research is to study the information needed to develop an Urban Pavement Management System (UPMS). The proposed system aims to be adaptable to the requirements and characteristics of different cities, as well as to promote the inclusion of sustainability in the maintenance of urban pavements. This study defines the criteria needed for the definition of a sustainable management system and analyzes the economic and technical advantages of such system. The results obtained in this analysis highlight the benefits derived from the implementation of this type of systems, which allows for a better design of maintenance plans and the optimization of available funds for maintenance.

Keywords: *management; urban infrastructure; pavements; sustainability*

PROBLEMÁTICA Y NECESIDADES EN LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LA INFRAESTRUCTURA URBANA

Hoy en día, las operaciones de mantenimiento de la infraestructura urbana en España se basan en el enfoque el "peor primero". Bajo este enfoque, los pavimentos que muestran peores condiciones se les da una mayor prioridad para recibir mantenimiento. En el campo de la gestión de pavimentos, este enfoque ha sido ampliamente reconocido como la estrategia de mantenimiento menos eficaz. Ante esta situación, el objetivo principal de esta investigación es estudiar los campos de información necesarios para desarrollar un Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos (UPMS). Este sistema propuesto tiene como objetivo ser adaptable a los requisitos y características de diferentes ciudades, así como promover la inclusión de la sostenibilidad en el mantenimiento de firmes urbanos. Este estudio define los criterios necesarios para el desarrollo de un sistema de gestión sostenible y analiza las ventajas económicas y técnicas de dicho sistema. Los resultados obtenidos en este análisis destacan los beneficios derivados de la implementación de este tipo de sistemas, entre los que se incluyen un mejor diseño de los planes de mantenimiento y la optimización de los fondos disponibles para el mantenimiento.

Palabras clave: *gestión; infraestructura urbana; pavimentos; sostenibilidad*

Correspondencia: Eugenio Pellicer (pellicer@upv.es)



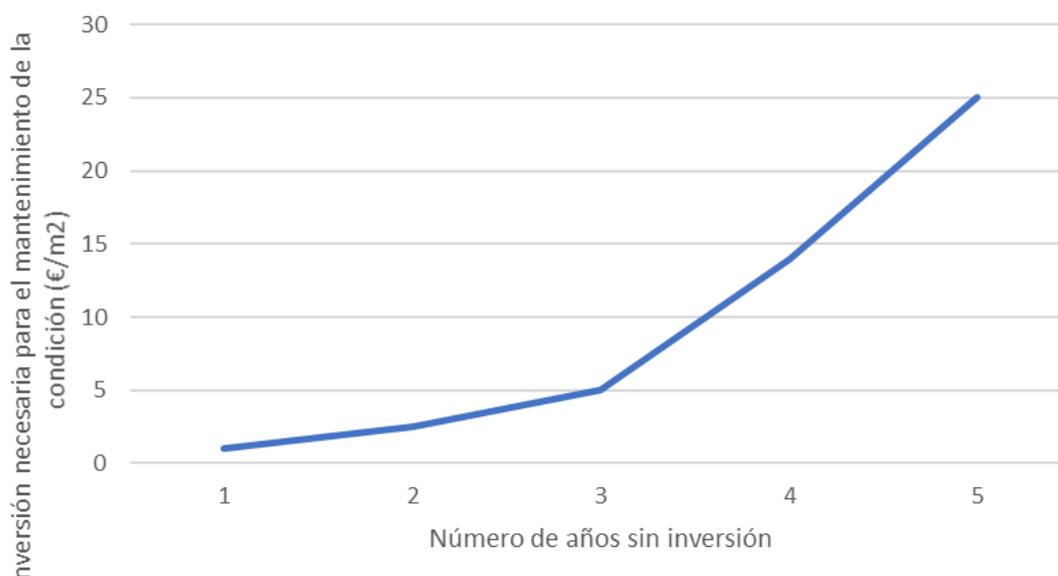
©2018 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

En el contexto de los últimos años de crisis económica, existe un especial interés por parte de las instituciones públicas para controlar el gasto excesivo de recursos o el uso indebido de los mismos. Por lo tanto, los Sistemas de Gestión de Mantenimiento de Pavimentos, o en sus siglas en inglés PMS, son cada vez más necesarios para garantizar una correcta asignación de fondos. En los Estados Unidos, donde la implementación de estos sistemas es popular desde 1980, la planificación de inversiones efectiva ha permitido reducir la inversión a medio y largo plazo al tiempo que garantiza el cumplimiento de los niveles de servicio establecidos por la población (American Society of Civil Engineers, 2013).

En otros países como España, no existe una cultura de mantenimiento en base a PMS; las decisiones se basan en la experiencia de los ingenieros y / o las decisiones políticas. Según la Asociación Española de la Carretera (AEC, 2014), los costes de mantenimiento del pavimento crecen exponencialmente con la ausencia de inversión anual. Es decir, la falta de inversión en el año actual dará lugar a una necesidad de inversión muy superior en los próximos años. Según sus datos, la figura 1 podría representar una curva de las inversiones necesarias en el caso en que no se realizaron inversiones.

Figura 1: Inversión en mantenimiento de pavimentos debido a la falta de inversión

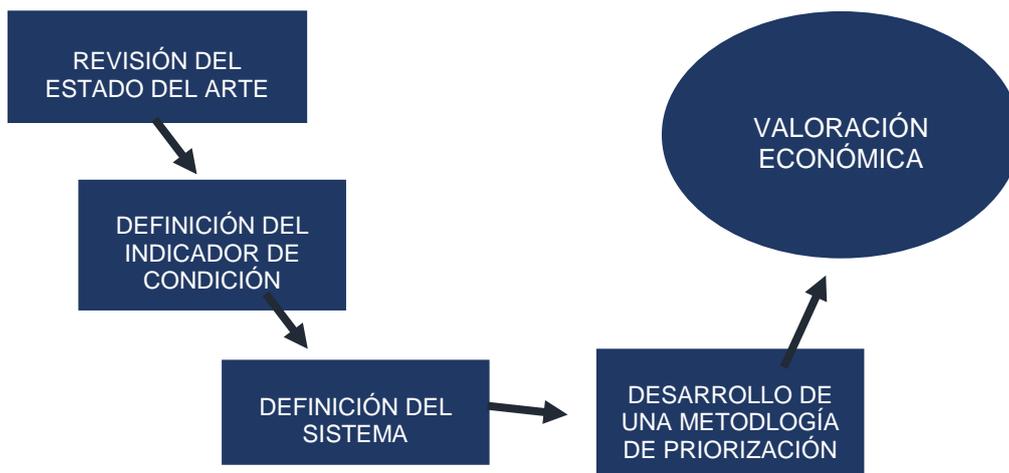


Es por lo anterior, que se sustenta que el desarrollo de un sistema que permita la optimización de la inversión en mantenimiento puede suponer beneficios importantes a una ciudad.

2. Metodología

La metodología seguida en la presente investigación se muestra en la figura 2. El primer objetivo de este documento es revisar la bibliografía existente al respecto de PMS, que permita conocer las debilidades de los sistemas existentes.

Figura 2: Metodología de investigación



Seguidamente, será necesario calibrar y validar un indicador de condición que permita la evaluación del estado del firme. Para ello, después de la revisión de los diversos indicadores utilizados a nivel internacional, se tendrá en cuenta la opinión de un grupo de expertos y los viales de la ciudad de Valencia.

En tercer lugar, se definirá una estructura de sistema de gestión del mantenimiento, así como un sistema de priorización. En esta primera fase de desarrollo los objetivos del sistema de priorización de alternativas, es la sencillez y robustez, además de considerar criterios diversos entre los que podrían contemplarse los ambientales, sociales y políticos.

El último de los objetivos de este documento es la valoración económica de la rentabilidad que tendría para una ciudad la implantación de un sistema como el definido en el medio y largo plazo. De este último objetivo y en base a las rentabilidades obtenidas será posible determinar si la inversión en un sistema de este tipo podría mejorar la inversión de los fondos públicos.

2.1 Análisis del estado del arte

En primer lugar, para poder definir de forma adecuada las problemáticas habituales y las necesidades de un sistema de gestión del mantenimiento de firmes, es necesario analizar los sistemas existentes. Para ello, se define una muestra de ciudades que sean representativas de la utilización de estos sistemas. Tratando de obtener la mayor información sobre las mismas, se marcan los siguientes criterios para la selección de las ciudades:

- Ciudades de todos los continentes.
- Deben representar como mínimo los sistemas comerciales más utilizados y los desarrollos realizados “ad hoc”.
- Debe existir información pública suficiente para poder realizar un análisis en profundidad.

En base a los criterios anteriores se determina como muestra de estudio las siguientes ciudades:

- **Europa:** Londres, París, Zúrich, Milán, Madrid, Coímbra, Lisboa, Málaga y Valencia
- **América:** Montreal, Toronto, San Jose (California), Los Ángeles, Zona Metropolitana de Querétaro, San Salvador, Bogotá y Santiago de Chile
- **África:** Pretoria y Ciudad del Cabo

- **Asia:** Urumqi, Shijiazhuang, Guangzhou y Singapur
- **Oceanía:** Sídney y Melbourne

Debido a la extensión de este documento, únicamente se incorpora la información de las ciudades consideradas más importantes por las similitudes con el caso de estudio: Madrid (país) y San José (tamaño y clima)

2.2 Análisis del indicador de condición

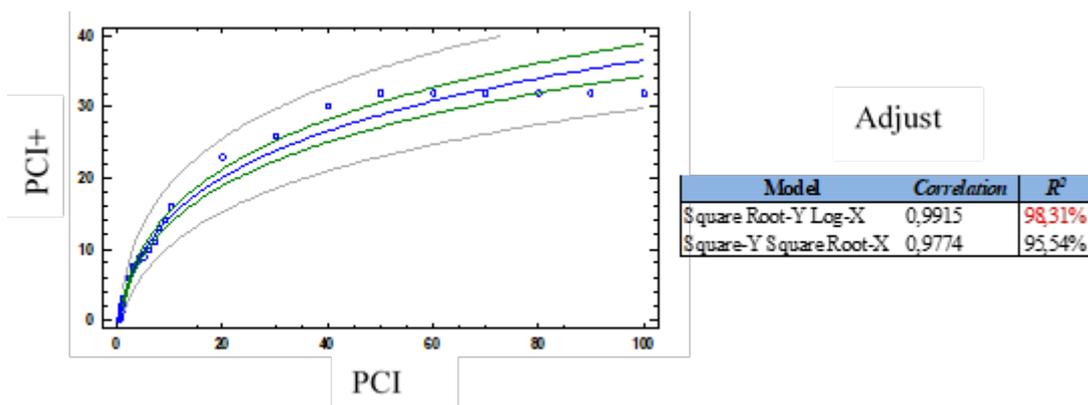
Tras el análisis de la situación actual de los sistemas es necesario, definir el índice de condición a utilizar. Para ello, después de revisar los principales índices utilizados en el mundo: índice de condición del pavimento (PCI) (ASTM, 2008), índice de calidad del pavimento (PQI) (Haass et al., 1994), índice de mantenimiento de deterioros (DMI) (Chamorro et al., 2009), índice de servicio (PSI) (ASHTO, 1993), se decide utilizar el PCI debido a las siguientes razones (Osorio, et al. 2015; Miller & Bellinger, 2014):

- Debido a su uso generalizado, hay una gran cantidad de literatura para su cálculo y PCI se ha adaptado a muchas ciudades de Europa (Loprencipe, 2017).
- No es necesario comprar equipos especializados o software comercial para su evaluación. Se puede calcular con el uso de hojas de cálculo basadas en la observación y comparación con modelos.
- Mínima necesidad de personal técnico para recopilar datos (ASTM, 2003)

Para usar este indicador, debemos controlar cómo este índice se ajusta a la realidad. Para hacerlo, se decide recolectar información de 20 calles de la ciudad de Valencia usando la metodología PCI (ASTM, 2003) y compararla, con el resultado de preguntar a 10 expertos sobre el estado de dichas calles (Shiyab, 2007). La encuesta de los expertos se realizó a través de formularios en línea, de modo que los resultados fueron accesibles desde cualquier lugar.

La metodología que permite obtener un valor PCI puede ser tediosa, y se decide implementarla en Excel VBA. Para esto, es necesario obtener las ecuaciones que definen el deterioro. En la figura 3, se muestra el ajuste de la función de deterioro de los parches de baja severidad:

Figura 3: Ajuste de la función de parches de baja severidad usando StatGraphics



2.3 Definición de la estructura del sistema

La estructura del sistema que se propone implementar en Valencia es la misma del Departamento de Transporte de los Estados Unidos porque esta estructura es muy simple y comprensible y también porque esta estructura es ampliamente utilizada en todo el mundo (Loprencipe, 2017).

2.4 Priorización de alternativas

En la actualidad, existen muchos algoritmos y metodologías que permiten la optimización de alternativas de inversión desarrolladas específicamente para pavimentos urbanos (Torres-Machi et al., 2014), pero Valencia busca una metodología simple que pueda implementarse con los medios de administración. El método multiobjetivo sería el método más apropiado (Mulry et al., 2015; Wolters et al., 2011) considerando las necesidades de esta ciudad. Para ese proceso de optimización, los autores junto con los técnicos del ayuntamiento de la ciudad consideran los siguientes aspectos:

- **Condición:** este criterio tiene en cuenta el valor de PCI y el nivel de tráfico del segmento de carretera. En términos de nivel de tráfico, se consideran tanto el AADT total como el AADT de vehículos pesados.
- **Eficiencia del tratamiento:** este criterio mide la relación entre los costes de un tratamiento de mantenimiento y la mejora en la condición derivada de su aplicación.
- **Factores sociales:** este criterio considera la proximidad de edificios públicos de interés.
- **Factores políticos:** este criterio le permite al sistema considerar la voluntad política en el proceso de toma de decisiones.
- **Factor ambiental:** con este criterio se tienen en cuenta aspectos como la reducción de emisiones derivada de la mejora del estado del pavimento considerando que no existe variación de las condiciones de circulación.

Por tanto, ahora solo sería necesario definir los pesos de cada uno de los criterios en la priorización final. Para esto, se utilizará un Proceso Analítico Jerárquico (AHP) (Orejuela & Osorio, 2008) que permite determinar el peso de cada aspecto en función de la opinión de diez expertos en mantenimiento.

2.5 Evaluación económica de la red de carreteras urbanas

Para cuantificar los efectos de la estrategia de mantenimiento actual, el valor de la red urbana se calcula en términos del coste de reposición considerando la depreciación (DRC) (Roads Liaison Group, 2010). Este método establece que el valor económico, es decir, el coste de reposición, es igual al coste de reposición bruto (GRC) menos la depreciación acumulada.

El GRC representa el coste de reemplazar el activo por un activo nuevo equivalente. Para determinar este valor, se realizaron varias entrevistas con los responsables del mantenimiento en la ciudad de Valencia que permitieron definir el valor del inventario viario de la ciudad.

La depreciación es el consumo sistemático de los beneficios económicos incorporados en un activo durante su vida útil derivada del uso, el envejecimiento, el deterioro o la obsolescencia (Roads Liaison Group, 2010). Para calcular la depreciación derivada del deterioro del pavimento, se consideró una curva de deterioro promedio en forma de S basada en el indicador PCI (Shahin, 1994).

$$PCI = 100 - \frac{\rho}{(\ln \alpha - \ln edad)^{\frac{1}{\beta}}} \quad (1)$$

Debido a la falta de datos experimentales, los valores de estos coeficientes se estimaron con base en la experiencia de los tomadores de decisiones $\alpha = 25$; $\beta = 1,42$; y $\rho = 26$.

Las suposiciones principales que se han utilizado durante este proceso se definen a continuación:

- El período de análisis considerado en el proceso de cuantificación es de cinco años.
- Los tratamientos considerados en el proceso de cálculo son: sellado superficial; fresado y recubrimiento; y reconstrucción. Estos tratamientos son los más frecuentemente aplicados en la red de carreteras.
- El método DRC se ha utilizado para calcular el valor del activo.
- La variación del PCI depende de la función definida previamente.
- El nivel de inversión se mantiene constante durante todo el período de análisis y se distribuye en un 60% para las vías arteriales y en un 40% para las vías colectoras. Esto se basa en la experiencia de los técnicos del ayuntamiento
- La cuantificación, se realizó considerando una red piloto de diez calles. Estas calles han sido seleccionadas para ser representativas de la red principal de la ciudad. Esta es la razón por la cual cinco de estas calles se seleccionan de la red arterial y las otras cinco de la red de colectores.
- Se consideran cuatro escenarios económicos. Los tres primeros corresponden al nivel más bajo, más alto y medio de inversión en mantenimiento en los últimos diez años. El cuarto escenario corresponde al nivel de inversión definido por el 2% del valor del activo de la red, que es un nivel mínimo recomendado para el mantenimiento adecuado (Del Val Melús, 2010).

Por tanto, en base a las hipótesis anteriores, es posible formular una evaluación económica de la red urbana de carreteras.

Tabla 1. Escenarios económicos propuestos

Escenarios	Inversión en el conjunto de la red	Inversión [€/m ²]	Inversión en la red arterial	Inversión en la red colectora
1	2,411,473.58 €	0.12	3,581.04 €	2,387.36 €
2	5,711,473.58 €	0.29	8,481.54 €	5,654.36 €
3	4,195,924.95 €	0.21	6,230.95 €	4,153.96 €
4	13,962,509.69 €	0.70	20,734.33 €	13,822.88 €

Además de la estrategia de priorización definida anteriormente (Estrategia 1), se analizaron dos estrategias de priorización más. La estrategia 2 basa la priorización únicamente en el PCI. La estrategia 3 realiza la priorización basada en AADT y PCI; la estrategia 3 pretende reflejar la política de mantenimiento actual.

Luego, en base a los escenarios, los métodos de priorización y el resto de los supuestos mostrados anteriormente es posible simular una solución usando el método Montecarlo. Estas soluciones se pueden obtener año por año y muestran cuál es la

condición de coste y deterioro (PCI) más probable de cada calle para el año 1. Los resultados del segundo año se basan en los resultados del primer año y al final de los cinco años podemos obtener el coste total y el índice PCI.

3. Resultados

3.1 Análisis del estado del arte

Seguidamente, se muestra la información relativa al análisis del estado del arte:

Madrid

Madrid es la capital de España y está situada en el centro de la Península Ibérica. La población de la ciudad a principios de 2015 era más de 3.100.000 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2016), siendo la tercera ciudad más poblada de la Unión Europea. Su PIB en 2014 fue de 38.603 euros (Instituto Nacional de Estadística, 2016). En 2013, la red de carreteras públicas de la ciudad de Madrid consistió en más de 3.000 kilómetros, equivalentes a 29 millones de m².

El contrato de mantenimiento fue otorgado por procedimiento abierto por un importe total de 260.958.666,40 euros durante 10 años. La ciudad de Madrid solo tiene una herramienta para incidentes en la calle. Esta herramienta permite coordinar todas las acciones requeridas sobre la resolución de incidencias, sin embargo, no es posible saber cuáles son los niveles de condición del pavimento. Este nivel se evalúa en función de una inspección visual específica y la experiencia de los técnicos. Actualmente, no hay datos completos para hacer una evaluación de la red. Se espera que la compañía de mantenimiento desarrolle, durante la duración del contrato, un nuevo software para evaluar las condiciones del pavimento.

San José

La ciudad de San José se encuentra en el centro del estado de California, en el área de la Bahía de San Francisco. En 2015, la población estimada era de 1,026,908 habitantes, lo que la convierte en la ciudad más poblada del Área de la Bahía de San Francisco. En cuanto a la esfera económica, en 2014 el Área Estadística Metropolitana de San José-Sunnyvale-Santa Clara (CA MSA) tuvo un PBI de 18.760 millones de euros (Bureau of Economic Analysis, 2017).

La red de carreteras consta de aproximadamente 3,832.43 kilómetros de carreteras. La inversión en mantenimiento en 2015 fue de 49,13 millones de euros, principalmente de impuestos a los hidrocarburos. La red de carreteras se clasifica en diferentes categorías dependiendo de la importancia de cada calle en la red y de la prioridad en la asignación de fondos. Hay tres categorías: calles prioritarias; otras calles principales; y calles residenciales (Office of the City Auditor, 2015).

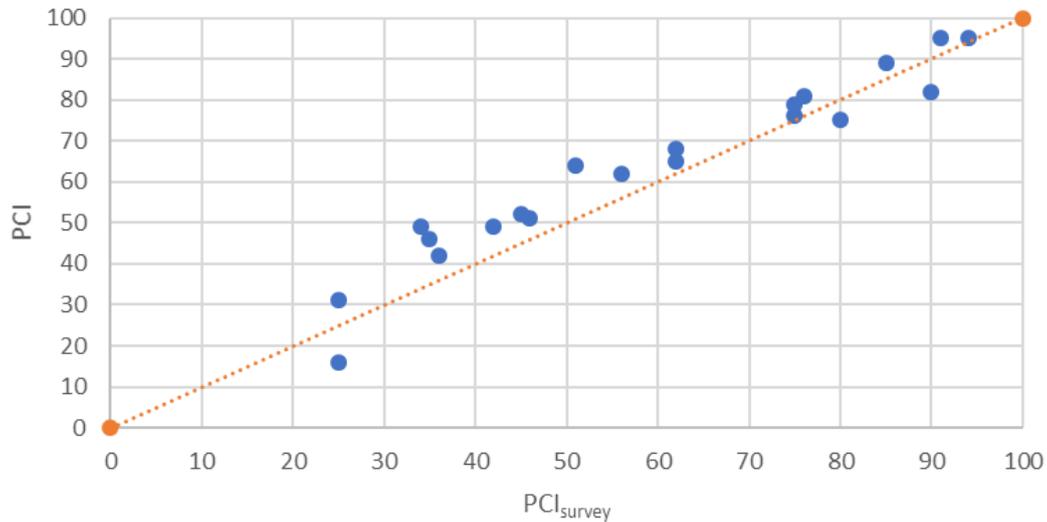
La condición de la red urbana de la ciudad de San José se mide por el índice de IPC. Según este índice, la condición general de la red a principios de 2015 fue de 63, lo que corresponde a una condición justa. Para organizar las tareas de mantenimiento, la ciudad de San José utiliza el sistema de gestión de la Comisión Metropolitana de Transporte, que se basa en el software comercial StreetSaver. A fines de 2015, se definió un nuevo programa de mantenimiento con un horizonte temporal de 10 años. Este programa tiene como objetivo lograr los objetivos de financiación del mantenimiento de la red de la ciudad, estimados en 20.00 millones por año (Larsen, 2015) y mantener el estado actual de la red.

3.2 Definición del indicador de condición

Después de realizar encuestas a personal especializado y recopilar información, es posible comparar ambos valores usando un gráfico como el que se muestra la figura 4.

Como podemos ver, hay una clara tendencia central de los valores y eso significa que el PCI representa la realidad relativamente bien ($R^2 = 0.9645$).

Figura 4. Ajuste estadístico de la distribución del PCI propuesta respecto a los resultados de la encuesta



Luego de realizar el análisis previo, se verifica que cuando hay grandes deterioros de la vía (PCI <40) la correlación entre los valores es mucho menor que en los valores altos y por esa razón, se decide corregir algunas de las curvas de deterioro vial, en base a un análisis de más calles que presentan un mal estado de la empresa. Además, para simplificar la aplicación en el campo y en base a los datos previamente tomados, se deciden usar los deterioros que se muestran (Chamorro, 2004) en la tabla 2.

Tabla 2. Deterioros definidos para la ciudad de Valencia

Deterioros
1. Grietas de cocodrilo
2. Sangrado
3. Grietas en bloque
4. Corrugas
5. Depresión
6. Grietas longitudinales y transversales
7. Parches
8. Socavones
9. Pulimiento
10. Ahuellamiento
11. Grietas de borde

Luego, se repite la validación PCI con los deterioros que se muestran en la tabla anterior y se obtiene un $R^2 = 0.9542$. Con este valor se ha demostrado que, utilizando un menor número de deterioros es posible obtener resultados equivalentes. Por lo tanto, la metodología diseñada para Valencia solo utilizará los 11 problemas anteriores.

3.3 Priorización de alternativas

Tras la aplicación de la metodología AHP definida previamente, se obtuvo que los siguientes pesos son los que maximizan la eficiencia del sistema:

Table 3. Definición de los pesos de las variables de la priorización

Criterios	Estrategia
Condición	60
Eficiencia del tratamiento	20
Factores sociales	10
Factores políticos	5
Factores ambientales	5

3.4 Cuantificación de los beneficios obtenidos

Teniendo en cuenta la condición actual de la red vial urbana, la pérdida del valor económico debido a su deterioro se ha calculado como proporcional al área bajo la curva de deterioro definida (cerca de 520 M€). En consecuencia, la valoración económica de la red vial urbana es igual a la diferencia entre los dos valores anteriores, por lo que el valor de la red vial urbana de la ciudad de Valencia es de aproximadamente 178 M€.

La estrategia de priorización considerada en el marco propuesto (Estrategia 1) proporciona los mejores resultados globales, tanto en términos de condición (PCI) como de valor económico. Al comparar la estrategia de priorización propuesta (Estrategia 1) con la estrategia actualmente considerada (Estrategia 3), la pérdida promedio de la condición del pavimento se puede reducir en un 9.17%. La diferencia máxima entre las estrategias de priorización analizadas está dada por el Escenario 4, con una diferencia en la condición del 18.51%. Por otro lado, si se compara la Estrategia 1 con la Estrategia 2, una estrategia de mantenimiento donde solo se considera el PCI en el proceso de priorización, los resultados son similares al caso anterior. La pérdida del valor PCI se reduce, en promedio, un 6,84%. Por tanto, el sistema propuesto ofrece mejores resultados que todas las otras estrategias de priorización.

Tabla 4. Resultados obtenidos de la media de pérdida y económica y del valor del indicador de condición (PCI)

Escenario	Estrategia 1		Estrategia 2		Estrategia 3	
	Valor	PCI	Valor	PCI	Valor	PCI
1	1,914,844 €	25.16	1,916,890 €	27.17	1,916,049 €	25.74
2	1,909,62 €	22.37	1,916,890 €	27.17	1,949,483 €	25.18
3	1,914,553 €	24.52	1,916,890 €	27.13	1,915,335 €	25.33
4	1,877,077 €	15.34	1,888,208 €	13.39	1,884,140 €	18.18

4. CONCLUSIONES

A la luz de los resultados, podemos concluir que PCI es un índice bueno para evaluar la condición del pavimento. Además, la reducción de deterioros propuesta permite simplificar el cálculo asegurando la representatividad de la misma. Respecto a la cuantificación de los beneficios obtenidos para los diferentes escenarios económicos, el sistema de gestión de mantenimiento propuesto para la ciudad de Valencia ofrece mejores resultados que el sistema actual, cumpliendo los objetivos a corto plazo establecidos por la autoridad municipal y mejorando la condición en el mediano y largo plazo. Este estudio confirma, por tanto, que la estrategia de mantenimiento que se utiliza habitualmente basada únicamente en la condición actual, es la menos efectiva.

En resumen, los resultados obtenidos son alentadores y deberían servir de guía para futuros estudios. La aplicación de este sistema de mantenimiento de gestión es muy recomendable debido a sus beneficios potenciales para la red de carreteras urbanas de Valencia.

Como futuras líneas de investigación se destaca la optimización multiobjetivo para determinar cuáles son los sistemas de gestión de pavimentos más efectivos y la importancia de la priorización en los resultados del sistema. Además, se debería considerar factores ambientales y sociales, y curvas reales del deterioro con el efecto real del AADT en Valencia.

5. BIBLIOGRAFÍA

AEC (2014) Necesidades de inversión en conservación. Obtenido de <https://www.aecarretera.com/np/INFORME-NECESIDADES-DE-INVERSION-EN-CONSERVACION-ABRIL-2014.pdf>

American Society of Civil Engineers (2013). *Report Card for America's Infrastructure Findings :Roads*, 1–74

ASHTO (1993). *Guide for design of pavement structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials

ASTM (2003). *Standard practice for roads and parking lots pavement condition index. D 6433-03*. American Society for Testing and Materials.

ASTM (2008). *Pavement Testing Evaluation, and management Methods*. American Society for Testing and Materials.

Bureau of Economic Analysis, U. S. D. of C. (2017). Mensaje publicado en <http://www.bea.gov/iTable/>

Chamorro, A (2004). *Implementación y validación de una tecnología para la inspección visual de pavimentos en Chile*. PhD thesis. Pontificia Universidad de Chile

Chamorro, A., Tigle, S.L., Li, N., & Kazmierowki, T.J. (2009). Development of distress guidelines and condition rating to improve network management in Ontario, Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2093, 128-135.

Del Val Melús, M. Á. (2010). *Monografía 12. Las necesidades de conservación de los firmes en las carreteras españolas*.

Miller, J.S., & Bellinger, W.Y. (2014). *Distress identification manual for the long-term pavement performance program* (No. FHWA-HRT-13-092). United States. Federal Highway Administration. Office of Infrastructure Research and Development.

Haas, R., Hudson, W.R., & Zaniewski, J.P. (1994). *Modern Pavement Management*.

Instituto Nacional de Estadística (2016). INEbase. [consultado 25 julio 2016]. Disponible en: <http://www.ine.es/inebmenu/indice.htm>

Larsen, H. F. (2015). *Pavement Maintenance Status Report and Funding Strategy*

Loprencipe, G., Pantuso, A., Di Mascio, P. (2017). Sustainable Pavement Management System in Urban Areas Considering the Vehicle Operating Costs

Mulry, B., Feighan, K., McCarthy, J., Williams, A., (2015). Development and Implementation of a Simplified System for Assessing the Condition of Irish Regional and Local Roads. *9th International Conference on Managing Pavement Assets*

Office of the City Auditor, C. of S. J. (2015). Street Pavement Maintenance: Road Condition is Deteriorating due to Insufficient Funding.

Orejuela, J.P., and Osorio, J.C. (2008). *El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplos de aplicación*. Universidad Tecnológica de Pereira.

Osorio, A., Chamorro, A., Tigue, S.L., & Videla, C. (2015). Development of performance models of urban pavement for network analysis. *Transportation Research Board 94th Annual Meeting*. Washington D.C.

Roads Liaison Group (2010). *Guidance Document for Highway Infrastructure Asset Valuation*.

Shahin, M.Y. (1994). Pavement condition Survey and Ratio Procedure. In *Pavement Management for airports, roads and parking lots*.

Shiyab, A. (2007). *Optimum use of the flexible pavement condition indicators in pavement management systems*. PhD thesis. Curtin University of Technology. Australia

Torres-Machi, C., Chamorro, A., Yepes, V., Pellicer, E. (2014) *Current models and practices of economic and environmental evaluation for sustainable network-level pavement management*. *Revista de la Construcción*,13(2), 49-56.

Wolters, A., Zimmerman, K.,Schattler, K., and Rietgraf, A. (2011). *Implementing pavement management systems for local agencies—State-of-the-art/state-of-the-practice synthesis*.