

SISTEMAS DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS: PASADO, PRESENTE, Y FUTURO¹

Carlos M. Chang, Ph.D., P.E.²

Resumen: La gestión de pavimentos a nivel mundial es un proceso de toma de decisiones de vital importancia para la preservación de la infraestructura vial. La planificación, programación, y ejecución de las actividades de mantenimiento y rehabilitación para preservar la infraestructura vial a un nivel de servicio adecuado demandan una gran inversión de recursos. La disponibilidad de estos recursos, incluyendo las limitaciones presupuestales, y el deterioro progresivo de los pavimentos por la acción de las cargas acumuladas de tráfico y factores medio ambientales crean un complejo problema a resolver durante el proceso de gestión. Las prácticas de gestión de pavimentos tienen por objeto encontrar la mejor estrategia para proveer el nivel de servicio deseado al menor costo. Desde un enfoque más amplio, la gestión de pavimentos involucra todas las fases de planeación, programación, análisis, diseño, construcción, e investigación. Un Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP) es una herramienta que ayuda a tomar decisiones costo-efectivas sobre las políticas de mantenimiento y rehabilitación. Los SGP permiten evaluar estrategias alternativas y predecir el impacto de las intervenciones de mantenimiento y rehabilitación en el desempeño futuro de la red de pavimentos. El presente artículo técnico describe la evolución de los sistemas de gestión de pavimentos a nivel internacional en un esfuerzo para enfrentar el gran reto de preservar la infraestructura vial de manera eficiente y sostenible para brindar un nivel de servicio adecuado a los usuarios.

Palabras clave: estrategias de mantenimiento y rehabilitación, sistemas de gestión de pavimentos

PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEMS: PAST, PRESENT, AND FUTURE

Abstract: Pavement management is a decision-making process of vital importance for the preservation of road infrastructure. The planning, programming, and execution of maintenance and rehabilitation activities to preserve the road infrastructure at an adequate level of service requires a large investment of resources. The availability of these resources, including budgetary constraints, and the progressive deterioration of the pavements due to the action of traffic loads and environmental factors create a complex problem to be solved during the management process. The purpose of pavement management practices is to find the best strategy to provide the desired level of service. From a broader perspective, pavement management covers all phases of planning, programming, analysis, design, construction, and research. A Pavement Management System (PMS) is a tool that helps agencies make cost-effective decisions about maintenance and rehabilitation policies. PMPs allow evaluating alternative strategies and predicting the impact of maintenance and rehabilitation interventions on the future performance of the pavement network. This technical article describes the evolution of pavement management systems in an effort to face the great challenge of preserving road infrastructure efficiently to provide an adequate level of service to users.

Key words: maintenance and rehabilitation strategies, pavement management systems,

¹

² Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil y Medio Ambiente, Florida International University, Miami, Florida. E-mail: cachang@fiu.edu

CONCEPTO E IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS

La “American Association of State Highway and Transportation Officials” (AASHTO) define a un Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP) como “una serie de herramientas o métodos que asisten a quienes toman decisiones a encontrar estrategias óptimas para proporcionar, evaluar, y mantener los pavimentos en condiciones de serviciabilidad durante un período de tiempo” (AASHTO, 1993). Definir a los SGP como un “conjunto de herramientas” permite entender el rol que tienen en el proceso de gestión de pavimentos. La gestión de pavimentos es un proceso de toma de decisiones sobre las actividades de mantenimiento y rehabilitación que son necesarias realizar para mantener la red vial de pavimentos a un nivel de servicio adecuado. Los sistemas de gestión de pavimentos (SGP) comprenden a un “conjunto de herramientas” que asisten en este proceso de toma de decisiones.

Los conceptos de gestión de pavimentos brindan un enfoque racional para el desarrollo de estrategias de mantenimiento y rehabilitación costo-efectivas. Las herramientas de los SGP organizan la información referente a la red de pavimentos en forma ordenada, facilitando el almacenamiento, recuperación de datos, y análisis de las estrategias de gestión. Los SGP permiten evaluar el impacto de diversas estrategias de gestión en el desempeño futuro de los pavimentos, identificando los sectores de la red vial que requieren de mantenimiento y/o rehabilitación, y el momento más oportuno para realizar las intervenciones necesarias para proveer un nivel de servicio adecuado con el mínimo de inversión. De esta manera, los SGP brindan la información necesaria para sustentar los presupuestos de conservación de la red de pavimentos.

Los componentes de un sistema básico de gestión de pavimentos son mostrados en la Figura 1: base de datos, modelos de desempeño, técnicas de análisis, y herramientas de reporte (FHWA, 1991). Estos componentes desempeñan diferentes funciones en el sistema de gestión que incluyen:

- Almacenamiento del inventario y condición de la red de pavimentos.
- Predicción de las condiciones futuras de la red de pavimentos.
- Identificación de las secciones de pavimento que requieren de mantenimiento o rehabilitación.
- Determinación del presupuesto requerido para realizar los tratamientos de mantenimiento o rehabilitación.
- Asistir en la priorización de proyectos cuando los fondos disponibles son insuficientes para atender las necesidades de mantenimiento y rehabilitación.
- Reportes con los resultados de los análisis.

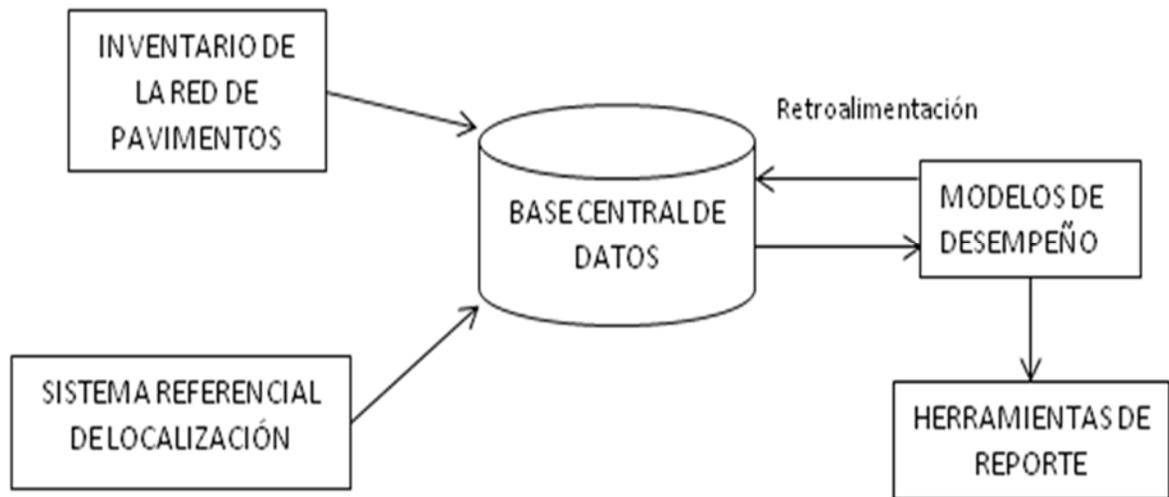


Figura 1: Componentes de un sistema básico de gestión de pavimentos (FHWA, 1991).

Las estrategias de gestión de pavimentos comprenden actividades de mantenimiento y rehabilitación. Las actividades de mantenimiento incluyen tratamientos de fisuras, sellos asfálticos, y recapados para preservar el desempeño funcional del pavimento, mientras que las actividades de rehabilitación involucran refuerzos para restaurar la capacidad estructural del pavimento. Algunas actividades de mantenimiento son programadas de manera periódica, como por ejemplo el sello superficial, y pueden programarse con un sistema simplificado de gestión administrativa, pero un análisis integral de toda la red vial de pavimentos requiere la asistencia de un SGP para determinar además de los tipos de tratamiento, el momento más oportuno para aplicarlos. El sistema de gestión administrativa debería interconectarse con el SGP para que ambos sistemas se retroalimenten en la planificación, desarrollo, e implementación de los programas de conservación de pavimentos.

Es necesario enfatizar que la red de pavimentos requiere de un mantenimiento constante, puesto que el proceso de deterioro de la condición es continuo y durante toda la vida en servicio, empezando ni bien finalizan las actividades de construcción o rehabilitación. Por este motivo, el mantenimiento preventivo es requerido para preservar la red de pavimentos en buenas condiciones. Los tratamientos de mantenimiento preventivo deben aplicarse temprano en la vida en servicio del pavimento como parte de una política de gestión proactiva. La frase que dice “pague ahora o pague después” se aplica a las actividades de mantenimiento y rehabilitación. Si el pavimento es tratado oportunamente siguiendo un enfoque de gestión preventivo, el costo total del mantenimiento es menor a lo largo de su vida útil. Postergar las intervenciones de mantenimiento hasta que el pavimento requiera de una rehabilitación mayor es más costoso y menos eficiente.

ORIGEN Y DESARROLLO INICIAL DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS

El origen de los SGP se remonta a la década de 1960 con la prueba de carretera AASHO. Los resultados de esta prueba fueron empleados para desarrollar métodos empíricos de diseño de pavimentos basados en conceptos como el Eje Equivalente de Carga (“Equivalent Single Axel Load” o ESAL) para representar los efectos del tráfico en el desempeño estructural, y el Índice de Serviciabilidad Presente (“Present Serviciability Index” o PSI) para el desempeño funcional (AASHO, 1962). La incorporación de los conceptos de serviciabilidad en el diseño permitió introducir un enfoque holístico de gestión y la necesidad de emplear “sistemas” para optimizar el desempeño del pavimento y reducir los costos de mantenimiento durante la vida útil de los pavimentos.

En la década de 1970, los conceptos iniciales sobre gestión de pavimentos se expandieron definiendo los componentes de los SGP. Los primeros SGP utilizaron sistemas informáticos tipo

“mainframe” para analizar inversiones. Diversos modelos fueron desarrollados entre los que destacan el Modelo Diseño y Mantenimiento de Carreteras (“Highway Design Model” o HDM) desarrollado para el Banco Mundial por el Massachusetts Institute of Technology (Harral et al., 1979); y el Modelo de Inversión en Transporte por Carretera (“Road Transport Investment Model” - RTIM) desarrollado por el Laboratorio de Investigación de Transporte y Carreteras (“Transport and Road Research Laboratory” o TRRL) en el Reino Unido (Robinson et al., 1975). También se empezaron a desarrollar métodos estándar o protocolos para la evaluación de la condición del pavimento en campo (Smith et al., 1979).

En la década de 1980, el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (“Strategic Highway Research Program” - SHRP) impulsó el desarrollo de las herramientas de gestión, y planteó la necesidad de una base de datos para monitorear el desempeño de los pavimentos a largo plazo. En 1985, AASHTO publicó la Guía de Gestión de Pavimentos (AASHTO, 1985), y se inició el programa de Desempeño de Pavimentos a Largo Plazo (“Long-Term Pavement Program” - LTPP). El Índice Internacional de Rugosidad (“International Roughness Index” o IRI) se desarrolló para tener una medida objetiva del desempeño funcional del pavimento en términos de serviciabilidad (Sayers et al., 1986). Los Departamentos de Transporte en los Estados Unidos continuaron con los esfuerzos de implementación de los SGP (Peterson, 1986). Con el desarrollo de las microcomputadoras, los SGP se expandieron a las agencias locales con herramientas como el PAVER desarrollado por la Asociación Estadounidense de Obras Públicas (APWA) (Shahin, 1985), y el MTC-PMS implementado por el Metropolitan Transportation Commission en California (MTC, 1986). En esta década también se investigan diferentes técnicas de optimización para la toma de decisiones en la gestión de pavimentos (Feighan et al., 1988).

En la década de 1990, el programa de LTPP desarrolló procedimientos para la evaluación de la condición del pavimento en campo que incluyen inspecciones visuales y métodos automatizados para el relevamiento de fallas. AASHTO actualizó la Guía de Gestión de Pavimentos (AASHTO, 1990) y la “Federal Highway Administration” exigió a los Departamentos de Transportes implementar SGPs al aprobarse en el Congreso de los Estados Unidos el Acta de Transporte Eficiente Superficial Intermodal (“Intermodal Surface Transportation Efficiency Act” o ISTEA).

EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE PAVIMENTO

La evolución de los SGP ha comprendido aspectos conceptuales y prácticos al incrementarse gradualmente la capacidad tecnológica para almacenar y procesar gran cantidad de información. Desde los inicios, los SGPs han sido utilizados para identificar las necesidades de mantenimiento y rehabilitación de la red vial de los pavimentos existentes. Sin embargo, el desarrollo de las capacidades de los SGP se ha expandido con los avances en la investigación, planeamiento, programación, análisis, diseño, construcción, mantenimiento, rehabilitación, y reciclado de los pavimentos. En un enfoque más amplio de gestión, los SGP pueden integrarse con otros sistemas para considerar múltiples objetivos en la toma de decisiones estratégicas como seguridad vial, desarrollo económico, equidad social, y protección del medio ambiente.

En la década del 2000, los proyectos de investigación contribuyeron a la evolución de las técnicas de recolección y procesamiento de datos de desempeño de los pavimentos, procedimientos de control de calidad para la evaluación de pavimentos, y el desarrollo de nuevas tecnologías y equipos para automatizar el relevamiento de fallas en campo. La incorporación de los indicadores del desempeño estructural para la toma de decisiones a nivel de red fue impulsado con el desarrollo de deflectómetros capaces de registrar deflexiones a velocidades normales de tráfico. En el 2001, AASHTO actualizó la Guía de Gestión de Pavimentos (AASHTO, 2001). Adicionalmente, el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como plataformas de integración para la gestión y análisis de escenarios contribuyeron a un avance significativo en la implementación de los SGPs (Flintsh, 2009).

En la década del 2010, los conceptos de gestión de pavimentos se expandieron a otros componentes de la infraestructura vial como puentes, en particular con el desarrollo de metodologías para priorizar recursos entre los componentes de la red vial. Entre estas metodologías destacan las de optimización multiobjetivo, las de Proceso de Jerarquía Analítica (“Analytic Hierarchy Process” o AHP) (Adams, 2018), y las de División Justa (“Fair Division”), (Chang et al., 2014). Los indicadores de desempeño de la gestión también se expandieron para incluir rentabilidad, vida remanente, e índices de sostenibilidad para analizar la relación entre los fondos disponibles y las necesidades de inversión con la finalidad de preservar la red de pavimentos al nivel de servicio deseado (Chang, 2017).

La “Federal Highway Administration” publicó también el “Pavement Management Roadmap” describiendo diversos enfoques y herramientas requeridas para la gestión de pavimentos y que se clasificaron en cuatro grandes grupos temáticos: (1) uso de herramientas existentes y tecnología, (2) temas institucionales y organizativos, (3) el rol amplio de la gestión de pavimentos, (4) nuevas herramientas, metodologías, y tecnología (Zimmerman et al., 2010). En el 2008, AASHTO publicó la “Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide” que incluye modelos mecanísticos-empíricos de predicción del desempeño y que fue actualizada en el 2015 (AASHTO, 2008), (AASHTO, 2015).

En el 2012, se aprueba en los Estados Unidos la legislación “The Moving Ahead for Progress in the 21st Century” o MAP-21 que requiere de la implementación de procedimientos de gestión por desempeño para el sistema de carreteras interestatal (US. DOT, 2013), aunque transcurrieron varios años para que se implementará en los Departamentos de Transporte Estatales y las Organizaciones Metropolitanas de Planeación. AASHTO actualizó la Guía de Gestión de Pavimentos en el 2012 (AASHTO, 2012). En el 2013, la FHWA publicó una guía práctica para el control de calidad en la recopilación de datos de la condición del pavimento (Pierce et al, 2013). En el 2015, la legislación “The Fixing America’s Surface Transportation (FAST) Act” extendió MAP-21 (FHWA, 2017).

En la actualidad, un sistema de gestión de pavimentos debe permitir la implementación de un enfoque estratégico multiobjetivo de gestión. La Figura 2 muestra los componentes de un sistema de gestión de pavimentos concebido para asistir en la implementación de un enfoque estratégico multiobjetivo de gestión. Este sistema integra componentes de los sistemas de gestión de pavimentos, sistemas de información geográfica (SIG) y sistemas de gestión del conocimiento.

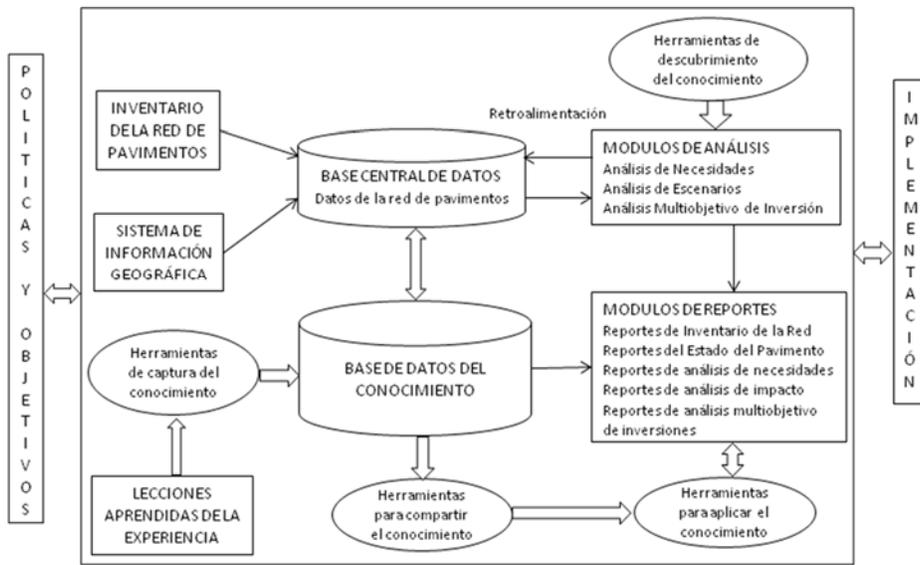


Figura 2: Componentes de un sistema de gestión de pavimentos multiobjetivo de gestión estratégica de pavimentos (Chang, 2007).

RETOS DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS: PRESENTE Y FUTURO

Los conceptos fundamentales de la gestión de pavimentos y el propósito de las herramientas que componen los SGP siguen siendo los mismos, sin embargo las capacidades para implementarlos han evolucionado en el tiempo. Es de prever que los avances tecnológicos seguirán contribuyendo a la evolución de los SGP para enfrentar los retos presentes y futuros en los procesos de gestión. Los mayores retos se encuentran en cómo implementar de manera eficiente los SGP a través del fortalecimiento de sus componentes. Los retos que se presentan en los componentes que integran los SGP son descritos a continuación.

Inventario: El inventario proporciona información sobre la ubicación, características (estructura del pavimento, materiales, tráfico, clima, otros), y de la conectividad de la unidad de gestión dentro de la red de pavimentos. En la actualidad, los inventarios pueden desarrollarse en bases de datos virtuales y con gran capacidad de

almacenamiento. La multi-conectividad de los SGPs desarrollados en plataformas con distintos protocolos de comunicación actualizados periódicamente, es un reto continuo, así como el nivel de seguridad para acceder a la información almacenada en las bases de datos.

Evaluación de la condición: La evaluación de la condición de un pavimento empieza con la recolección de datos para determinar el tipo, cantidad y severidad del deterioro superficial, integridad estructural, serviciabilidad, y resistencia al deslizamiento. Los retos se encuentran en el desarrollo de equipos automatizados para recolectar la información de campo de manera eficiente, y en la implementación de especificaciones y normas que aseguren la calidad de los datos recolectados. Otros retos que se enfrentan son el uso de múltiples indicadores de desempeño para caracterizar el desempeño del pavimento; y el monitoreo e interpretación de medidas de desempeño para identificar las tendencias de comportamiento con el objeto de optimizar el proceso de toma de decisiones a nivel de proyectos individuales y de red global.

Identificación de las necesidades: La evaluación de la condición del pavimento permite identificar las actividades de mantenimiento y rehabilitación en función de la estrategia de gestión, y consecuentemente determinar las necesidades de inversión presentes y futuras. Con esta finalidad se requieren de modelos de predicción del deterioro para diferentes tipos de pavimento y condiciones en servicio, siendo el desarrollo y calibración de estos modelos un reto por la diversidad de factores que afectan el desempeño funcional y estructural del pavimento. Otro de los retos es el desarrollo de sistemas basados en inteligencia artificial que interpreten las medidas de desempeño de pavimento simulando el juicio de profesionales expertos en evaluación y gestión de pavimentos.

Priorización de Recursos: Una vez que la agencia identifica las secciones de pavimento que necesitan mantenimiento y rehabilitación y determina la inversión requerida para preservar la red de pavimentos en la condición deseada, se procede a la priorización de recursos siguiendo los criterios establecidos por la agencia. El objetivo es conservar la red de pavimentos en la mejor condición posible con el menor presupuesto. El reto se encuentra en como priorizar recursos cuando existen múltiples objetivos que además de considerar la condición del pavimento incluyan aspectos económicos, medio-ambientales, y sociales.

Determinación del impacto de las estrategias de gestión: Se evalúa el impacto futuro de estrategias alternativas de gestión, analizando las consecuencias de las decisiones a adoptar al implementar estas estrategias. El desarrollo de modelos analíticos para cuantificar el impacto de las estrategias de gestión utilizando indicadores de desempeño multidimensionales es uno de los grandes retos. El reto es mayor considerando factores de riesgo como son la incertidumbre inherente en el desempeño futuro del pavimento, y los cambios en las políticas de gestión.

Retroalimentación: Consiste en monitorear los resultados de las estrategias de mantenimiento y rehabilitación para realizar ajustes periódicos en los procesos de gestión. Los retos se extienden al nivel organizativo para adaptarse a la incorporación de nuevas tecnologías en los sistemas de gestión de pavimentos. Estos retos incluyen mantener al personal adecuadamente capacitado para operar a un alto nivel de eficiencia, y la necesidad de educar a ejecutivos y políticos involucrados en la toma de decisiones sobre las capacidades de los SGPs.

REFLEXIONES FINALES

- ✓ En la gestión de pavimentos es necesario utilizar métodos que aseguren la sostenibilidad de las estrategias de mantenimiento y rehabilitación a través del tiempo. Con esta finalidad se requiere fortalecer las diversas actividades del proceso de gestión que incluyen: establecer metas y objetivos, evaluar la condición de las secciones de pavimentos que componen la red, identificar las necesidades de mantenimiento y rehabilitación, priorizar los recursos, determinar el impacto de las decisiones, y retroalimentar el proceso de gestión con información de los resultados de las políticas implementadas.
- ✓ Combinar las capacidades de las tecnologías modernas con lo aprendido en experiencias pasadas es parte de un proceso de retroalimentación que tiene por objeto mejorar las prácticas de gestión de pavimentos. Los sistemas de gestión de conocimiento cumplen con este objetivo, y al integrarse con los componentes tradicionales de los sistemas de gestión de infraestructura permiten a quienes toman las decisiones contar con una visión panorámica de los procesos y resultados esperados para diferentes escenarios. La Figura 3 ilustra el concepto holístico de esta visión de enfoque estratégico multiobjetivo de los componentes de

infraestructura que tiene como plataformas de integración un sistema de información geográfica y un sistema de información del conocimiento.

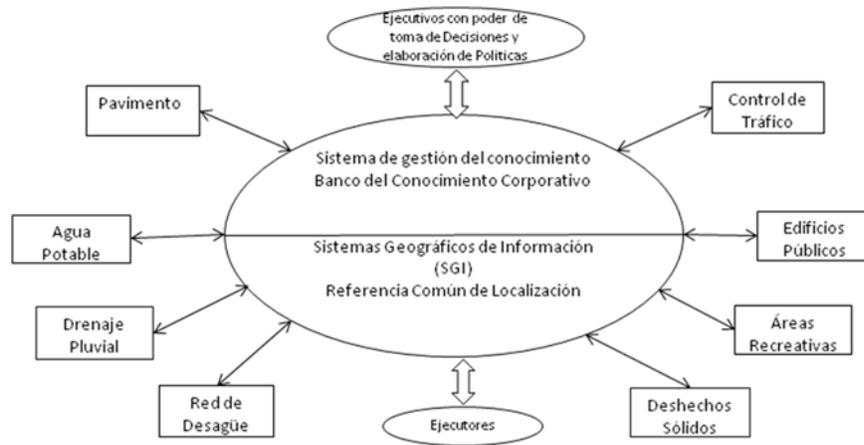


Figura 3: Visión general de un sistema integrado de gestión estratégica (Chang, 2007).

- ✓ Las herramientas integrales de gestión son recomendadas para facilitar los procesos e interconectar los sistemas de toma de decisiones en una plataforma virtual que incentive la comunicación en tiempo real entre todos los niveles de gestión. Un enfoque de gestión estratégica debe integrar los componentes del sistema de gestión de pavimentos con otros sistemas de gestión de infraestructura (ejemplo: puentes, elementos de seguridad vial). Los sistemas de información geográfica sirven como plataforma para integrar toda la información y visualizar los resultados de análisis de escenarios con múltiples objetivos.

Finalmente, es apropiado resaltar los beneficios de la implementación de un SGP integrado: (1) información más exacta y accesible de la red de pavimentos, (2) conocimiento de la condición de la red de pavimentos, (3) capacidad para realizar un análisis de necesidades de mantenimiento y rehabilitación, (4) uso más eficiente de los recursos disponibles, (5) capacidad para justificar técnicamente las inversiones para la preservación de la red de pavimentos, (6) selección de estrategias costo-efectivas de mantenimiento y rehabilitación, (7) capacidad de evaluar el impacto de las estrategias de gestión de mantenimiento y rehabilitación en la condición de los pavimentos e inversiones futuras.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a Dr. Roger E. Smith, Profesor Retirado de la Universidad Texas A&M, por compartir sus conocimientos en el área de gestión de pavimentos, amistad, y apoyo a través de los años. Agradecimiento que hago extensivo a todos aquellos profesionales que como Dr. Smith han contribuido al desarrollo y evolución de los Sistemas de Gestión de Pavimentos.

REFERENCIAS

- Adams, T.M., y J.L. Carreras (2018). "Prioritizing Maintenance Activities Using an Analytic Hierarchy Process (AHP)", 12 Conferencia Nacional en Gestión de Activos de Transportes, San Diego, CA.
- American Association of State Highway Officials – AASHO (1962). "The AASHO Road Test, Report 5: Pavement Research, Special Report 61E", Highway Research Board, Washington, D.C.
- American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (1985). *Guidelines on Pavement Management*, AASHTO Joint Task Force on Pavements, Washington, D.C.

- American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (1990). *Guidelines for Pavement Management Systems*, Washington, D.C.
- American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (2001). *Guide for Design of Pavement Structures*, Washington D.C.
- American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (2008). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: Manual of Practice, Second Edition*, Washington, D.C.
- American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (2015). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: Manual of Practice, Second Edition*, Washington, D.C.
- American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (2012). *Pavement Management Guide, Second Edition*, Washington, D.C.
- Chang, C. (2007). “Development of a Multi-Objective Strategic Management Approach to Improve Decisions for Pavement Management Practices in Local Agencies”, Ph.D. dissertation, Texas A&M, at College Station, Texas.
- Chang, C., E. Montes, H. Taboada, and J. Espiritu (2014). “Allocating Transportation Funds using Fair Division Methods”, American Society of Civil Engineering (ASCE), *Journal of Infrastructure Systems*. DOI:10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000217.
- Chang, C., S. Nazarian, M. Vavrova, M. Yapp, L. Pierce, W. Robert, and R. Smith (2017). “NCHRP Research Report 859 Consequences of Delayed Maintenance of Highway Assets”. Final Report. NCHRP Project 14-20A. Center for Transportation Infrastructure Systems. University of Texas at El Paso.
- Federal Highway Administration – FHWA (1991). “An Advanced Course in Pavement Management Systems”, Washington, D.C.
- Federal Highway Administration – FHWA (2016). “Fixing America’s Surface Transportation Act (FAST Act): A Summary of Highway Provisions. Office of Policy and Governmental Affairs”. Disponible en https://www.fhwa.dot.gov/fastact/fastact_summary.pdf.
- Feighan, K.J., M.Y. Shahin, K.C. Sinha, y White T.D. (1988), "Application of Dynamic Programming and Other Mathematical Techniques to Pavement Management Systems", Transportation Research Record 1200, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Flintsch, G. W., Dymond, R., and Collura, J. (2004). *NCHRP Synthesis 335: Pavement Management Applications Using Geographic Information Systems*, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Harral, C.G., et al, “The Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM): Model Structure, Empirical Foundations and Applications”, PTRC Summer Annual Meeting, University of Warwick, London.
- Metropolitan Transportation Commission – MTC (1986). *Bay Area Pavement Management System (PMS) User’s Guide*, Oakland, California.
- Peterson, D.E. (1987). *NCHRP Synthesis 135: Pavement Management Practices*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Pierce, L.M., McGovern, G., y Zimmerman K.A. (2013), *Practical Guide for Quality Management of Pavement Condition Data Collection*, Washington, D.C.
- Robinson, R., Hide, H., Hodges, J.W., Rolt, J., y Abaynayaka S.W. (1975), *TRRL Report LR 674: A Road Transport Investment Model for Developing Countries*, Transport and Road Research Laboratory, London, England.

- Smith, R.E., M.I. Darter, and Hernn S.M. (1979). *Highway Pavement Distress Identification Manual for Highway Condition and Quality of Highway Construction Survey*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration and Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Sayers, MW, TD Gillespie, y Paterson WDO. (1986). *World Bank Technical Paper Number 46: Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*, The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington, DC.
- Shahin, M.Y. (1986). *Micro-PAVER User's Guide Version 1.0, Airport Pavement Management System*, U.S. Army Construction Engineering Research (CERL), Champaign, Illinois.
- U.S. Department of Transportation (U.S. DOT) (2017). *Performance Management. MAP-21- Moving Ahead for Progress in the 21st Century*. Disponible en <https://www.fhwa.dot.gov/map21/factsheets/pm.cfm>.
- Zimmerman, K., L. Pierce, and Krstulovich J. (2010). "Pavement Management Roadmap", Federal Highway Administration – FHWA (2010 Washington, D.C.



Dr. Carlos M. Chang

Profesor Asociado en el Departamento de Ingeniería Civil y Medio Ambiente de la Universidad Internacional de Florida (FIU). Ha sido Profesor Asociado de la Universidad de Texas en El Paso e Investigador Asociado del Instituto de Transportes de Texas A&M. Dr. Chang es graduado como Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) del Perú, con grados de Maestría y Doctorado en la Universidad de Texas A&M. Dr. Chang tiene licencia profesional como Ingeniero Civil en Texas, Estados Unidos y en el Perú, y es reconocido como consultor internacional por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y asesor de empresas públicas y privadas. La experiencia de Dr. Chang abarca temas de diseño y evaluación de pavimentos, supervisión y control de calidad, mantenimiento y rehabilitación de carreteras, sostenibilidad de la infraestructura de transporte, sistemas de gestión de pavimentos e infraestructura vial. En el ámbito académico, Dr. Chang ha realizado proyectos de investigación para el National Highway Cooperative Research Program (NCHRP), el Departamento de Transporte de Texas (TxDOT), el Metropolitan Transportation Commission (MTC) en California, la Organización de Planificación Metropolitana en El Paso, y la Ciudad de El Paso, Texas.

Dr. Chang es Presidente del Comité de Infraestructura de la Sociedad de Ingenieros Civiles (American Society of Civil Engineering ASCE), y de la Sociedad Internacional para el Mantenimiento y Rehabilitación de Infraestructura del Transporte. En Latinoamérica. Dr. Chang es autor de libros y con más de 100 publicaciones técnicas a nivel internacional. Durante su trayectoria académica ha sido merecedor de varios premios, destacando el de la International Road Federation Fellowship, y el reconocimiento en tres oportunidades del “National Council of Examiners for Engineering and Surveying” (NCEES) por conectar la educación con la práctica profesional.