

## **Propuesta de herramientas para la gestión de pavimentos cantonales de Heredia**

Ing. Rodolfo Rothe Cordero, MGP, M.Eng.

Ingeniero de Proyectos

Correo electrónico: rrothe@heredia.go.cr

### **Resumen**

Para los entes administradores de los pavimentos de las rutas cantonales de Costa Rica, las municipalidades, es importante que cuenten con herramientas en pro de mejorar el proceso de gestión de los recursos.

Actualmente, la Municipalidad de Heredia emplea alternativas de conservación y mantenimiento vial, considerando criterios de priorización entre los diferentes distritos a través de factores sociales, ambientales, económicos y técnicos, los cuales deben ser considerados en un proceso de toma de decisiones junto con la ayuda de una metodología matricial, políticas institucionales y un Sistema de Información Geográfico (SIG).

Lo anterior permite gestionar la información de manera visual por medio de mapas, gráficos y tablas y así facilitar, de forma efectiva, la comprensión e interpretación de la información, análisis de infinidad de escenarios y modelos económicos para decidir entre las alternativas de intervención vial, con el fin de economizar recursos y gestionar los pavimentos de forma proactiva y no reactiva.

**PALABRAS CLAVE: SISTEMA, GESTION, PAVIMIENTO, MANTENIMIENTO, SIG, INTERVENCION VIAL, ALTERNATIVAS, RUTAS CANTONALES.**

### **Abstract**

For the municipalities, as administrators of the cantonal routes pavements of Costa Rica, it is essential having tools to improve the resource management process.

Currently, the Municipality of Heredia uses road conservation and maintenance alternatives considering prioritization criteria between districts. Such as social, environmental, economic and technical factors.

These criteria must be accounted for in a decision-making process, together with the help of a matrix methodology, institutional policies and a Geographic Information System (GIS).

The aforementioned allows information to be managed visually through maps, figures and charts, which facilitates the understanding and interpretation of the information, the analysis of countless scenarios, and the use of economic models to decide between road intervention alternatives. Thus, saving resources and managing pavements proactively and not reactively.

**KEY WORDS: SYSTEM, MANAGEMENT, PAVEMENT, MAINTENANCE, GIS, INTERVENTION, VIAL, ALTERNATIVES, CANTONAL ROUTES.**

### **Introducción**

Existen sistemas para la gestión de carreteras dentro de los cuales se administran todos los elementos que conforman la red vial, tal es el caso del Sistema de Gestión de Activos (SGA). Dentro de estos sistemas podrían considerarse subsistemas para gestionar, de manera focalizada, cada uno de estos activos. Uno de estos sería el Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP).

Costa Rica posee la ventaja de tener distribuida la administración de la red vial entre el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y las municipalidades, entes administradores de estos activos a nivel nacional y cantonal, respectivamente. Sin embargo, la ausencia de sistemas en ambos entes administradores, ha generados atrasos significantes en el desarrollo y progreso del país. Además, podrían generar inversiones no óptimas en materia vial.

Por lo anterior, resulta relevante para los entes administradores de carreteras, contar con herramientas que permitan mejorar el proceso de gestión de los recursos. Así bien, según Castro (2019), “el propósito de una carretera: maximizar la eficiencia de la industria, comercio y turismo, mejorando la calidad de vida de la población, considerando los factores sociales, ambientales, económicos, y técnicos que deben considerarse en un proceso de toma de decisiones”.

El tema de gestión de activos viales es muy amplio y conociendo que, a nivel nacional, tanto el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) como el Tecnológico de Costa Rica (TEC), poseen convenios con el gobierno central para monitorear y gestionar activos viales, principalmente enfocados en pavimentos en el caso del LANAMME y puentes en el caso del TEC; este artículo se enfoca en la necesidad, a nivel cantonal, de fomentar e impulsar la inversión de los municipios en convenios con

laboratorios, contrataciones, entre otros, en caso de laboratorios privados y desarrollar sistemas que colaboren con las Unidades Técnicas de Gestión Vial (UTGV) en lo que respecta a toma de decisiones efectivas principalmente en el tema de pavimentos, porque funcionalmente son los segundos activos viales más importantes de la red vial después de los puentes, sin embargo, son los activos de mayor magnitud por administrar.

Además, la implementación de sistemas de gestión de activos es costoso, no obstante, existen formas de optimizar procesos y recursos en pro de la gestión de estos.

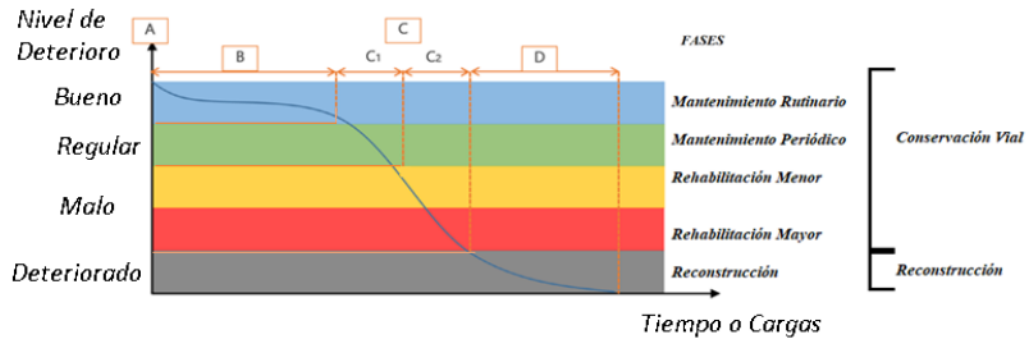
La implementación de un SGP a través de un SIG, se fundamenta en la fusión de conceptos de arquitectura de computadoras y de sistemas operativos para generar, automáticamente, registros de los daños presentes en las vías. De acuerdo con Moya (2015), es posible utilizar plataformas web para conformar mapas de deterioro, los cuales pueden describir los requerimientos de intervención por punto, lo que facilita la comprensión a través de una salida visual.

En el caso del municipio del cantón de Heredia, se ha venido trabajando en implementar herramientas y metodologías que le permitan tomar decisiones y obtener resultados favorables en la gestión de los recursos, con lo cual se mejora el estado de sus carreteras. Para ello, han utilizado metodologías que, mediante equipos, ensayos de laboratorio y procedimientos normados que trabajan bajo parámetros, indicadores, criterios, fundamentos técnicos e ingenieriles, conjunto a softwares de optimización como Excel y la ayuda de un Sistema de Información Geográfico (SIG), se puede gestionar de manera proactiva y óptima.

Todo este proceso se basa en la teoría de la curva de deterioro de un pavimento, la cual explica que la vida útil de un pavimento posee distintas etapas; estas a su vez, pasan por distintas fases, en las cuales se pueden efectuar distintas alternativas de intervención. En la Figura 1, se muestra una curva teórica de deterioro de un pavimento:

**Figura 1.**

*Curva teórica de deterioro de un pavimento.*



**Fuente: Miranda (2019), modificado por Rothe (2020).**

En la curva anterior, existen en el eje horizontal las variables tiempo o cargas. Mientras mayor sea el tiempo que pasa y el pavimento no es atendido, según lo requiera por su estado de conservación, se acelera el proceso de deterioro, lo cual hace que los costos para obtener una condición buena sea cada vez más caro. En otras palabras, mantener un pavimento en buen estado de servicio requiere de inversiones menores que recuperar un pavimento de malo a buen estado. Por lo anterior, se fundamenta la importancia de gestionar los activos viales, en este caso específico, los pavimentos.

### Metodología

Inicialmente, el municipio de Heredia recopiló la documentación disponible en sus expedientes físicos de donde se obtuvo la información inicial. Información que proviene del inventario vial municipal aprobado por el MOPT y de un diagnóstico vial aplicado en las carreteras cantonales de Heredia, ejecutado a través del LANAMME. En este, se aplicaron pruebas y ensayos a los pavimentos para medir el tránsito, estado funcional y estructural de los pavimentos, para los cinco distritos que corresponden a la jurisprudencia de la Municipalidad de Heredia. Con la información recopilada, se generaron los campos necesarios en la plataforma SIG municipal, para crear una base de datos referente a los pavimentos del cantón, ya que no existía digitalizadamente.

Con los resultados obtenidos del diagnóstico vial, se logró dividir la red vial en tramos homogéneos para cada indicador medido. Adicionalmente, mediante cálculos y análisis comparativos, se logró promediar cada indicador, según condiciones de homogeneidad de los tramos. Es una segmentación de la red vial en tramos de diferentes longitudes,

basándose en criterios de semejanza que consideran varios parámetros, donde sus características son similares, por ejemplo: velocidades, tránsito, jerarquía de la ruta, número de carriles, tipo de pavimento, región climática, similitud a nivel de desempeño funcional, estructural, entre otros.

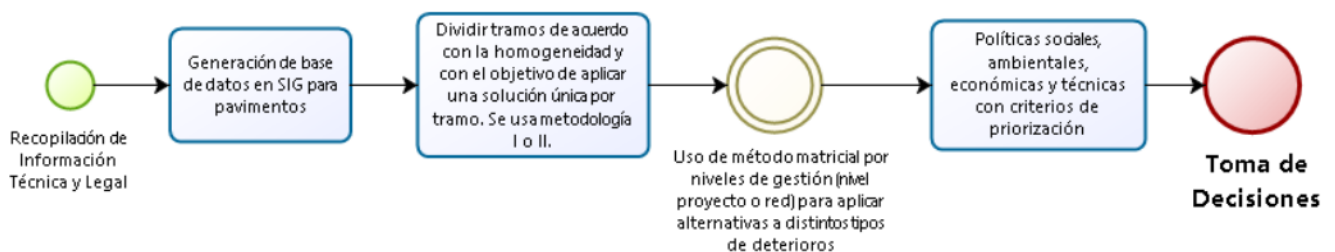
Estos tramos resultan trascendentales para realizar estudios y análisis en una red vial, ya que los equipos de utilizados para medir los parámetros e indicadores, se obtienen en diferentes puntos de la red vial. Además, aportan datos cada cierta distancia, de los cuales al final, manualmente se deben hacer cálculos y análisis comparativos para promediar cada indicador, con base en las condiciones de homogeneidad, esto con el objetivo de seccionar las calles para aplicar una solución única por tramo. Esto facilita obtener resultados para conseguir la gestión vial de una red de carreteras a nivel táctico, operativo, y estratégico.

Una vez dividida la red en tramos, se propuso usar dos metodologías basadas en criterios técnicos. Ambos métodos utilizados trabajan bajo el concepto de tramos homogéneos; la diferencia radica en que una utiliza equipos de laboratorio y la otra no.

Posteriormente, para determinar el tipo de intervención vial, se definió utilizar un método matricial por nivel de gestión (proyecto o red) con distintas alternativas para los diferentes tipos de deterioros. Además, se propuso una serie de políticas y criterios de priorización que crean fronteras y ayudan al proceso de toma de decisiones. A continuación, se muestra la Figura con **Figura** un diagrama del proceso metodológico:

**Figura 2.**

*Diagrama metodológico.*



## Desarrollo

Una de las necesidades de las municipalidades de Costa Rica es la de contar con una metodología para realizar una gestión que permita el seguimiento y evaluación de los pavimentos, de manera que pueda brindar seguridad y comodidad a los usuarios y obtener mayor rentabilidad posible en el dinero invertido. Además, la metodología debe estar sujeta a restricciones técnicas, económicas, políticas y ambientales. Adicionalmente, se sabe que la planificación y administración de pavimentos, requieren del uso de herramientas tecnológicas que faciliten el trabajo y garanticen una optimización del uso de recursos, así como una mayor capacidad de respuesta en la toma de decisiones.

Por las razones expuestas anteriormente, se propuso implementar una serie de herramientas que a través de un SIG trabajen, bajo parámetros funcionales como el Índice de Regularidad IRI, Grip Number y PCI, para hacer análisis del comportamiento de los pavimentos a nivel de red vial por medio de tramos homogéneos. También, que adicionalmente considere parámetros estructurales como FWD, para análisis del pavimento a nivel proyecto (donde se requieren estudios más focalizados) en alguna sección de carretera; ya que, dependiendo del caso particular y condición de deterioro, habría que hacer estudios más profundos con el fin de evaluar la capacidad estructural del pavimento; de esta forma, se podría gestionar a nivel de red y proyecto.

Lo anterior debido a que Costa Rica pertenece al grupo de países en vías de desarrollo y de acuerdo con Miranda (2019), quién indicó lo siguiente:

Su tránsito promedio diario (TPD) en rutas cantonales, por lo general no superan los 15000 vehículos, por lo que la estructura de los pavimentos casi no se deforma y se evidencian en los estudios de deflectometría que realizó el LANAMME para la red vial cantonal del país. Son casos esporádicos que ocupan intervenciones a nivel estructural por lo que se atienden focalizadamente a nivel proyecto.

Es por estas razones, que dichas herramientas deben dar énfasis a los parámetros funcionales para gestionar a nivel de red ya que son los que pueden percibirse con paso del tiempo debido a los factores ambientales y a las cargas a las que se exponen a nivel cantonal. Esto también ha generado críticas a nivel social y disconformidades contra las municipalidades del país, quienes son las responsables de mantener sus carreteras en buen estado. Los daños a nivel funcional se reflejan de manera que generan perspectivas

negativas en el observador. De ahí, la importancia de controlar periódicamente los parámetros funcionales.

Los SIG tienen la ventaja de responder varias preguntas, las cuales se muestran en la Figura 3. Respuestas que ayudan a identificar de forma clara la información requerida, por lo que crear herramientas que trabajen en conjunto con el uso de un SIG, podría ayudar en el proceso de toma de decisiones.

**Figura 3.**

*Preguntas que responde un SIG.*



**Fuente: Cruz, W., Pabón, C. (2016), modificado por Rothe. R.**

Nótese que la ventaja de contar con herramientas conformadas por medio de un SIG, se centra en que este se retroalimenta con la experiencia y el tiempo, ya que se puede determinar donde se está fallando o lo que falta por mejorar. Por lo que, con toda su información, este permite ir mejorando su efectividad y, a través de análisis en el tiempo y alimentación de la base de datos, se podría llegar a predecir el desempeño de los pavimentos a futuro, porque sería posible revisar el comportamiento de estos en periodos de tiempo establecidos. Además, satisface necesidades de cualquier administrador en la gestión vial.

Díaz, (2013) afirma que:

La recolección de datos es una de las tareas más valiosas y costosas dentro de los programas de gestión de pavimentos. Cada dato requiere, tiempo, esfuerzo del recurso humano y dinero para ser recopilado, almacenado y

recuperado. Todo implica costos muy elevados que muchos de los gobiernos locales no son capaces de cubrir y tampoco cuentan con los equipos de laboratorio necesarios para evaluar la red cantonal. (p.225).

A pesar de que los SIG se han convertido en una forma muy práctica de manejar la información, porque se conoce su distribución y ubicación geográfica exacta, en Costa Rica no existe ninguna municipalidad que tenga un SGP bien definido o completo. De acuerdo con Castro (2019):

Un SGP debería estar totalmente georreferenciado y con una buena base de datos y que este tipo de sistema se facilita implementarlo en una Municipalidad de Costa Rica ya que no representan costos tan altos, comparado con otras opciones del mercado que utilizan otros softwares especializados directamente para Gestión Vial.

Además, las municipalidades ya cuentan con una UTGV establecida para que se encargue de su funcionamiento, alimentación y control de este sistema. Las limitaciones para implementar estos SGP, se dan con:

- La disposición política de parte de las alcaldías a nivel administrativo, para que apoye su implementación con la metodología de planes de inversión, políticas del sistema y se pueda desarrollar un proceso de gestión proactiva, sin que esta se vea interrumpida por cambios de intereses a nivel político o continuidad de gobiernos.
- La disposición de una plataforma SIG y personal capacitado para su uso.
- El recurso humano necesario para la administración del sistema.
- La dependencia de laboratorios externos para diagnosticar la red con sus diferentes equipos y ensayos.
- La dependencia de subcontratos de empresas que tengan la capacidad para construir las diferentes técnicas y alternativas de intervención vial. También la disponibilidad de maquinaria especializada para efectuar ensayos de laboratorio y labores en carreteras o dependencia de subcontratos.

Expertos como Macea, Márquez y Morales (2015), expresan que, cuando no existe un mecanismo de gestión apoyado en procesos objetivos de obtención de información, se correría el riesgo de formular planes de poco alcance, reduciendo su efectividad, especialmente en países en vía de desarrollo, donde los recursos son escasos.

Es sumamente importante mantener en buen estado la infraestructura vial para evitar sobrecostos de operación en el transporte de personas y bienes. Se dice que un país que permita el deterioro de su infraestructura vial tendrá sobrecostos de operación vehicular en un rango que se puede ubicar entre 1% y 3% de su Producto Interno Bruto nacional (PIB). (Bull, 2003).

En resumen, los SGP son herramientas importantes de análisis en las que interactúan el uso de la información de la base de datos, la aplicación de criterios y algunos de los métodos ingenieriles junto con los recursos estratégicos: estándares de desempeño, políticas ambientales, sociales, técnicas de conservación y reconstrucción vial. De manera que se pueden lograr criterios de priorización para tomar decisiones, planificar el presupuesto e invertir en las diferentes funciones que representan la gestión vial, y así, estimular la industria, comercio y turismo. A pesar de la limitación en el alcance y necesidad de recursos es posible gestionar pavimentos con diferentes herramientas que son parte de un SGP.

La creación de un sistema de este tipo, brinda la oportunidad de comenzar con un plan piloto y de generar subsistemas de gestión que formen, en un futuro, un Sistema de Gestión de Activos (SGA) donde se consideran los demás elementos que se encuentran dentro del derecho de vía público.

Estos sistemas no deben limitarse solamente a la conservación y reconstrucción vial, sino que se deben definir proyectos de mejoramiento, ampliación de carreteras y nuevos proyectos viales. Para evitar que se den estas limitaciones, se pueden implementar planes y técnicas que generen oportunidades; sin embargo, estas deben ser respetadas por las políticas institucionales. Además, en Costa Rica existe un orden jurídico. Su incumplimiento o desacato implica sanciones por parte de las autoridades correspondientes. En el caso del cantón de Heredia, existían varios problemas como los identificados a continuación:

- No contaba con una estructura de sistema o herramientas para gestionar pavimentos.
- Posee escasos recursos para su totalidad de la red vial.
- Aplicaba pocas alternativas de conservación vial.
- Poseía un inventario de red vial desactualizado a través del tiempo.
- Carecía de una metodología con fundamento técnico para toma de decisiones.

- Faltaban elementos como mapas, gráficos o tablas que facilitaran interpretar la información y tomar decisiones.

Fue por todo lo anterior, que la Municipalidad de Heredia se dio a la tarea de iniciar con un plan piloto para crear herramientas que le ayuden con la gestión de los pavimentos a través de un SIG. Para esto llevó a cabo los estudios necesarios donde obtuvo los datos iniciales y así dar comienzo a la gestión, lo cual se denomina “Datos semilla”.

Posterior a esto, confeccionó una base de datos a través del SIG para seguir alimentándola con el tiempo. Con este fin, se utilizaron equipos de campo sobre toda la red vial cantonal como lo son: Contadores Neumáticos Automáticos Vehiculares, Deflectómetro de Impacto, Geo3D y el Perfilómetro Inercial Láser. Los equipos y ensayos son subcontratados a laboratorios externos, debido a que los municipios no cuentan con equipos propios. El *Grip Tester* no se utilizó para mediciones, pero la propuesta de herramientas lo considera.

Las herramientas se diseñaron de forma que trabajen mediante dos metodologías basadas en la teoría de conceptos de gestión vial. Esto, con el fin de garantizar su funcionamiento, ya que existen limitaciones que podrían darse en casos esporádicos.

La metodología I) se basa en el uso de equipos de laboratorio como fuente de información primaria. Cuando, por razones económicas, disponibilidad de equipos, laboratorios u otras, no sea posible realizar el proceso de la metodología I, se utilizará la metodología II.

La metodología II consiste en realizar un proceso de auscultación visual manual bajo el procedimiento normado del PCI, lo que depende solo del recurso humano y criterio ingenieril.

A continuación, se detallan estas metodologías:

### **Metodología I:**

Esta metodología permite que el usuario evalúe los pavimentos por medio de los resultados que otorguen los equipos de laboratorio, para medir la regularidad de los pavimentos a nivel funcional y a nivel de red, el tránsito en general y las deflexiones, en casos donde haya que analizar a nivel de proyecto en un sector de la red focalizado.

Para efectos de evaluación a nivel de red, solamente se utiliza la combinación del parámetro IRI, (*Grip Number* solamente para rutas primarias) y TPD ya que las condiciones

estructurales en estos pavimentos cantonales se mantienen, casi no se deforman por las pocas cargas a los que son sometidos. El tránsito pesado viaja por las rutas nacionales generalmente y las deflexiones en las rutas cantonales son mínimas, por lo que el FWD se puede considerar a nivel proyecto, pero a nivel de red solamente se considera la combinación del tránsito y el parámetro funcional debido a que la población juzga el pavimento, por lo que observa a simple vista y le genera una perspectiva que le permite criticar los pavimentos. Generalmente, asocian los deterioros a una condición superficial, pero en algunos casos va más allá y se consideran deterioros estructurales. Por lo que, para cualquier municipalidad de este país, es bueno mantener el IRI a nivel de megatextura (percepción del usuario) en estado bueno o excelente a nivel de red, y hacer mejoras focalizadas a nivel proyecto cuando se requieran.

Esta metodología es ideal para gestionar a nivel de red vial y diagnosticar la condición general de esta.

### **Metodología II:**

Es una metodología diseñada para que la UTGV evalúe los pavimentos por auscultación visual y criterio ingenieril mediante los rangos de PCI donde aparte de realizar todo el proceso de evaluación en campo, deberá aplicar el procedimiento normado por la ASTM-D6433 para calcular y clasificar el PCI según su escala y de acuerdo con los tramos homogéneos.

Esta segunda metodología se aplica para analizar un tramo específico, por lo que permite diagnosticar la condición general de la estructura de pavimento de este y gestionar a nivel de proyecto; es más focalizada.

Sin importar la metodología utilizada, una vez realizada la división en tramos y el estado de condición de dichos tramos de pavimentos obtenida de las mediciones de los indicadores y parámetros normados, se propuso una clasificación por nivel jerárquico. Se utilizó el TPD para clasificar los tipos de rutas cantonales en: primarias, secundarias o terciarias según The American Association of State Highway and Transportation Officials (*AASHTO*) (1993).

Una vez obtenida la clasificación según su estado de condición, se enlistaron los tramos y se analizó la priorización de intervenciones. Para esto, se consideran a nivel distrital las políticas ambientales, sociales y económicas correspondientes al cantón de Heredia y, finalmente, tomar las decisiones e intervenciones con la ayuda de una Matriz de

Mantenimiento, Rehabilitación o Reconstrucción (MRR) la cual presenta distintas alternativas de intervención vial y los diferentes tipos de deterioro con su severidad y extensión destinadas a la solución óptima en cada tramo.

Los deterioros se obtuvieron del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica MVA (2016) y del Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Program de la Federal Highway Administration (LTPP) (2003). De los cuales se realizó una mezcla de criterios con los deterioros existentes en Costa Rica y se obtuvo la Matriz MRR.

Este método matricial fue propuesto para realizar la evaluación de la red vial cantonal pavimentada de Heredia. Es una matriz creada para uso del municipio herediano que considera las técnicas de conservación e intervención vial contra los diferentes tipos de deterioro. Esto es clave para el funcionamiento de las herramientas en conjunto, ya que trabajan de la mano con las políticas sociales, técnicas, económicas y ambientales que se definieron específicamente para el cantón de Heredia. De esta forma, se priorizan las intervenciones viales en el cantón de Heredia.

Se basa en los principios del método de notas "Q" que utiliza el LANAMME para evaluar la red vial nacional pavimentada, combinando criterios entre parámetros técnicos, pero en este caso solamente funcionales como el IRI, PCI, (*Grip Number* solamente para rutas primarias) e intervenciones viales. A diferencia de las notas "Q", es que este método no combina parámetros estructurales como el FWD para evaluar a nivel de red. Las Notas "Q" juzga al pavimento combinando criterio a nivel funcional y estructural, el cual generaliza un tramo de pavimento y podría brindar una solución que no sea la óptima y a nivel de costos puede afectar el presupuesto municipal.

Es por lo que se determinó proponer este método calificar cada una de las secciones de control "tramo homogéneo" por su condición funcional y de resistencia al deslizamiento midiendo su regularidad superficial. Para esto es necesario utilizar los rangos de IRI propuestos por LANAMME y Grip Number en las rutas cantonales. Además, la metodología contempla únicamente el parámetro estructural FWD para analizar tramos a nivel de red parcialmente y a nivel proyecto, secciones localizadas detalladamente, ya que estas secciones requerirán mediciones de otros parámetros estructurales. Así se mejoraría la gestión de los recursos, porque se valoran tanto los indicadores funcionales como los estructurales, de manera separada y de acuerdo con el caso en que se encuentre el análisis.

Una vez clasificados los tramos por condición y jerarquía vial, entra en juego el proceso de priorización de intervenciones ya que existirán tramos clasificados entre regular, mal o pésimo estado que ameritan de intervenciones. Además, se deben considerar recursos para atender los tramos en buen estado mantenerlos así. Para esto, se definieron las fronteras de las herramientas, por medio de políticas establecidas a nivel general, social, ambiental, técnicas y económicas, más varios criterios de priorización donde el municipio cumpla con estándares de calidad según umbrales definidos.

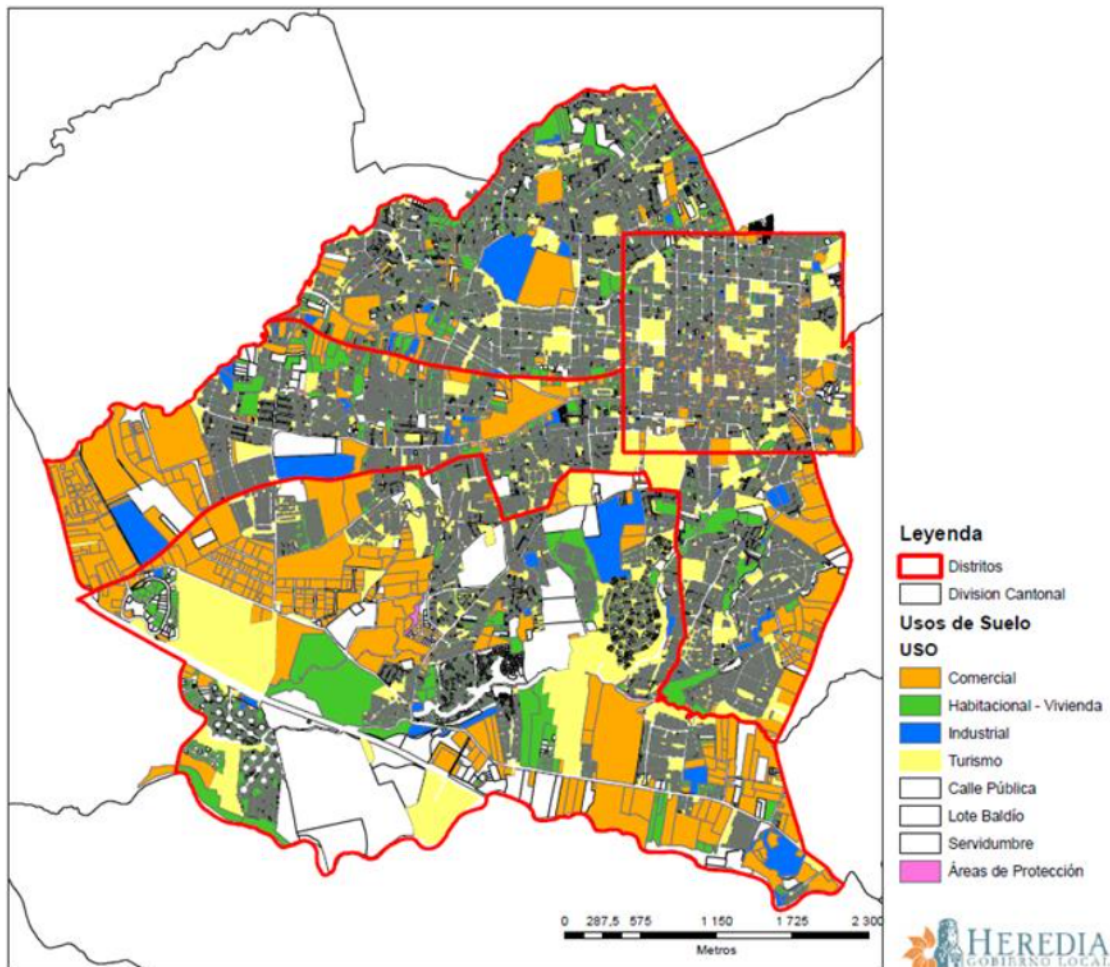
Luego, se procedió a realizar un Análisis de Priorización Jerárquico (PAJ), método que utilizó el Departamento de Procesos y Sistemas de Gestión de la Producción de la Universidad Simón Bolívar de Colombia (2020) a través de un ejemplo PAJ que se usó en este caso, ya que como hay cinco distritos bajo la jurisprudencia de Heredia y todos requieren inversiones en sus pavimentos, se debía determinar cuánto corresponde en inversión para cada distrito según las necesidades con el correspondiente análisis. Se consideraron los factores por distrito como: usos de suelo comerciales, industriales, turístico, habitacional, número de población, jerarquía vial, geología, precipitaciones y temperaturas promedio.

Los datos obtenidos para dicho análisis se obtuvieron del diagnóstico vial ejecutado para el municipio Herediano; el LANAMME proporcionó los informes: LM-PI-GM-INF-03-16, LM-PI-GM-INF-08-2016, LM-PI-GM-INF-09-2017, LM-PI-GM-INF-10-2017 y LM-PI-GM-INF-11-2017 de donde se consiguió la información inicial de la condición de la red vial y sirvió para alimentar la base de datos. Para el análisis PAJ, se usó información del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) (2020), Universidad Nacional (UNA) (2020) e Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) (2020).

De esas fuentes, se adquirieron los datos por distrito de temperaturas y precipitaciones promedio, tipos de geología, número de población y de la base de datos de la Municipalidad de Heredia (2020), se obtuvieron los usos de suelo de vivienda, comercio, industria y turísticos. Toda esta información conformó los distintos factores necesarios para hacer el PAJ en los cinco distritos del cantón. A continuación, se muestra un mapa de usos de suelo del municipio herediano (ver Figura 4).

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

*Mapa de Usos de Suelo del Cantón de Heredia*



Nota: Es importante aclarar que en esta Figura 4 solamente se muestra la información recopilada del municipio. Los datos recopilados por medio del INEC, IMN y UNA no se reflejan en este mapa.

**Fuente: Municipalidad de Heredia (2020).**

Para realizar la priorización, se hizo el PAJ comparando todos factores mencionados anteriormente entre los distritos, ya que algunos poseen más kilómetros de rutas primarias (por ende, mayor TPD), mayor población, mayor número de comercios, industrias entre otras actividades que van de la mano con el propósito de una carretera; por lo que se deben mantener los pavimentos con fundamentos de importancia. Sin esta diferencia, cada distrito tendría un mismo nivel de importancia y se invertiría la misma cantidad de recursos para cada uno, pero no es equitativo ya que algunos distritos poseen más factores de importancia que otros de manera que obtienen un peso en importancia mayor. Esto hace que existan

carreteras que requieran más inversiones que otras en el tiempo y así se pueden gestionar los recursos por distrito en su red vial. A continuación, en la **Tabla 1** se muestran los resultados obtenidos por distritos.

**Tabla 1.**

Propuesta de distribución porcentual de recursos por distrito obtenidos del PAJ.

Distrito	Orden de Priorización de Inversión	% de Inversión
Heredia	3	20%
Mercedes	4	18%
San Francisco	2	23%
Ulloa	1	23%
Vara Blanca	5	16%
$\Sigma$		100%

Además, se propuso una política que divide el total de los recursos obtenidos por distrito, para invertir a nivel de red y nivel proyecto en cada uno de estos, donde se destinó un 70% para gestionar a nivel de red y un 30% para gestionar a nivel proyecto. Esto, porque de acuerdo con el concepto de la curva teórica de deterioro de un pavimento, las carreteras requieren de menores inversiones en su etapa que brinda un buen servicio a los usuarios.

Conforme avanza su vida útil, existe un momento de deterioro acelerado en la que la carretera requeriría de inversiones más grandes y costosas. Por lo que, se consideró que lo mejor es mantener la red vial en buen estado con la propuesta de invertir el 70% de los recursos en conservación y mantenimiento, así se invierten recursos de manera proactiva y no reactiva, ayudando a mantener la vida de los pavimentos en mejores condiciones. Mientras que el otro 30% invertirlo en proyectos focalizados dentro de la red vial.

De esa forma se garantiza el municipio que exista inversión constante en la red, para mantenerla lo mejor posible y al mismo tiempo se puedan efectuar soluciones focalizadas de gran valor económico donde ameriten.

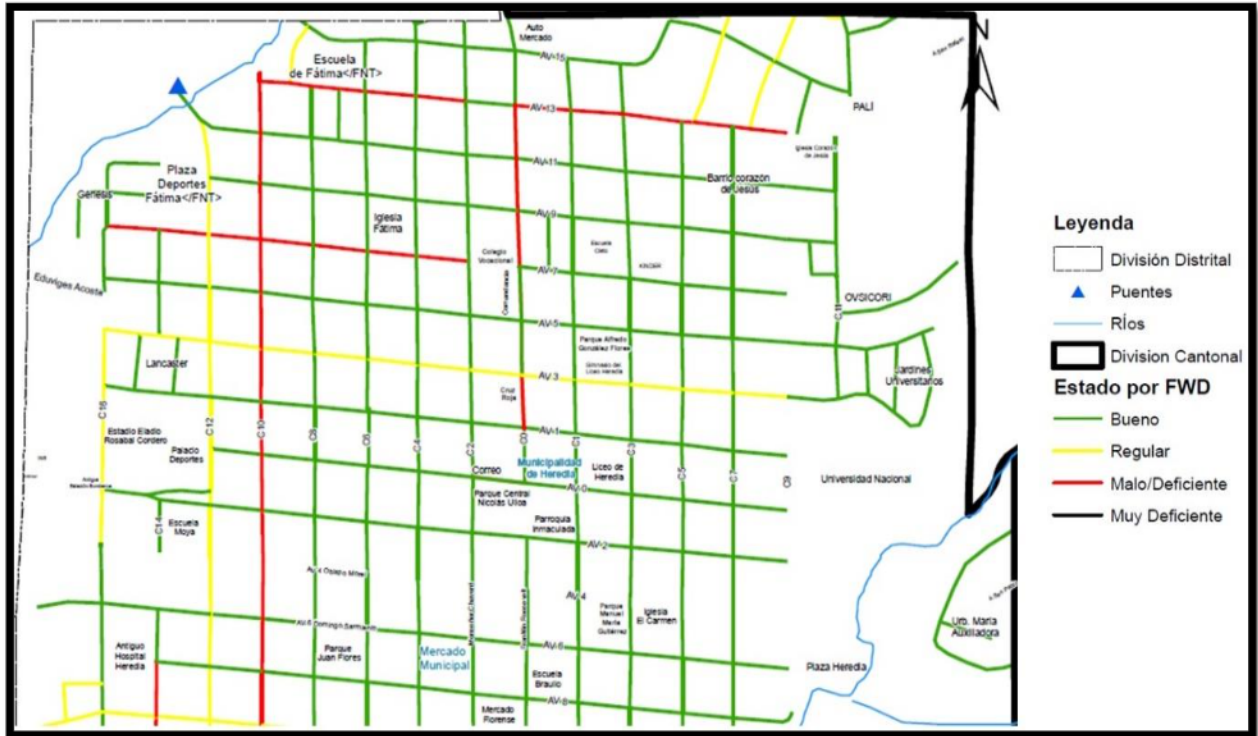
Por lo tanto, aplicando las metodologías anteriores basadas en la teoría de la curva de deterioro de un pavimento y la información recopilada del municipio herediano, se realizó la segregación de los recursos mediante el PAJ y, posteriormente, se realizan análisis de inversión bajo los criterios de priorización definidos. Para esto, se requiere el uso de métodos de análisis económicos con el fin de determinar la mejor opción. En este caso se

utilizó el método del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) utilizado en evaluación de proyectos de inversión; esto, corresponde a todos los ingresos y desembolsos convertidos en una cantidad anual uniforme equivalente en valor presente que es la misma cada periodo.

Contando con todo lo anterior, el SIG permite obtener tablas que, mediante filtro, conforman listas de tramos en distintas condiciones de deterioro, a los cuales, aplicando el proceso metodológico explicado anteriormente, mediante el uso de la MRR y el PAJ, se obtienen las listas de priorización. También, se obtienen mapas de la condición de los pavimentos de acuerdo con diferentes indicadores y gráficos, con información importante para que, en conjunto, de las demás herramientas mencionadas se puedan tomar decisiones. Además, es la base de datos la que permite mantener una constante alimentación de información y estar retroalimentando la información con el tiempo. A continuación, en las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 6 y 7, se muestran ejemplos sobre lo que se obtiene de dichas herramientas generadas:

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

*Condición vial del distrito Heredia de acuerdo con el FWD Promedio*

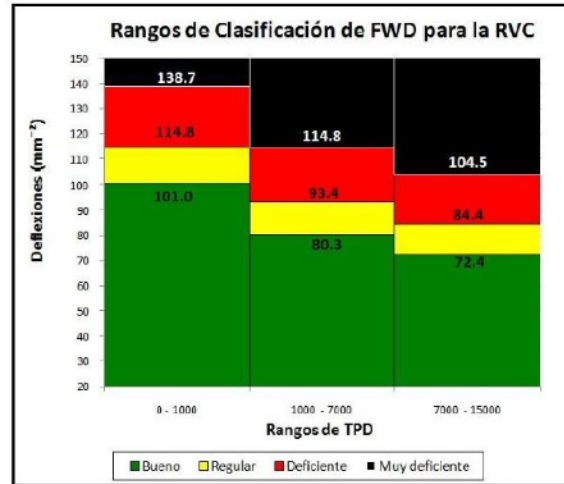


Nota: Datos de FWD provenientes del informe LM-PI-GM-INF-11-2017 del LANAMME (2017).

Lo anterior, se realizó para cada uno de los distritos y con cada uno de los indicadores medidos por separado. Para este caso, el FWD utilizó la deflexión máxima. La clasificación utilizada para los valores de deflectometría para una estructura con base granular son tomados a partir de un estudio realizado por el LANAMME, Proyecto LM-PI-GM-03-2014 (2014). En este proyecto, se determinaron rangos según las distintas categorías de TPD, de acuerdo con parámetros observados en la red vial cantonal. A continuación, se muestran los rangos propuestos por el LANAMME (ver Figura 6):

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

*Condición del pavimento para una estructura con base granular.*

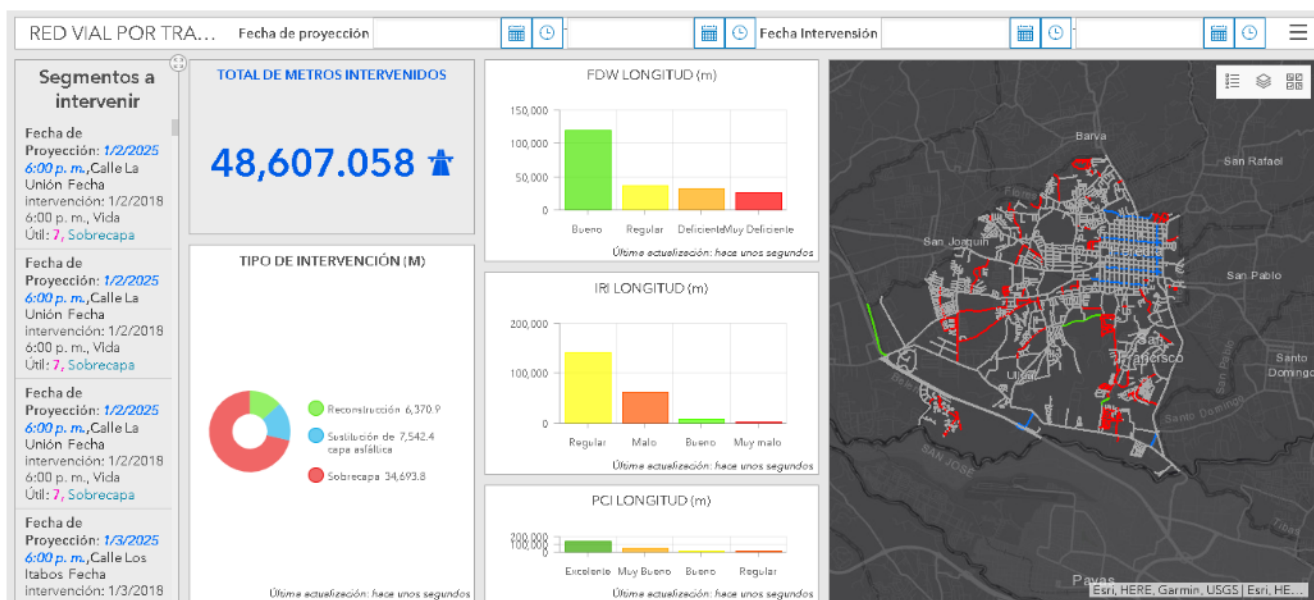


Fuente: LANAMME. (2014).

También, la plataforma SIG permite generar algunas aplicaciones interactivas, como un monitor que sirva como una herramienta de gestión de la información, donde se puedan monitorizar, analizar y mostrar de manera visual los indicadores clave. Asimismo, se pueden realizar consultas técnicas de acuerdo con la información disponible en la base de datos; por ejemplo, en el caso del municipio herediano, se pueden consultar el número de tramos que hay en cualquiera de las condiciones que se esté buscando y para cualquiera de los indicadores medidos, se observa en metros totales por condición e indicador. Esto para atender o supervisar tramos homogéneos y se puede realizar para toda la red vial del cantón de Heredia. A continuación, se muestra la Figura 7 con el ejemplo del monitor interactivo:

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

*Monitor interactivo de la red vial cantonal de Heredia basado en los resultados de los diferentes indicadores medidos*



Nota: Los datos de PCI, FWD e IRI provienen de los informes del LANAMME (LM-PI-GM-INF-03-16, LM-PI-GM-INF-08-2016, LM-PI-GM-INF-09-2017, LM-PI-GM-INF-10-2017 y LM-PI-GM-INF-11-2017).

En este monitor interactivo (ver figura 7), se observan los metros de tramos intervenidos y algunos de estos segmentos a intervenir con las fechas proyectadas, utilizando plazos de vida útil teóricas momentáneas, ya que no se cuenta con un historial de evaluaciones de los pavimentos del cantón que determinen la eficiencia de los diferentes tipos de alternativas de intervención y así alcanzar la exactitud. Sin embargo, las proyecciones siempre deberán monitorearse, sea con una fecha teórica o determinada con datos reales.

Además de gráficos, el SIG ayuda a obtener listas de priorización de tramos por intervenir.

Como se muestra en la Tabla, 2 se puede generar una lista de tramos con necesidades de intervención; en esta se clasificaron por nivel de red y proyecto, según su estado de condición y jerarquía vial.

**Tabla 2**

*Listas de priorización de intervenciones viales obtenidas*

Orden PAJ	Distrito	Ubicación	Código Camino	Nota J FDW	Nota J IRI	Nivel	Intervención	Actividad
-----------	----------	-----------	---------------	------------	------------	-------	--------------	-----------

1	Ulloa	Calle La Simona	401.025	J1-R	J1-M	Proyecto	Rehabilitación mayor	Reciclado y refuerzo
1	Ulloa	Aurora	401.088	J3-M	J3-R	Proyecto	Rehabilitación mayor	Estabilización capas granulares y refuerzo
1	Ulloa	Calle Portal Del Valle	401.023	J3-B	J3-R	Red	Rehabilitación menor	Sobrecapa
2	San Francisco	Calle Chucos	401.030	J1-R	J1-R	Red	Rehabilitación menor	Sustitución de capa asfáltica
2	San Francisco	Urb. Los Itabos	401.026	J1-M	J1-R	Proyecto	Rehabilitación mayor	Estabilización capas granulares y refuerzo
2	San Francisco	Urb. Santa Cecilia	401.085	J2-R	J2-M	Proyecto	Rehabilitación mayor	Reciclado y refuerzo
3	Heredia	Calle Guayabal	401.044	J1-M	J1-R	Proyecto	Rehabilitación mayor	Estabilización capas granulares y refuerzo
3	Heredia	Avenida 15	401.052	J1-M	J1-R	Proyecto	Rehabilitación mayor	Estabilización capas granulares y refuerzo
3	Heredia	Avenida 0	401.052	J1-R	J1-R	Red	Rehabilitación menor	Sustitución de capa asfáltica
4	Mercedes	Calle San Martín	401.016	J1-R	J1-M	Proyecto	Rehabilitación mayor	Reciclado y refuerzo
4	Mercedes	Calle Diamante	401.014	J1-R	J1-R	Red	Rehabilitación menor	Sustitución de capa asfáltica
4	Mercedes	Calle San Isidro	401.017	J2-F	J2-R	Proyecto	Reconstrucción	Reconstrucción
5	Vara Blanca	Calle San Rafael	401003	J1-M	J1-R	Proyecto	Rehabilitación mayor	Estabilización capas granulares y refuerzo
5	Vara Blanca	Calle Los Freseros	401198	J3-M	J3-R	Proyecto	Rehabilitación mayor	Estabilización capas granulares y refuerzo

Nota: La información de la Tabla 2 se obtuvo del análisis PAJ realizado mediante el uso de la información obtenida de los informes del LANAMME (LM-PI-GM-INF-03-16, LM-PI-GM-INF-08-2016, LM-PI-GM-INF-09-2017, LM-PI-GM-INF-10-2017 y LM-PI-GM-INF-11-2017) y la matriz MRR.

Además, en la Tabla 2, los tramos que aparecen fueron filtrados del SIG y son los que mayor necesidad de intervención tiene en cada uno de los cinco distritos, para invertir los recursos de acuerdo con el PAJ realizado. De esta forma, se pueden incorporar intervenciones de mantenimiento y conservación con el 70% de los recursos disponibles, e intervenciones de rehabilitación o reconstrucción con el 30% de los recursos, abarcando trabajos en todo el cantón. Para los proyectos cuyos fondos no alcanzan, se reconsideran

en cuanto existan recursos, ya sea en el siguiente documento presupuestario o en el siguiente año.

Es importante mencionar que, para determinar cuáles opciones atender, se debe realizar un análisis económico, para verificar cuáles tramos se pueden atender con los recursos disponibles; con el fin de programar las intervenciones y efectuarlas cuando corresponda.

Con las herramientas propuestas, se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Obtención de una Matriz de Mantenimiento, Rehabilitación y Reconstrucción creada de fuentes combinadas.
2. Incorporación de otras alternativas de intervención vial dentro de la MRR, que actualmente el municipio herediano no aplicaba.
3. Determinación de políticas institucionales que, marcan las fronteras dentro de las cuales las herramientas trabajarán sin salirse de ese margen y así garantizar que funcionen correctamente. Que busquen el objetivo de priorizar la atención de tramos viales por nivel de importancia según el PAJ realizado para los cinco distritos, considerando los factores sociales, ambientales, económicos del cantón de Heredia.
4. Criterios de priorización para la intervención vial cantonal de Heredia.
5. Umbrales y estándares de calidad deseados por el municipio herediano.
6. Base de datos digitalizada de los pavimentos en SIG, a través de tablas informativas.
7. Mapas de condición de los pavimentos del cantón de Heredia según indicadores.
8. Monitor interactivo con gráficos de control de la condición de los pavimentos del cantón de Heredia por distintos indicadores.
9. La herramienta ayuda a obtener listas de intervenciones viales a nivel de red o proyectos para priorizar su atención en el cantón de Heredia.

### Conclusiones

- Se estableció una metodología que le permite al municipio herediano gestionar sus pavimentos a través de un SIG, mediante una base de datos digitalizada. Esto será de ayuda para obtener lista de intervenciones viales a nivel de red o proyectos para priorizar su atención en el cantón de Heredia.
- Con estas herramientas, se segregan los recursos disponibles del municipio para la atención de carreteras por distritos, según corresponda su nivel de importancia, necesidades y por supuesto considerando la propuesta del 70% de los recursos para la atención a nivel de red vial con intervenciones de conservación y mantenimiento y el 30% para gestionar a nivel de proyecto, donde se utilizan los recursos para intervenciones de rehabilitación o reconstrucción de una forma focalizada en una sección de la red vial.
- Esta propuesta garantiza que los contribuyentes de la Municipalidad de Heredia vean reflejado sus impuestos en sus respectivos distritos con las inversiones que se ejecuten en pavimentos de forma justa, equitativa a nivel vial y transparentemente, ya que se realiza una priorización por tramos homogéneos, con un porcentaje del presupuesto destinado para la atención de las carreteras de cada uno de los cinco distritos. Por su puesto, el criterio experto en estos casos es de suma importancia ya que, en caso de necesidad, se podría usar recursos viales de un distrito para invertirlos en otro.
- Es necesario que los municipios se apoyen de laboratorios para realizar estudios y análisis del comportamiento de sus pavimentos, medir las condiciones de estos a través de diferentes indicadores y buscar técnicas que le permitan priorizar la inversión de recursos. Principalmente, porque las municipalidades son entes administradores que cuentan con escasos recursos para la totalidad de la red vial que les compete y esto maximiza la eficiencia en la inversión de los recursos disponibles.
- Esta propuesta permite iniciar un histórico de información para que, a futuro, la Municipalidad de Heredia aplique diferentes tipos de análisis con distintas mediciones tomadas a lo largo del tiempo. Se podrían determinar curvas de deterioro de los pavimentos propios del cantón si se cuentan con varias mediciones en el tiempo y así desarrollar modelos “mecánicos” empíricos para sus rutas.

## Recomendaciones

- Es recomendable realizar estudios y pruebas de laboratorio cada dos años, de manera ideal, como mínimo cada cuatro años, para recopilar la información en la base de datos y generar, a futuro, un histórico. Con esta acción se profundizará en los análisis y se mejorará el proceso de toma de decisiones. Además, se establecerían planes estratégicos de inversión a largo plazo, se podrían desarrollar análisis por ciclos de vida de los pavimentos y obtener mejores resultados a nivel de inversión de recursos, ya que los datos serían más focalizados en la red vial cantonal de Heredia.
- Se recomienda calcular el indicador PCI a nivel de proyecto con la metodología II (manualmente), ya que usando la metodología I, utilizando el Geo3D, puede ser conservador y no que se apegue a lo real, porque este proceso de auscultación se hace mediante videos del equipo Geo3D y no se realiza en campo por medio de un técnico. A diferencia de un video, en campo se puede medir y determinar la severidad y magnitud del deterioro. Ya con la información recopilada se puede hacer el proceso normado para el cálculo del PCI y obtener un resultado más preciso.
- Se deberá realizar una investigación local de los pavimentos del cantón a largo plazo, con el fin de obtener datos reales de plazos de vida útil para cada tipo de intervención vial ya que esta propuesta actualmente se basa en plazos teóricos. Esto determinaría la eficiencia de las intervenciones realizadas y en función de aplicarlas periódicamente, adicionalmente, se niveles de servicio o condiciones aceptables.
- Es recomendable que las herramientas consideren los diferentes tipos de deterioro de pavimentos flexibles, rígidos y semirígidos, con el fin de atender este tipo de carreteras con sus diferentes tipos de alternativas de intervención. Esto hace que la Matriz MRR tenga diferentes secciones según corresponda el tipo de pavimento. Sin embargo, es importante mencionar que los entes administradores de carreteras, no se deben limitar a estas herramientas, indicadores o criterios, ya que la gestión es un conjunto de actividades, que requieren ejecutarse de manera preventiva para evitar el deterioro prematuro de los pavimentos y para esto existen muchas metodologías, literatura, softwares y, sin duda, considerar el criterio experto en cada caso.
- Es importante contar con la disposición política de parte de las alcaldías a nivel administrativo, para que apoye la implementación de herramientas de gestión vial y

se desarrolle un proceso de gestión proactiva, sin que esta se vea interrumpida por cambios de intereses a nivel político o continuidad de gobiernos. Para lograr esto, se podría incluir políticas a planes de desarrollo de los entes administradores y vincular esto con el Plan Nacional de Transportes.

## Referencias

- Bull, A. (2003). *Mejoramiento de la gestión vial con aportes específicos del sector privado*. CEPAL - SERIE Recursos Naturales e Infraestructura, volumen N° 56, 5-58.
- Cruz, W. & Pabón, C. (2016). Gestión de Pavimentos a través de los SIG. [Conferencia]. *18 Conferencia Colombiana de Usuarios Esri*. Bogotá, Colombia.
- Díaz, H. (2013). Sistema Automático para la adquisición de imágenes de vías pavimentadas. *Revista Gerencia Tecnológica Informativa (GTI)*, 12(32), 61-78.
- Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, (2003). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Program*. [Manual de deterioros]. Publication No. FHWA-RD-03-031. Federal Highway Administration.
- LanammeUCR. Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal. (2014). *Informe LM-PI-GM-03-2014: Clasificación de los resultados obtenidos por el deflectómetro de impacto para la evaluación de la red vial cantonal de Costa Rica*. El Laboratorio.
- LanammeUCR. Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal. (2016a). *Informe LM-PI-GM-INF-08-2016: Diagnóstico de la red vial cantonal de San Francisco de Heredia*. El Laboratorio.
- LanammeUCR. Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal. (2016b). *Informe LM-PI-GM-INF-03-16: Diagnóstico de la red vial cantonal de Mercedes de Heredia*. El Laboratorio.
- LanammeUCR. Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal. (2017a). *Informe LM-PI-GM-INF-11-2017: Diagnóstico de la red vial cantonal de Heredia*. El Laboratorio.
- LanammeUCR. Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal. (2017b). *Informe LM-PI-GM-INF-10-2017: Diagnóstico de la red vial cantonal de Ulloa de Heredia*. El Laboratorio.

LanammeUCR. Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal. (2017c). *Informe LM-PI-GM-INF-09-2017: Diagnóstico de la red vial cantonal de Vara Blanca de Heredia*. El Laboratorio.

Macea, L., Márquez, L., Morales, L. (2015). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 17(número 2), 223-235.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2016). *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica MVA-2016*. MOPT.

Moya, L. (2015). *El uso de Sistemas de Información Geográfica para la planificación y gestión de infraestructura*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Secretaría de Planificación Sectorial.

Castro, P. (2019). *Rehabilitación y Mantenimiento de Carreteras* [Material del aula]. Tecnológico de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Miranda, F. (2019). *Planificación y Gestión Vial* [Material del aula]. Tecnológico de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Municipalidad de Heredia, Dirección de Inversión Pública (2020), *Usos de Suelo del Cantón*. La Municipalidad.

Municipalidad de Heredia, Unidad Técnica de Gestión Vial (2020), *Inventario Vial*. La Municipalidad.

Universidad Simón Bolívar. Departamento de Procesos y Sistemas PS4161 Gestión de la Producción I. (2020). [Descripción de la fuente]. <http://prof.usb.ve/nbaquero/Problema de PAJ.pdf>.

Instituto Meteorológico Nacional (2020), *Promedios mensuales de datos climáticos*. Departamento de Información. El Instituto.

Universidad Nacional (2020), Vulnerabilidad Intrínseca a la Contaminación de los Acuífero del Cantón de Heredia. La Universidad.

Instituto Nacional de Estadística y Censo (2020). Estimaciones y proyecciones de población. El Instituto.

The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), (1993). Guide for designing of pavement structures 1993. Washington D.C.