

# **GESTIÓN DE LOS ACTIVOS DE LA CARRETERA DENTRO DEL CONTEXTO DE UN DESARROLLO SOSTENIBLE Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

28 de septiembre 2011 (por la tarde)

## **TEMA ESTRATÉGICO D CALIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA CARRETERA**

### **INFORME DE INTRODUCCIÓN**

## CONTENIDO

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. CALIDAD DE LAS CARRETERAS Y DESARROLLO Sostenible .....	5
BIBLIOGRAFÍA .....	14
Conclusiones preliminares.....	14

## **RESUMEN**

El tema seleccionado para la Sesión D – Dirección Estratégica es “Gestión de los activos de las carreteras en el contexto de desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático”, el cual se ha dividido en cuatro temas principales:

- calidad del pavimento y desarrollo sostenible;
- gestión de activos y desarrollo sostenible;
- impacto del cambio climático sobre la calidad de las carreteras;
- investigación sobre carreteras y capacitación profesional.

Al parecer, es obvio que el desarrollo sostenible es una meta primordial a nivel global, y las carreteras no pueden estar ajenas al mismo, dado que es un componente fundamental del sistema mundial de transporte. La necesidad de alcanzar la sostenibilidad es tomada en cuenta desde la fase del diseño de la infraestructura de la carretera, y posteriormente en la de construcción, operación y mantenimiento de la misma. En la consecución de las metas participa toda una serie de actores: políticos, gerentes de oficinas de administración de carreteras, contratistas, institutos de investigación y capacitación profesional y, en conjunto, por ejemplo, pueden promover estrategias de desarrollo válidas, soluciones satisfactorias para llevar a cabo dichos trabajos, así como sistemas de gestión de activos, además de brindar los recursos humanos mediante una capacitación profesional eficiente.

Es fácil observar que en países desarrollados, conforme las carreteras han alcanzado un nivel sumamente alto de calidad, dentro del contexto de los cambios climáticos que afectan nuestro planeta, las inquietudes sobre el desarrollo sostenible de las carreteras se ha convertido en tema prioritario. De conformidad con la meta principal de la AIPCR, que es la de diseminar el conocimiento a países en vías de desarrollo, es necesario aprovechar la amplia experiencia práctica que se describe en los informes nacionales.

## **PRÓLOGO**

Como Coordinador de la Sesión D sobre Dirección Estratégica “Calidad de la Infraestructura de las carreteras”, quisiera agradecer a todos los países que han enviado su informe nacional, cumpliendo así con el deseo de la AIPCR de recopilar los puntos de vista de sus distintos países miembro. Hemos analizado los informes de 12 países: Alemania, Austria, Canadá-Quebec, Cuba, España, Estados Unidos, Hungría, México, Portugal, República de Eslovaquia, Rumania y Reino Unido.

El presente documento no proporciona detalles de cada uno de los informes nacionales, aunque sí incluye las características más importantes sobre la experiencia que tienen los distintos países en calidad de las carreteras y en la gestión de sus activos con miras a contribuir al desarrollo sostenible, así como a cubrir los impactos previsibles del cambio climático sobre la infraestructura de la carretera. De igual forma, este informe presenta de manera de sucinta varias ideas sobre la necesidad de extender la investigación y la capacitación profesional en carreteras.

**Gheorghe Lucaci, Rumania**

## 1. INTRODUCCIÓN

En general, las estadísticas sobre transporte que se han incluido en diversos informes nacionales muestran que el sistema de transporte carretero es el más importante tanto para el transporte de pasajeros, como de carga. No se espera que la estructura modal del sistema de transporte alrededor del mundo experimente un movimiento espectacular en el futuro. En consecuencia, es necesario seguir poniendo atención a la infraestructura de la carretera, desde todos los puntos de vista, como un elemento del sistema de transporte de la carretera.

Una infraestructura de alta calidad significa una red carretera segura, la cual brinda mayor comodidad un menor costo de transporte, sin perjudicar el ambiente. La infraestructura de la carretera moderna deberá adaptarse a los nuevos requerimientos según las necesidades de transporte e impactos ambientales.

Contra todos los antecedentes de la actual crisis energética, el consumo de energía es un factor sumamente importante cuando se construye, mantiene y opera la infraestructura de la carretera. Nuestros esfuerzos por reducir el consumo de combustible de los vehículos que transitan por la carretera deberán ir a la par de la promoción de tecnologías de bajo consumo de energía y una mejor condición técnica y diseño de las carreteras, así como de un mucho mejor servicio que facilite el flujo vehicular.

Si bien los países desarrollados cuentan con una infraestructura carretera sofisticada que está integrada al sistema de transporte en general, lo anterior no aplica a países emergentes y en vías de desarrollo: los presupuestos asignados para el desarrollo, gestión y mantenimiento es mucho menor a lo requerido. No obstante, hay que destacar que algunos de estos países desean aprovechar la transferencia de conocimiento de los países desarrollados, con el objeto de sacarle el mayor provecho al uso de los recursos financieros y materiales que tienen a disposición.

Los 12 informes nacionales revelan experiencias interesantes sobre la gestión eficaz de la red de la carretera, la garantía de que las obras se realizan con un alto nivel de calidad, el desarrollo sostenible de las carreteras, y el impacto del cambio climático sobre la calidad de las carreteras y su desempeño durante la operación.

Infelizmente, los informes nacionales que hemos recibido mencionan muy poco el problema de caminos no pavimentados (de terracería), aunque el desarrollo sostenible dentro del contexto de un cambio climático también incluye esta categoría de caminos.

Por supuesto, la investigación es fundamental y contribuye a los hallazgos de los informes, aunque consideramos que sería de mayor beneficio contar con una mejor administración de la investigación, sobretodo en países con posibilidades limitadas. De igual forma, cabe hacer notar que la capacitación profesional, factor fundamental para calificar al personal y que garantiza la disponibilidad de los recursos humanos, no ha sido cubierta en los informes que hemos recibido.

Aunado a los puntos seleccionados de los informes nacionales, parte de la información resultado de las actividades de los Comités Técnicos nos brindará temas desafiantes que servirán para los debates y discusiones que se llevarán a cabo, lo cual nos permitirá identificar la dirección más adecuada para las acciones a tomar en el futuro, no solo a nivel de asociación, sino como país a distintos niveles de desarrollo que deseen compartir nuestra experiencia.

## **2. CALIDAD DE LAS CARRETERAS Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

Podemos observar algunas inquietudes interesantes por cuanto toca a la calidad de las carreteras y el desarrollo sostenible de las redes de las carreteras. Generalmente, estas inquietudes se refieren a identificar la mayoría de las soluciones adecuadas dentro del marco de los planes maestros para la construcción de nuevos enlaces de la carretera y a mejorar la operación de las carreteras existentes mediante un mantenimiento eficiente. Los presupuestos para las carreteras, que con frecuencia son insuficientes o aprovechados deficientemente, pueden ser asignados de manera desequilibrada entre la inversión requerida -dado el continuo incremento de transporte por carretera- como por el financiamiento de actividades de mantenimiento de la carretera con miras a garantizar que la calidad de las carreteras cumpla con los requerimientos de los usuarios.

Una gran parte del esfuerzo se centra en desarrollar normas técnicas para las carreteras, las cuales establecen procedimientos claros para mejorar la sostenibilidad de la infraestructura de la carretera. Estas normas redundan en proyectos carreteros que minimizan el riesgo de contaminar el ambiente natural o el construido. Por lo tanto, las normas consideran la posibilidad de utilizar materiales reciclados y promover soluciones que permitan su reciclamiento posterior. Las autoridades y sus socios están involucrados en actividades innovadoras dirigidas a muchos aspectos de la construcción, mantenimiento y operación de la infraestructura de la carretera. Se ha reducido el tiempo que tarda para que los resultados se pongan en práctica. Los ejemplos de buenas prácticas incluyen modelos para reciclar las capas de los cimientos de concreto - cemento (Grietas y Sellos) y un documento que aborde el monitoreo ambiental de los proyectos (*Marco para la Gestión de Recursos Sostenibles*) [12].

Son varios los países, sobre todo los desarrollados, que cuentan con reglamentaciones jurídicas precisas sobre desarrollo sostenible, poniendo gran énfasis en los planes de transporte, en relación a los impactos que se tiene sobre el desarrollo sostenible mediante afectaciones ambientales, riesgo de accidentes, impactos sociales, consumo de recursos materiales y financieros, influencia sobre el cambio climático, etc. Estados Unidos ha iniciado una investigación para evaluar la sostenibilidad de proyectos de autopistas [6]. Los criterios serán aplicados para determinar el grado al que se considerarán todos los aspectos de desarrollo sostenible (la economía, el capital y medio ambiente) durante la planificación, diseño, construcción y operación de autopistas. Los criterios resultantes de sostenibilidad sobre autopistas serán aplicados experimentalmente a las autopistas existentes. Los criterios adoptados serán incorporados a una aplicación basada en la web, la cual podrá ser utilizada fácilmente por las empresas de transporte para evaluar la sostenibilidad de las autopistas. El diseño de las rutas de las autopistas es de suma importancia para su sostenibilidad, dado los impactos ambientales, económicos y sociales que deberán tomarse en cuenta durante la fase del diseño.

Las limitaciones son de índole físico (ecosistemas, etc.), financieros (el costo total contra la vida útil de la carretera) y vinculadas a necesidades humanas (las cuales incluyen seguridad y accesibilidad).

A fin de alentar técnicas innovadoras para la construcción de carreteras, así como la introducción de tecnologías novedosas para realizar estudios e investigaciones para verificar las características de los materiales y cuál es su comportamiento cuando son sometidos a los esfuerzos del tráfico en servicio bajo diversas condiciones hidrológicas y de temperatura. La simulación con carriles de pruebas aceleradas [11] es una técnica viable que brinda condiciones útiles mucho más rápidamente que los estudios que utilizan zonas experimentales en las carreteras. No obstante, este último enfoque no puede quedar de lado, ya que es absolutamente necesario el calibrar los modelos experimentales con base en condiciones reales. La investigación con el carril de prueba acelerada sirve de fundamento para investigar ciertas técnicas de construcción de carpetas de cemento – concreto; las cuales son compactadas mediante vibración o equipo convencional de compactación, aunque también se utiliza un refuerzo de fibra de acero obtenido de llantas usadas. Los estudios en cuestión se han realizado dentro del marco del programa “EcoLanes” (Carriles ecológicos) para investigar sobre el transporte en superficies sostenibles que forma parte del 6º Programa del Marco de la Comunidad Europea. Las pruebas a toda escala serán realizadas a fin de validar los resultados obtenidos a partir de carriles de prueba sobre caminos con distintos climas (4 tipos) en el Reino Unido, Chipre, Turquía y Rumania. Ya se ha destacado el potencial que tiene la prueba acelerada para verificar y afinar los modelos de diseño para estructuras flexibles sostenibles.

Las técnicas de construcción sostenibles para las estructuras de las carreteras generan estructuras capaces de beneficiarse del refuerzo subsecuente conforme van experimentando fatiga y una mayor tensión, las cuales tiene un impacto positivo sobre el medio ambiente, porque pueden reciclarse y generar menos contaminación (vibraciones, ruido) o utilizar materiales reciclados.

La promoción de tecnologías de reciclamiento en la construcción y mantenimiento de carreteras es de suma importancia para su sostenibilidad; aunque las soluciones en cuestión deben estudiarse exhaustivamente para asegurarse de que la calidad de las obras y el desempeño durante su operación no se vean afectadas. Un ejemplo importante de lo anterior es la experiencia de Austria [2], que realizó un estudio piloto para determinar las reglas prácticas para el reutilización del asfalto y promover su aplicación. La atención específica que se le da al reutilización del asfalto también queda demostrada por el hecho de que en algunas regiones 100% del asfalto es reciclado. Cabe también destacar que el uso de carpetas de rodamiento de concreto en carreteras con tráfico pesado muestra beneficios evidentes en su seguridad debido a una mayor luminosidad, como una alternativa a las carpetas asfálticas que son recomendadas para las zonas urbanas. Dichas carpetas de concreto también son adecuadas para su reciclamiento, generalmente después de ser trituradas como materiales de cimiento, ya sea sin aglutinantes o estabilizados con aglutinantes.

Un tema relevante es el ahorro de energía y la promoción de soluciones técnicas basadas en la energía recuperable. El reutilización de materiales de una estructura de carretera que ha llegado al fin de su vida útil, obviamente es una forma de aprovechar un gran potencial de la energía. No solo se trata de la energía regenerativa utilizada para construir nuevas capas de pavimento o en otras aplicaciones de la ingeniería de la carretera, sino que se evita la contaminación ambiental debido al apilamiento de materiales. Es posible garantizar que las obras donde se reutilizan materiales satisfagan los requerimientos

cumpliendo con las recomendaciones y normas desarrolladas dentro del marco de un gran número de estudios y proyectos de investigación realizados por expertos que trabajan en laboratorios de universidades o institutos de investigación. Un estudio llevado a cabo en Estados Unidos en 2007 mostró que el uso relativamente pequeño de asfalto reciclado se debe a una falta de especificaciones técnicas, una alta variabilidad en las características del asfalto que pudiera servir para su reciclamiento, una experiencia técnica no muy convincente y una falta de interés sostenible en el tema. Se han identificado tres direcciones preliminares de acción con miras a promover el reciclamiento del asfalto a gran escala: Establecer un grupo de expertos técnicos del sector público y la industria; realizar algunos proyectos coordinados de investigación que apunten a adaptar las regulaciones y procedimientos técnicos empleados en el diseño de las mezclas existentes y; contar con proyectos de demostración. Aunado al interés de reutilizar las carpetas de rodamiento bituminosas, el reciclamiento de otros materiales que contienen aglutinantes bituminosos provenientes de la industria de la construcción (cuando parte del techo de los edificios tiene que ser reemplazado) y el concreto de las carpetas de rodamiento resultan ser el detonador de actividades para promover el uso de energías renovables en la industria de la carretera. Anualmente se reciclan alrededor de 90 millones de toneladas de materiales [6].

En países emergentes y en vías de desarrollo, los caminos de terracería representan un gran porcentaje de la red carretera. El tránsito en estos caminos genera, sobretodo, una gran cantidad de contaminación ambiental debido al polvo que se produce durante el clima seco y el lodo, durante la época de lluvias. Estos caminos pueden llegar a ser intransitables, lo que se convierten en verdaderos “obstáculos” para la vialidad. Bajo estas condiciones, no es posible hablar sobre pavimentos sostenibles, ya sea desde un punto de vista ambiental, o con respecto a los impactos sociales, financieros o económicos. Las administraciones de carreteras en estos países deben hacer esfuerzos específicos para crear programas para cubrir algunos de estos caminos con pavimentos con carpetas asfálticas o de cemento. Las soluciones técnicas deberán ser sostenibles y la calidad de los pavimentos construidos en este marco debe cumplir con los requerimientos de los usuarios. Los caminos de terracería con una carpeta de rodamiento mejoran considerablemente las condiciones de tránsito vehicular y reducen drásticamente la cantidad de energía que consumen los vehículos. No obstante, hay que recordar que es necesario construir carpetas de rodamiento duraderas: para este fin se recomienda colocar una capa sobre la explanación (terraplén). [11].

La distribución irracional de los presupuestos para las carreteras entre la inversión y el mantenimiento de los activos existentes ha ocasionado el deterioro de la calidad técnica de los caminos existentes en muchos países. Bajo estas condiciones, donde generalmente existe una mayor necesidad de financiamiento que los fondos realmente se tienen disponibles, la planificación de las obras de mantenimiento debe ser optimizada en cuanto a su tipo, periodicidad y volumen, a fin de garantizar que las obras se realicen con alta calidad.

La asignación de recursos insuficientes para mantener las carreteras en buenas condiciones de servicio que cumplan con los requerimientos de los usuarios ocasiona - por la acumulación de los impactos negativos - un deterioro grave del pavimento y afecta considerablemente la seguridad, comodidad y eficiencia, además de ocasionar impactos negativos al ambiente. Es obvio que esta situación no conduce a contar con carreteras sostenibles. Las partes responsables (gobiernos, autoridades locales) deben tener muy clara esta situación y reconsiderar el financiamiento de actividades de mantenimiento a fin de mejorar las condiciones técnicas de las carreteras existentes.

El ejemplo del gobierno de Quebec que en 2007 lanzó el programa “las bases del éxito” es importante en este contexto [3]. La idea detrás del plan fue la de reconstruir un mantenimiento inadecuado durante 15 años y garantizar la durabilidad de toda la infraestructura pública de Quebec. Este plan se basa en los siguientes principios:

- Heredar una infraestructura de alta calidad a las futuras generaciones (equidad inter generacional);
- Poseer una infraestructura eficiente y moderna de alta calidad, la cual es condición fundamental para un desarrollo económico dinámico y armonioso;
- Garantizar seguridad y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos que hacen uso diario de la infraestructura pública.

El plan estuvo acompañado del apoyo financiero adecuado, que hizo posible llevar a cabo las obras planeadas. De igual forma, el gobierno creó un marco legislativo para implementar el plan aprobando la “Ley para promover el mantenimiento y renovación de las infraestructuras públicas”. Otro plan del gobierno de Quebec es el “Plan de Recuperación de la Red de la Carretera”, cuyo objetivo es que las carreteras de la red principal vuelvan a estar en condiciones de servicio y sean eficientes y seguras para los usuarios, además de optimizar los costos de inversión para su mantenimiento y recuperación. Las metas de calidad fueron establecidas para incrementar el porcentaje de carreteras con un buen nivel de calidad de 63% en 2007 a 83% en 2023, y aumentar el porcentaje de puentes que están en buenas condiciones técnicas de 53% en 2007 a 80% en 2023.

Promover obras con un desempeño de alta calidad exige de un marco normativo apropiado. Las administraciones de carreteras utilizan sus instituciones para organizar la creación de normas y guías técnicas para el diseño, construcción y mantenimiento de las carreteras. Existe cierto interés en tomar en cuenta y adaptar las normas técnicas que existen en otros países con tradiciones arraigadas sobre las carreteras, tal y como lo menciona Cuba en su informe [4]. Aunque las dificultades económicas de Cuba son las de un país en desarrollo, éste ha hecho un esfuerzo considerable en promover nuevas tecnologías en relación a las regulaciones (introducción de normas técnicas), tecnología para la construcción de nuevas obras y la rehabilitación de caminos existentes, asegurando así un desarrollo sostenible de sus carreteras.

Podemos aseverar que las carreteras de alta calidad, en sí mismas, son un reflejo de desarrollo sustentable, dado que son seguras, cómodas, eficientes y no afectan la calidad de vida y del ambiente. El marco regulatorio técnico garantiza que su diseño, construcción y operación cumple con los preceptos de desarrollo sostenible al reducir el consumo de energía y el nivel de emisiones NOx mediante el reciclamiento de materiales o desperdicios para la pavimentación de carreteras (energía renovable), y menor consumo de energía durante su operación.

En términos generales, las actividades del mantenimiento de carreteras se centran en la red de las carreteras principales, por la que transitan la mayor parte de los vehículos en todos los países, aplicando un método sistematizado para su mantenimiento que toma en cuenta la carga vehicular, las condiciones técnicas de las carreteras y el uso eficiente de los recursos presupuestales con miras a satisfacer las necesidades presentes y futuras de los usuarios de las carreteras.

El mantenimiento sistematizado puede ofrecer lo siguiente [1]:

- La garantía de contar con un servicio uniforme en las carreteras, de conformidad con su categoría funcional;
- Las carreteras pueden seguir teniendo un nivel de calidad adecuado a largo plazo;
- Apoyar a las administraciones de carreteras en la calendarización de obras y proporcionar los presupuestos necesarios para las actividades de mantenimiento, y brindar un verdadero apoyo para llevar a cabo estas actividades.

La evaluación sobre las condiciones de estas carreteras hace posible crear una base de datos técnica que con el uso de técnicas de software altamente eficientes se puedan optimizar las actividades de mantenimiento sobre la red de las carreteras.

Actualmente contamos con una impresionante cantidad de equipo de laboratorio y de campo con programas computacionales del ramo para investigar sobre la calidad de los pavimentos, estructuras (puentes) u otras estructuras auxiliares de una manera más efectiva en costos. Es importante programar esta actividad a fin de que los datos obtenidos puedan ser utilizados para modelar el comportamiento de la carretera durante su operación y pronosticar cómo cambiará en el futuro. Bajo estas circunstancias, es posible optimizar la planificación de las obras de mantenimiento -para lo cual se le asignará un presupuesto- y reducir así el gasto total sobre la infraestructura del transporte; ciertamente esto constituirá el gasto que implican los estudios de carreteras, así como las demás actividades relacionadas.

### **3. GESTIÓN DE ACTIVOS Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

El concepto de desarrollo sostenible tiene muchas aplicaciones con respecto a la infraestructura de rodamiento para el transporte. Las más importantes son las facilidades para el transporte terrestre, dado que la mayoría de las actividades de transporte son realizadas vía la red de la carretera lo que, en consecuencia, constituye una gran proporción de la superficie construida en una zona. Por lo tanto, es obvio que debería darse atención especial a la forma en que se construye, mejora y maneja la infraestructura carretera.

La necesidad de gestionar los activos de la carretera debería coadyuvar a las metas de desarrollo sostenible conservando y mejorando los caminos existentes, ampliando las redes mediante la construcción de nuevos caminos, manteniéndolos y operándolos utilizando métodos eficientes con costos mínimos que logren el máximo de impactos en cuando a calidad.

Cada uno de los países cuenta con un enfoque específico al desarrollo sostenible de las redes de las carreteras. La experiencia de México [8] muestra dos direcciones primordiales de acción:

- La identificación y aplicación de modelos de asociación pública-privada para complementar las finanzas públicas disponibles, las cuales siempre son inadecuadas para mantener y mejorar los activos de las carreteras;
- La imposición de una serie de requisitos a los administradores y concesionarios privados de carreteras, respecto al uso de datos confiables y herramientas eficientes para la gestión de las carreteras para realizar sus tareas asignadas, principalmente: evaluar la viabilidad económica y financiera de los proyectos carreteros, desarrollar programas de mantenimiento preventivo para todas las carreteras (ya sea que sean operadas por el sector público o privado), evaluar el desempeño de los concesionarios, estimar las obras de mantenimiento carretero necesarias dentro del

marco de Sociedades Público-Privadas y preparar los términos de referencia para las nuevas concesiones.

En 2001, después de su experiencia de aplicar un Modelo Estratégico de Simulación de Mantenimiento de Carreteras (RMSSM, *Road Maintenance Strategy Simulation Model*), México comenzó a utilizar el sistema HDM-4 que ha sido desarrollado y promovido por la AIPCR. Aún cuando la gran cantidad de datos que se requieren para aplicar el sistema genera algunas dificultades en la recopilación de los mismos, la aplicación de este modelo en muchos países del mundo muestra que tiene varias cualidades: los programas de obras generados por el HDM-4 satisfacen las necesidades de mantenimiento de una mejor manera, la optimización en el uso de los recursos es más confiable, la configuración de los análisis y la selección de las opciones es más flexible, y los cálculos son más rápidos. A fin de aprovechar al máximo las posibilidades del modelo, se ha diseñado otro programa computacional conocido como "Sistema de Información sobre Pavimentos" (PIS, "*Pavement Information System*"); el cual es utilizado para gestionar todos los datos requeridos por el modelo, generar archivos de entrada y reunir resultados a fin de producir informes personalizados que están diseñados para ayudar en la toma de decisiones de las administraciones de carreteras.

La gestión de carreteras está cubierta en casi todos los informes nacionales que hemos analizado. Esta es un área donde se ha logrado un avance sobresaliente con respecto al desarrollo de modelos eficaces para planear las obras de forma que se haga un uso óptimo de los recursos disponibles. Esto es posible gracias a la disponibilidad de una base de datos técnicos que describe la condición de las carreteras sobre la base de indicadores específicos que se relacionan con la capacidad de resistencia de la estructura, la uniformidad del desgaste, la rugosidad de la superficie y el deterioro de la carpeta de rodamiento del pavimento. Algunas administraciones utilizan el índice acumulado de la condición técnica de la carretera, aunque la forma en que éste se construye varía en gran medida. Alemania está relacionado con este tema, pues aplica un indicador de uso de carretera que genera un valor del usuario, donde el énfasis está en la comodidad y seguridad, así como un indicador estructural que representa la condición técnica de la estructura del pavimento, que es el de mayor interés para el organismo público de administración. [1].

Ha habido avances en sistemas de gestión de infraestructura de carreteras, tanto para carreteras (PMS) como para puentes (BMS). El informe de Alemania menciona una aplicación interesante, la cual actualmente está en desarrollo, principalmente un sistema de gestión para caminos secundarios.

Un problema relativo a la aplicación de estos sistemas de gestión de carreteras de alto desempeño, el cual generalmente se limita a países emergentes y en vías de desarrollo, es la dificultad de crear y mantener una base de datos técnicos que es fundamental para la planeación óptima de las obras de mantenimiento. Los recursos financieros limitados, que en muchos casos son totalmente inadecuados, dificultan la obtención del equipo de alto rendimiento que se requiere para adquirir los datos (los cuales o son comprados a instituciones públicas involucradas en estudios e investigaciones, o se obtienen dentro del contexto de contratos de servicio o concesión para realizar los estudios).

Sin embargo, es importante hacer todos los esfuerzos posibles para crear las condiciones en las que puedan aplicarse los sistemas de gestión de carreteras de alto rendimiento. El desarrollo sostenible de la red de la carretera -que incluye no solo construir nuevas carreteras, sino también mejorar las existentes mediante una ampliación eficiente de los activos- sólo es posible con la aplicación de estas técnicas que son el resultado de diversos programas de investigación de carreteras en los que la AIPCR ha participado.

Como resultado de la complejidad de las interdependencias que debe considerarse, la capacidad funcional de las carreteras solo puede mantenerse de una manera eficiente y eficaz aplicando un enfoque de gestión de mantenimiento exhaustivo que utilice sistemas de gestión computarizados. El mantenimiento sistematizado de carreteras puede incrementar la transparencia general del proceso de toma de decisiones y brindar una herramienta fehaciente para cuantificar los recursos financieros que se requieren y convencer a los tomadores de decisiones sobre políticas de la necesidad que existe de actuar a tiempo y de asignar suficientes recursos financieros [1].

A fin de brindar los fondos necesarios para el desarrollo de carreteras, se pueden promover una diversidad de modelos de financiamiento que movilicen recursos tanto del sector público como del privado, con objeto de garantizar que los presupuestos de los países en cuestión no se vean afectados en el largo plazo por impactos negativos que generen desigualdades inter generacionales. El modelo de Portugal es importante [9]. Este promueve la Sociedad Público Privada (PPP, *Public Private Partnership*), contratos de concesión que son vistos como un verdadero medio para el desarrollo acelerado de la infraestructura de las carreteras y mejora de los servicios que se le brindan al usuario. La aplicación intensiva de las PPP fue el factor clave de éxito del *Plan Nacional de Infraestructura*, el cual fue lanzado en 1998 y estableció modernizar la red de carreteras de Portugal completamente. La PPP es también el instrumento utilizado para la construcción de nuevas autopistas.

#### **4. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA CALIDAD DE LAS CARRETERAS**

El cambio climático es un fenómeno global que, entre otras cosas, puede modificar las condiciones de operación de las carreteras, al cambiar ciertos aspectos de desempeño de la misma. Los cambios en cuestión afectan las cualidades funcionales y estructurales de las carreteras y tienen un impacto directo sobre la calidad del servicio que se les brinda a los usuarios.

En nuestra opinión, como ingenieros de carreteras, es necesario tomar en cuenta los pronósticos de los expertos en cambio climático a fin de realizar las modificaciones correspondientes a las carreteras, así como analizar hasta qué grado la construcción y operación de carreteras -que son las responsables de la mayoría del transporte, según corresponda- influye sobre el cambio climático. Por ende, es posible identificar la interdependencia que existe entre las carreteras y el cambio climático. En relación a esta cuestión, nuestro tema estratégico versa sobre este primer aspecto, principalmente el grado en que el cambio climático afecta la calidad de las carreteras, las características necesarias de los materiales, la adaptación de técnicas y tecnologías para la construcción de carreteras, la necesidad de reconsiderar ciertas normas en relación con la operación de las carreteras, etc. En general, todos estos efectos sobre el cambio climático deben tomarse en cuenta como parámetros que influyen las estrategias que deben desarrollar los administradores de carreteras.

Los principales factores que estamos considerando respecto al posible impacto del cambio climático sobre las carreteras son un incremento de temperatura debido al calentamiento global (temperaturas promedio y extremas), aumento de precipitaciones pluviales, deshielo de casquetes glaciares, incremento de los niveles del mar, y cambios en los regímenes de aguas subterráneas que son responsables de deslaves, avalanchas e incendios.

Canadá-Quebec es líder en esta área y ha adoptado una serie de políticas para reducir el impacto del transporte sobre el cambio climático, fundamentalmente buscando reducir un 20% las emisiones de gas efecto invernadero para el 2020, meta comparable a la de la Unión Europea [3]. En relación a adaptar las carreteras al cambio climático, el Ministerio de Transporte de Quebec está involucrado en actividades de investigación con universidades y otros asociados en cinco áreas prioritarias: la vulnerabilidad de aeropuertos al deshielo del permafrost, la vulnerabilidad de la infraestructura marítima como resultado del deshielo de los casquetes glaciares, y un aumento de tormentas y erosiones costeras, la disminución de los niveles ribereños y un aumento en el número de ciclos de congelación-deshielo. Lo anterior puede ocasionar daños específicos a los pavimentos con un impacto directo sobre las condiciones del tráfico.

Podemos identificar dos formas para responder a los problemas generados por el cambio climático: primero, respuestas de protección, cuyo propósito es la de atenuar el impacto del transporte carretero que, en general, reducen las emisiones de productos dañinos considerados como causantes del cambio climático y; segundo, respuestas de adaptación, que consisten en medidas específicas para reducir el daño ocasionado por el cambio climático, o inclusive evitarlo completamente. Por lo tanto, podemos mencionar los siguientes enfoques para adaptar la red de la carretera a los efectos adversos del cambio climático:

- Adaptar las estrategias de calendarización de obras a fin de tomar en cuenta los riesgos asociados con el cambio climático;
- Crear un inventario de carreteras afectadas, a fin de evaluar la situación actual y brindar una base para decidir las medidas a tomar;
- Agregar datos sobre cambio climático a los sistemas de información pública;
- Realizar programas de investigación científica para modificar vehículos e infraestructura de la carretera.

Dentro del contexto actual, que también se ve afectado por una crisis económica, es necesario aplicar tecnologías modernas y eficientes para la construcción, mantenimiento y operación de las redes de carreteras.

En pos de soluciones adecuadas, la influencia del cambio climático deberá ser considerada como un factor de riesgo desde la fase de diseño de las carreteras. La vulnerabilidad de la infraestructura del transporte a factores de riesgo específicos y cambio climático varía de acuerdo a la región y el contexto ambiental. Por ejemplo, en zonas costeras deberá ponerse mucho mayor atención al incremento de los niveles del mar, erosión de costas, tormentas tropicales, ciclones y forma en que éstas se propagan [6]. Un estudio realizado por la Universidad de Alabama del Sur llegó a la conclusión que aproximadamente 60,000 millas de carreteras en Estados Unidos están expuestas en zonas costeras.

Uno de los criterios para verificar la validez de ciertas soluciones al diseño de carreteras o materiales seleccionados es su capacidad para soportar el cambio climático [10]. Considerando tan solo el régimen de temperatura y la cantidad de precipitación pluvial, podemos mencionar los siguientes efectos:

- Durante el desarrollo del proyecto: el diseño de la gradiente longitudinal y transversal de la carretera, el perfil transversal del pavimento y la gradiente mínima y máxima de las zanjas, etc.;
- La selección de materiales, resistencia a la deformación permanente, protección de la estructura contra el congelamiento;

- La elección de tecnologías: el desempeño de explanaciones (terraplén) y la estabilización de la tierra (explanada mejorada);
- El diseño del sistema de drenaje.

Con base en el análisis de clima y escenarios actuales sobre el cambio climático hasta el año 2100, los meteorólogos han llegado a las siguientes conclusiones parciales, relevantes para el sector de las carreteras:

- El cambio climático ocasionará un cambio en las temperaturas anuales promedio del aire, las cuales continuarán ascendiendo (hasta el 2100);
- Ascenderán las temperaturas mínimas del aire, se incrementará el número de días cuando la temperatura exceda el punto de congelación, y, durante el verano, aumentará el número de noches con una temperatura mínima por arriba de los 18°C o hasta 20°C;
- Los incrementos anticipados en la temperatura del aire y en los niveles de precipitación tenderán a aumentar las lluvias intensas, las tormentas eléctricas y los fuertes vientos, así como la cantidad e intensidad de las heladas durante el invierno (así como un mayor riesgo de niebla densa).

Debemos aceptar que se requiere modificar urgentemente las normas técnicas y formular reglamentaciones correspondientes a las medidas tomadas. De igual forma, es necesario desarrollar actividades de investigación para encontrar respuestas para lo que todavía no tenemos una solución técnica.

## **5. INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN PROFESIONAL SOBRE CARRETERAS**

El análisis de los informes nacionales muestra que el desarrollo sostenible representa un reto importante en el sector de las carreteras en todas las etapas de la implementación de los proyectos y a lo largo de toda la operación de las carreteras (estudios preliminares, diseño, construcción, mantenimiento y operación).

Cabe señalar que existe un fuerte enfoque sobre la investigación fundamental y aplicada que apunta a incrementar el desempeño de pavimentos en servicio como resultado de los materiales que constituyen las capas del pavimento, las técnicas y tecnologías aplicadas, métodos para el monitoreo del comportamiento del pavimento a largo plazo y los cambios en sus condiciones técnicas, etc. Existe un gran interés en resolver estos problemas, tanto entre las instituciones públicas que gestionan las carreteras –para quienes mejorar la calidad de los caminos a los usuarios es útil y dentro de sus responsabilidades- así como entre los otros actores, particularmente contratistas que deben realizar obras de buena calidad con un buen desempeño técnico a largo plazo, un riesgo mínimo de deterioro y una alta eficiencia económica.

Los informes no nos han arrojado información sobre la organización de las actividades de investigación, aunque existen referencias frecuentes de un número de programas para promover nuevos materiales, tecnologías y estrategias, técnicas para estudios de puente y caminos altamente eficientes, modelos para optimizar los procesos de toma de decisiones. Esto claramente muestra que en muchos casos dichas actividades son coordinadas por los ministerios y participan una serie de asociados.

La gran inversión que se requiere para las actividades de investigación sostenibles con frecuencia plantea problemas, particularmente en el caso de países con recursos financieros limitados (por ejemplo, países emergentes o en vías de desarrollo). Una forma

de darle vuelta a este problema es alentar programas de investigación transnacionales que involucren a las instituciones públicas, universidades y agentes económicos.

De igual forma, casi no hubo comentarios en los informes nacionales sobre las actividades de capacitación. Sin embargo, los informes mencionan la necesidad de que el personal que trabaja en el sector de las carreteras reciban capacitación para asegurarse de que entiendan los retos del desarrollo sostenible y así puedan actuar según corresponda y, sobretodo, aplicar su conocimiento para realizar obras de alta calidad con buena sostenibilidad.

Un aspecto importante de la capacitación profesional es asegurarse que la capacitación se vaya impartiendo durante la carrera profesional de los estudiantes, con diversos tipos de capacitación práctica. En este contexto las universidades deberán brindar una amplia gama de alternativas que satisfagan las necesidades de la sociedad.

De igual forma se pueden impartir una serie de cursos de capacitación profesional mediante sistemas de docencia regional. Un ejemplo de este tipo es el sistema crediticio transferible europeo, donde los estudiantes tienen una mayor posibilidad de intercambio con una gama de oportunidades educativas.

Las actividades de capacitación profesional y de investigación están estrechamente relacionadas y, sin excepción, ambas existen en buenas universidades. La cooperación entre universidades y operadores económicos coadyuva a mejorar el rendimiento y hace posible explotar las cualidades de cada asociado.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Alemania – *National report ST D, Quality of road infrastructure*
2. Austria - *National report ST D, Quality of road infrastructure*
3. Canadá-Quebec - *National report ST D, Quality of road infrastructure*
4. Cuba - *National report ST D, Quality of road infrastructure*
5. España - *National report ST D, Quality of road infrastructure*
6. Estados Unidos de Norteamérica - *National report ST D, Quality of road infrastructure*
7. Hungría - *National report ST D, Quality of road infrastructure*
8. México - *National report ST D, Quality of road infrastructure*
9. Portugal - *National report ST D, Quality of road infrastructure*
10. Eslovaquia - *National report ST D, Quality of road infrastructure*
11. Rumania - *National report ST D, Quality of road infrastructure*
12. Reino Unido - *National report ST D, Quality of road infrastructure*

## **CONCLUSIONES PRELIMINARES**

Mejorar la calidad de la infraestructura de las carreteras mediante una gestión de activos eficiente y de conformidad con los requerimientos de los usuarios y gobiernos, en tanto nos adaptamos al cambio climático, es una de las principales metas de esta profesión; por lo tanto, implícitamente de nuestra Asociación.

Aún cuando los cambios en la tecnología, la sociedad y el ambiente están ampliando el campo de acción de las autoridades de autopistas, la gestión de la infraestructura de las carreteras sigue siendo su inquietud primordial. La necesidad de utilizar presupuestos de forma más eficiente significa que los recursos financieros deben distribuirse de forma equilibrada entre la construcción y el mantenimiento de las carreteras.

El evaluar los presupuestos necesarios para garantizar un mantenimiento óptimo de las carreteras y una distribución equilibrada de los recursos asignados a sus distintas categorías, tomando en cuenta las limitaciones financieras y el impacto sobre el ambiente, debe constituir el principal objetivo de las administraciones.

Las estructuras de las carreteras deben ser de alta calidad para lograr extender el servicio lo más posible y adaptarse al cambio climático. Los materiales y técnicas que se utilizan en las obras de las carreteras deberán generar la menor cantidad de emisiones de carbono posible (huella de carbono).

Las obras relativas a puentes, ya sea que se trate de estructuras existentes o de nuevas construcciones, deben tomar en cuenta el cambio climático en el ámbito de construcción, mantenimiento y operación de los mismos. Estos aspectos son manejados eficazmente mediante una administración eficiente del inventario de puentes existentes, en relación a sus características funcionales (capacidad de soporte) y exposición al riesgo durante su operación.

Las explanaciones (terraplenes) y caminos de terracería representan un importante problema. Se debe poner énfasis al uso óptimo de los materiales de la localidad, así como a la aplicación de técnicas eficaces de mantenimiento, sobretodo en países en desarrollo. La ampliación de las redes de carreteras y la mejora a los caminos de terracería debe ser abordado desde un punto de vista práctico y adecuado, tomando en cuenta la necesidad que existe de contar con un desarrollo sostenible, en particular con respecto a la accesibilidad y creciente movilidad.

Se deberán promover soluciones adecuadas que promuevan el ahorro de energía, a la vez que se mejora la calidad del pavimento. Las soluciones en cuestión deberán considerar: diseño, construcción, mantenimiento y operación. El consumo de energía durante el transporte se reduce considerablemente con carreteras con cualidades funcionales, aunque también pueden utilizarse energías renovables a gran escala en el área de las carreteras.