



Certificación ISO 9001:2008 ‡

ALGUNAS ACCIONES IMPLEMENTADAS EN MÉXICO POR EL CAMBIO CLIMÁTICO, Y SU PERSPECTIVA FUTURA

María Guadalupe López Domínguez
Rodolfo Téllez Gutierrez

**Publicación Técnica No. 373
Sanfandila, Qro, 2013**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**ALGUNAS ACCIONES IMPLEMENTADAS EN
MÉXICO POR EL CAMBIO CLIMÁTICO, Y SU
PERSPECTIVA FUTURA**

Publicación Técnica No. 373
Sanfandila, Qro, 2013

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte -en el Área de Medio Ambiente- por la M. en C. María Guadalupe López Domínguez; con las aportaciones del Coordinador de Infraestructura, el M. en C. Rodolfo Téllez Gutierrez.

Índice

Resumen		v
Abstract		vii
Resumen	Ejecutivo	ix
Capítulo 1.	Introducción	1
Capítulo 2.	Contaminación, Cambio Climático e Infraestructura carretera	3
Capítulo 3.	Acciones de adaptación y mitigación	11
Capítulo 4.	Perspectivas para el futuro	39
Capitulo 5.	Conclusiones	41
Bibliografía		43

Resumen

El presente documento muestra algunas de las acciones y medidas implementadas en la infraestructura carretera en el Sector Transporte, las que han sido identificadas como acciones de mitigación y adaptación al cambio climático y para la reducción de GEI y CO₂ tanto en México como en otros países. Se presentan los siguientes casos: implementación de materiales reciclados en mezclas asfálticas (RAP) en un tramo de prueba; cálculo de la huella de carbono en un proyecto de infraestructura; manejo de biotecnología en conservación de vegetación en taludes; innovación en asfaltos bloqueadores de radiación solar, para la disminución del calor en carpetas asfálticas; y, finalmente, el instrumento normativo reciente en materia ambiental en el país. El trabajo concluye con recomendaciones para futuros análisis y perspectivas en México.

Abstract

This document shows some of the actions and measures being undertaken in road infrastructure in the Transport Sector, identified as mitigation and adaptation to climate change and reducing GHG and CO₂, in Mexico and other countries, those cases are the following: the implementation of recycled asphalt mixtures (RAP) in a test section, the calculation of the carbon footprint in an infrastructure project, management of biotechnology in conservation of vegetation on slopes; innovation in asphalt solar radiation blockers, to reduce heat in pavement and finally the recent regulatory instrument in the country about environmental. It concludes with recommendations for future analysis and prospects in Mexico.

Resumen ejecutivo

Entre los mayores retos actuales en materia ambiental tenemos los efectos que producen el cambio climático así como la reducción de factores que contribuyen. El Sector Transporte tiene una fuerte contribución sobre los factores que inciden en la magnitud de estos cambios. Sus principales contribuciones son debidas a la quema de combustibles fósiles, a lo que se le suman actividades como cambios de uso de suelo, explotación de materiales, entre otras; el resultado es la emisión de dióxido de carbono (CO₂) junto con otros gases que afectan la calidad del aire, cuya acumulación produce un incremento en la retención de radiación solar cerca de la superficie terrestre; lo que causa aumentos en la temperatura y el calentamiento global.

Estos gases son los llamados gases de efecto invernadero (GEI), que han existido de manera natural en el ambiente, por siglos; su función es la de retener la radiación solar captada durante el día para mantener la temperatura de la Tierra durante la noche. Un incremento en su concentración modifica la radiación que es retenida, aumenta la temperatura y afecta la evaporación de océanos, deshielo de los polos, incrementos y descensos extremos en las temperaturas, etcétera. Aunque se habla de GEI, nos estamos refiriendo a una mezcla de gases con propiedades similares, dada su importancia y volúmenes en los que es emitido por varias actividades, incluido el transporte, la unidad de referencia para los GEI es el dióxido de carbono (CO₂) y las equivalencias de potencial de calentamiento que tienen otros gases en relación a este. La unidad de medida es dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq). El CO₂ se emite a la atmósfera principalmente por la quema de combustibles fósiles; por lo que las principales acciones y medidas están enfocadas a reducir el consumo de energía, cuya fuente son estos combustibles así como el evitar la sobreexplotación de materiales, aumentar los sumideros y zonas de captación de CO₂.

Los pronósticos sobre las consecuencias de calentamiento global (CC) van desde el aumento del nivel del mar -de entre 18 y 59 cm, para el 2100- lo que amenaza con desaparecer zonas costeras e islas pequeñas, y una mayor frecuencia y severidad de fenómenos climáticos extremos. Los costos económicos pueden cuantificarse más claramente, pero existen otros -sociales y medioambientales- que no han sido cifrados. Si continuamos con la tendencia de los últimos años incrementando los GEI, un aumento de más de 2°C, producirá escasez de alimentos y de agua, fenómenos meteorológicos graves y amenazas para los ecosistemas únicos.

Las emisiones generadas por las diferentes actividades involucradas en el sector afectan al medio ambiente y ahora existe el reto y la prioridad de disminuir las

emisiones que contribuyen al cambio climático global, y es parte prioritaria en la agenda ambiental a nivel nacional e internacional.

El considerar todos los impactos ambientales e integrarlos al proceso de construcción, mantenimiento y operación de los proyectos carreteros ayuda a visualizar medidas de mitigación en estos, que analizando un proceso aislado pueden llegar a omitirse. Las evaluaciones sobre la generación de GEI en los proyectos y las mejoras de mantenimiento, sustitución de materiales, análisis de emisiones generadas por actividades dentro de un proyecto carretero, implementar mejoras en los diseños de pavimentos, el optar por prácticas ambientalmente más amigables son en parte la contribución del sector hacia un desarrollo sustentable; sin dejar de ser eficientes en otros aspectos igual de importantes como lo son la calidad de ingeniería y la seguridad vial.

La cuantificación, en primera instancia, de qué tanto contribuye la infraestructura al CC es punto de partida para el análisis de los métodos y acciones por implementar para fomentar las practicas en el uso de reciclado, medidas como la revegetación y reforestación por acciones de obra y las opciones en el control de insumos para reducir energéticos y combustibles fósiles; lo que conlleva a prácticas en un futuro próximo y su implementación. Los proyectos del Sector, en especial los de infraestructura, deberían comenzar a contar con una hoja de cálculo sobre las emisiones generadas por el proyecto en cuestión y una mitigación en números de CO₂ sobre lo que es posible mitigar en acciones y actividades específicas, dentro del proyecto en lo que ahora conocemos como la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), donde se planean y programan las actividades respecto a la mitigación ambiental.

El análisis de los proyectos desarrollados actualmente a nivel mundial, empleando herramientas informáticas para las evaluaciones ambientales, está la ayuda a generar bases de datos y a ajustar la metodología a ser más precisa en el cálculo de emisiones, gastos y generación de índices ambientales. Existe un gran campo de mejora para dichas herramientas; sin embargo, lo generado a la fecha representa un buen avance en materia ambiental. Estas bases forman los cimientos en las calculadoras de carbono.

Con respecto a la innovación tecnológica, en el caso de asfaltos reciclados (RAP) es técnica y económicamente factible el uso de materiales RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) en la fabricación de nuevas mezclas asfálticas para pavimentos flexibles. Existe la factibilidad ambiental en el uso de materiales RAP, que minimiza el uso de material virgen y previene la sobreexplotación de reservas naturales; mitiga el manejo y acomodo de los desechos productos del fresado y demolición de mezclas asfálticas. El uso de estos materiales aún se encuentra en pruebas de laboratorio; sin embargo, la necesidad y tendencia mundial están acelerando su investigación. Los resultados muestran cada vez más la eficiencia, sostenibilidad y seguridad al emplear materiales reciclados; y así como la Ley de Cambio Climático ya es una realidad, es de esperarse nuevos instrumentos normativos en este ámbito para la normalización y estandarización de materiales

recicladados, no solo por su beneficio ambiental sino también por su contraparte de ahorros económicos.

El cemento asfáltico es 100% reciclable, puede ser reciclado repetidas veces y su reutilización reduce costos en la adquisición y procesamiento de material natural y en los energéticos requeridos. Una carpeta 100% reciclada puede lograr desempeños iguales o incluso mejores que una carpeta asfáltica con materiales vírgenes. Es factible técnica y económicamente el uso de material RAP en la fabricación de nuevas mezclas asfálticas para pavimentos flexibles.

Avances en el uso de la biotecnología han mostrado mejorar el entorno de la carretera, reducen los costos de conservación y cumplen con su propósito de estabilizar taludes y evitar deslizamientos de tierra. Son bio-tecnologías de manejo simple y con plantas que están disponibles localmente; una ventaja de estos métodos con beneficio equilibrado para los lugareños, al emplearse plantas que generan ingresos. Aun cuando algunas de estas prácticas están consideradas en proyectos carreteros, la proyección para identificarlos y con beneficio medible en la mitigación de impactos dentro de los proyectos existe y puede sumarse a otras prácticas identificadas para la reducción de GEI en la infraestructura carretera.

A nivel experimental, ya existen logros en desarrollos como la aplicación de pavimentos que bloquean el calor solar, con el propósito de mitigar los incrementos en la carpeta asfáltica; muestran resultados con reducción en la temperatura de hasta 16°C en comparación con la temperatura superficial de pavimentos convencionales, además de presentar otras ventajas como la reducción de baches. Como otras innovaciones en las que se requiere una inversión adicional para llevarla a cabo, en este caso sería una medida de adaptación; pues habría que evaluar y analizar el costo – beneficio de la implementación. Aquí la importancia de realizar análisis de ciclos de vida integrales, donde las medidas de prevención -como podrían ser los costos de inversión en mantenimiento más los gastos de combustible adicional por el deterioro de la carpeta- puedan ser mitigados por el costo de la aplicación de bloqueadores. También la sensación térmica de los peatones es mejorada con el uso de bloqueadores solares en la superficie de los pavimentos urbanos.

Los marcos normativos, como la Ley de Cambio Climático, son puntos clave en la implementación de mecanismos graduales para la reducción de los GEI en México. Los subsidios a los combustibles fósiles deberían incentivar el desarrollo para contar con medios de producción de energías renovables, con perspectivas de cambio para obtener resultados tangibles en un futuro. Con la promulgación de esta Ley, se abre un nuevo panorama en México, para cumplir con las perspectivas y metas plasmadas en esta Ley. Es el primer paso de transición a una economía competitiva de bajas emisiones en carbono; la educación, investigación y desarrollo en nuestro país proyecta el promover y desarrollar tecnología para la reducción de emisiones GEI y la adaptación a los efectos del cambio climático en México.

Mejores y más seguras carreteras y caminos se traducirán en beneficio socio-económico que contribuyen a la mitigación de impactos ambientales, impactando positivamente en el servicio de la movilidad y continuando con el ritmo del crecimiento económico y demográfico de una manera ambientalmente sostenible.

1 Introducción

El cambio climático es el mayor reto ambiental del siglo XXI. El clima es la resultante de la interacción de una serie de factores como la atmósfera, el mar y los continentes en diversas escalas de tiempo y espacio. Hablamos de cambio o anomalías climáticas cuando un parámetro meteorológico sale de su valor medio del que ha presentado con una periodicidad anual; un ejemplo de ellos son los registros de temperatura o precipitación de una determinada región o lugar. Los cambios en el clima se dan por variaciones en la radiación solar recibida o en las características del planeta; un ejemplo son los incrementos en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO_2) y el gas metano (CH_4), y son conocidos como forzamientos externos; cuando los cambios se dan por inestabilidades en la atmósfera o en el océano, son llamados forzamientos internos. Estas variabilidades que influyen en los cambios en el clima son muy extensas, pronosticarlos de un año a otro resulta todo un desafío para los meteorólogos y especialistas en el tema.

En los últimos años, la creciente preocupación sobre el calentamiento global y el cambio climático ha hecho necesario que los ingenieros viales hagan frente a sus efectos. El Sector Transporte tiene una fuerte contribución sobre los factores que inciden en la magnitud de estos cambios. Sus principales contribuciones son causadas por la quema de combustibles fósiles, a lo que debemos sumar otras actividades como cambios de uso de suelo, sobreexplotación de materiales para industrias y otros; el resultado es la emisión de dióxido de carbono (CO_2) junto con otros gases que afectan la calidad del aire, cuya acumulación produce un incremento en la retención de radiación solar cerca de la superficie terrestre y causa aumentos en la temperatura y el calentamiento global. Estos gases son los llamados gases de efecto invernadero (GEI) que han existido de manera natural en el ambiente, por siglos; de hecho son igualmente emitidos por fuentes naturales, y son importantes para el planeta, ya que absorben y reemiten la radiación de onda larga que llega a la atmósfera, y la devuelve a la superficie terrestre y mantiene la temperatura de la troposfera; sin embargo, el problema radica en el incremento exponencial que ha tenido en las últimas décadas, ya que el aumento en la concentración de estos GEI en el ambiente produce que el calor que reflejan sea mayor al que habitualmente (año con año, o en periodos en promedio de cinco años) han reflejado; lo que ha causado un aumento de temperatura y producido el efecto de Cambio Climático Global (CCG), con repercusiones a nivel de todo el planeta.

Los efectos causados por el CCG influyen en los cambios recientes en el nivel del mar y has afectado principalmente ciudades costeras, zonas bajas y deltas de ríos, con inundaciones de grandes proporciones. También se le atribuye cambios

en esquemas productivos y económicos, así como en sistemas de intercambio [WMO, 1986]. Debemos tener en cuenta que el tiempo de permanencia en el ambiente de los GEI es de cien años, aun cuando se logre mantener un cambio menor a los 2°C es necesario llevar a cabo medidas de adaptación a los efectos que hoy ya se están sufriendo en diversas partes de mundo y que de igual manera impactan a la infraestructura del Sector.

En el Sector Transporte, las emisiones de gases invernadero tienen su fuente principal en la emisión de dióxido de carbono (CO₂) por la quema de combustibles, lo que se relaciona directamente con el uso de energéticos y es en donde pueden ser aplicadas estrategias de mitigación y adaptación con acciones que han sido sumadas de manera global, para poder detectar y cuantificar cambios en el medio ambiente. El reto y la prioridad es identificar y buscar la implementación de estas acciones y actividades involucradas en el sector.

En este trabajo presentamos el análisis de medidas y algunas acciones adoptadas internacional y nacionalmente, alineadas a la reducción de contaminantes que contribuyen al calentamiento global, así como innovaciones en la construcción y adaptación de la infraestructura de caminos y carreteras a los cambios que están manifestándose y se proyectan como consecuencia de este calentamiento.

2 Contaminación, cambio climático e infraestructura carretera

Cada año, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) lleva a cabo programas de conservación de carreteras federales, donde atiende los requerimientos de mantenimientos menor, mayor o de reconstrucción de tramos y puentes. Desde 1890 -cuando para algunos historiadores inició la revolución industrial, hasta la fecha- la cantidad de bióxido de carbono ha aumentado en un treinta por ciento. El planeta ha tratado de redistribuir esta energía recibida en exceso y que ya no puede liberar al espacio. Así, se ven involucradas las superficies terrestre y marina, con aumentos en el nivel del mar, modificaciones de los patrones de lluvia y, eventualmente, incremento en las ondas de calor y otros eventos climáticos que afectan a la sociedad y a las diversas especies animales y vegetales (Conde, 2006).

2.1 Contaminantes relacionados con el Sector Transporte

Como fuente predominante de contaminación atmosférica, consideramos el transporte automotor, por su directa incidencia en el incremento en los niveles de gases; los que, junto con las condiciones climáticas, provocan daños y afectaciones en el ambiente y en la salud humana.

Respecto a la contaminación generada por el transporte, los contaminantes son principalmente los emitidos por su liberación en la quema de combustibles, como el diesel y la gasolina. Este tipo de contaminación es particularmente importante donde hay grandes concentraciones urbanas; sin embargo, los efectos no se limitan a solo las ciudades. Entre los principales agentes contaminantes se encuentran:

- Monóxido de carbono (CO), como resultado de procesos industriales y combustión incompleta de la madera, el aceite, el gas y el carbón.
- Dióxido de carbono (CO₂)
- Óxidos nítricos (NO y NO₂)

- Partículas suspendidas totales (PST), partículas con diámetro promedio menor a 10 micras (PM-10) y partículas con diámetro promedio menor a 2.5 micras (PM-2.5)
- Hidrocarburos sin quemar

Estos contaminantes pueden ser subdivididos en aquellos que tienen una afectación directa a la salud -que se relacionan con la calidad del aire- y los que contribuyen al cambio climático.

Con respecto a los primeros, son principalmente contaminantes como partículas exhaustivas de aspiración de elementos finos (menores a 2.5 y 10 micras), junto a la emisión de ozono (O_3); la aspiración de ambos complica y agrava la salud de quienes sufren enfermedad bronca respiratoria y aumenta el riesgo de contraerlas. La emisión de contaminantes que degradan la calidad del aire ambiente aumentan los costos en salud pública, mantenimiento y materiales de edificios, pérdidas de cosechas y demás costos en reparación y remediación de ecosistemas (biosfera, suelo, agua). Cada impacto está relacionado con uno o más tipos de contaminantes.

El daño a edificios, puentes y otras obras de infraestructura es otro impacto derivado directamente de estos contaminantes. La erosión de las fachadas y superficies de estos y, más importante, la degradación del material por el proceso corrosivo dado por la acidez de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el dióxido de azufre (SO_2) son significativos. Este último también es el causante de pérdidas en la agricultura y daños en bosques y otros ecosistemas, por cambios en el pH de los suelos por la deposición ácida.

En la biodiversidad y ecosistemas (suelo y agua), causan efectos de eutrofización y acidificación por el incremento de óxidos de nitrógeno, así como la adición de metales pesados provenientes del desgaste de llantas y partes de motor. Estas partículas de desgaste, además de acarrear contaminantes tóxicos, por su tamaño son las principales causantes del deterioro a la salud pública. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que las muertes causadas por contaminantes ambientales es de 865 mil al año [OMS, 2007]; sin embargo, hay quienes estiman que estas cifras pueden ser mucho mayores, como las citadas en Europa; donde estiman tres millones de muertes [E.E.A, 2005]. A diferencia de los impactos que ocasiona al clima el dióxido de carbono, los impactos a la salud dependen en gran parte del lugar donde son emitidos. Los contaminantes en áreas densamente pobladas producen más daño que los que son emitidos en zonas remotas. El daño causado por contaminantes en bajas concentraciones y de largas duraciones conduce a daños crónicos reflejados de acuerdo con la dosis de exposición, lo que lleva a establecer valores máximos permisibles y límites de emisiones.

La quema de combustibles fósiles, y actividades como la tala y quema de bosques, liberan dióxido de carbono (CO_2); cuya acumulación, junto con otros contaminantes, atrapa la radiación solar cerca de la superficie terrestre, lo que

causa un calentamiento global. Estos gases absorben y reemiten la radiación de onda larga que llega a atmósfera, la devuelve a la superficie terrestre, manteniendo la temperatura de la troposfera; entre mayor sea la acumulación de gases, mayor será el calor que refleja, lo que causa un aumento de temperatura; esto es conocido como Cambio Climático Global (por sus repercusiones a nivel de todo el planeta) o Efecto Invernadero. A este efecto se le atribuyen cambios recientes en el nivel del mar, lo que ha afectado principalmente ciudades costeras, zonas bajas y deltas de ríos, con inundaciones de grandes proporciones. También se le atribuyen cambios en la producción agrícola internacional y en ecosistemas de intercambio [WMO, 1986].

Las emisiones vehiculares son una gama de contaminantes que afectan al medio ambiente y hoy, existe el reto y la prioridad de disminuir las emisiones que contribuyen al cambio climático global; son acciones prioritarias dentro de los planes y programas ambientales a nivel nacional e internacional. En las últimas décadas ha sido más evidente la importancia de la contribución de las emisiones de gases invernadero y su efecto al calentamiento global. En el sector transporte, las emisiones de gases invernadero tienen su fuente principal en la emisión de dióxido de carbono (CO₂), por la quema de combustibles; lo que se relaciona directamente con el uso de energéticos. El escenario global prospectivo es un cambio de temperatura de 1.1 a 3.5°C del año 2000 al 2100, lo que aumentará los niveles del mar en promedio de 18 a 59 cm. El calentamiento se espera varíe de región a región, y se vea acompañado de cambios en la precipitaciones, variaciones de clima y cambios en la frecuencia e intensidad de algunos fenómenos extremos relacionados con el clima (inundaciones, sequías) así como impactos varios en los ecosistemas y enfermedades relacionadas [IPCC, 2009].

2.2 Cambio climático

Por "cambio climático" entendemos un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables [ONU, 1992].

Las anomalías del clima experimentadas en el último siglo, o por vivirse en las próximas décadas, podrían incluir alteraciones en las formas en como actualmente experimentamos la variación anual y por década del clima. Eventos de El Niño más frecuentes o intensos, huracanes de mayor magnitud, ondas cálidas o frías más pronunciadas son algunas de las formas como la atmósfera podría manifestar las alteraciones climáticas, resultado de la actividad humana. [Magaña-Rueda, 2004].

Gracias a la investigación científica, que ha analizado y correlacionado los registros históricos de temperatura y de la concentración de CO₂ en la atmósfera, hemos establecido que existe una estrecha relación entre estas dos variables; por lo que podemos esperar que ante un aumento en las concentraciones de CO₂, como el que ha venido dándose desde la Revolución Industrial, surja un aumento en la temperatura global.

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC) fue creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con el objetivo de analizar la información científica disponible sobre cambio climático, los impactos ambientales y socio económicos de este fenómeno y formular las estrategias de respuesta necesarias.

Las concentraciones de CO₂ en la atmósfera se han incrementado de 280 a casi 360 partes por millón por volumen (ppmv) [PICC 1995], desde la época pre-industrial, y este incremento puede ser atribuido en gran parte a las emisiones producidas por la quema de combustibles fósiles, el cambio de uso de suelo y la agricultura. Existe quienes piensan que los aumentos observados en el nivel del mar (de unos 10-25 cm) y en la temperatura promedio de la superficie (de entre 0.3°C y 0.6°C) durante este mismo período son consecuencia de esta situación.

De acuerdo con este reporte, para el año 2100 se podría esperar que la temperatura global promedio tenga un incremento de entre 1°C y 3.5°C en relación a la temperatura actual y que el nivel del mar aumente entre 18 y 59 cm con respecto al presente. Estudios como los analizados por el PICC llegan a la conclusión de que, en términos generales, los países en vías de desarrollo son más vulnerables por encontrarse en regiones más susceptibles al cambio de la temperatura y la precipitación y por no contar con recursos suficientes para poder adaptarse a este. El primer paso para combatir este fenómeno, que afecta a todo el planeta, se dio durante la Cumbre de la Tierra, en Río de Janeiro, Brasil, en 1992, cuando más de ciento cincuenta países, entre ellos México, firmaron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

La Convención establece responsabilidades comunes pero diferenciadas para los países signatarios, a quienes clasifica en tres grandes grupos: El Anexo I está compuesto por países desarrollados y los que tienen economías en transición a economías de mercado; los que, además de satisfacer los compromisos establecidos para todas las Partes de la Convención, deberán reducir sus emisiones de gases de efecto de invernadero, para el año 2000, al nivel que tenían en 1990. El Anexo II es un grupo de los países del Anexo I que tendrán que prestar ayuda económica y tecnológica a aquellos con menores recursos para enfrentar los impactos del cambio climático; y el último grupo está integrado por los llamados países no-Anexo I, o países en vías de desarrollo, cuyos compromisos se reducen, a grandes rasgos, a realizar, actualizar y publicar periódicamente inventarios de emisiones antropogénicas de gases de efecto de

invernadero, a llevar a cabo programas nacionales y regionales de mitigación y adaptación y conservar sumideros de carbono (captura de carbono en los bosques por medio de la fotosíntesis). México pertenece a este grupo.

En México, el Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales (SEMARNAT) ha sido el encargado de planear, coordinar y evaluar las investigaciones sobre cambio climático; desarrolladas en su mayoría dentro del marco de lo que se conoce como el Estudio de País. Este proyecto ha contado con el apoyo del United States Country Studies Program (USCSP), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el gobierno de Canadá; e incluye el inventario nacional de emisiones antropogénicas de gases de efecto de invernadero por fuentes y sumideros, estudios sobre escenarios de emisiones y climáticos, el análisis de la vulnerabilidad del país ante este fenómeno y la evaluación de opciones de mitigación y adaptación.

Algunos resultados de estos estudios se han empleado en la elaboración de la Primera Comunicación de México ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, que fue presentada para cumplir con los compromisos adquiridos por México en el contexto de la ratificación de esta, durante la última Conferencia de las Partes ocurrida en Kioto, Japón, en diciembre de 1997.

El calentamiento global tendrá, probablemente, serias consecuencias para la humanidad y para las otras formas de vida del planeta, incluyendo un aumento del nivel del mar que pone en peligro las zonas costeras y las islas pequeñas, y una mayor frecuencia y severidad de fenómenos climáticos extremos. Estudios recientes, como el informe Stern, confirman los costos enormes de la falta de intervención. Estos costos son económicos, pero también sociales y medioambientales. Si la temperatura media global aumenta más de 2°C, aumentará de la escasez de alimentos y de agua, así como de los fenómenos meteorológicos graves y un incremento considerable por la amenaza para los ecosistemas únicos. De mantenerse las tendencias actuales de las emisiones, es posible que el umbral de los 2°C se traspase ya en el año 2050. Incluso manteniendo este aumento por debajo de los 2°C, serán necesarios considerables esfuerzos de mitigación y adaptación.

2.2.1 El cambio climático y el Sector Transporte

El sector transporte es reconocido como un importante emisor de GEI. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) participa directa e indirectamente en las acciones de mitigación de GEI de nuestro país y, como muchas cosas en el planeta, también se ve impactado por los cambios que están ocurriendo de manera global. Los caminos son vulnerables a verse dañados por la

intensidad de las precipitaciones, el régimen de los vientos o la frecuencia de fenómenos como los huracanes y las nieblas, más que por los cambios de temperatura en las magnitudes que han sido previstas.

En general, rubros de la infraestructura pueden ser impactados por la elevación del nivel medio del mar; esta elevación puede provocar daños en puentes e infraestructura portuaria, así como a las flotas para transporte marítimo. Otro punto vulnerable del Sector son las mareas de tormenta que aumentarían de nivel y los vientos intensos afectarían a la navegación marítima. Las inundaciones, tormentas y huracanes pueden provocar deslaves y otros daños a la infraestructura carretera y portuaria.

Los cambios con fenómenos extremos son importantes, donde es necesario introducir modificaciones en las obras de infraestructura: nuevas orientaciones de algunas pistas de aterrizaje y despegue, nuevos criterios para el diseño de puentes, normativas, etc. En las evaluaciones de impactos, vulnerabilidad y adaptación en los transportes, habrá que tener en consideración los efectos de las políticas de mitigación en el Sector.

En México, podemos hablar de pérdidas de miles de millones de pesos en caminos afectados por eventos hidrometeorológicos intensos. Existen fondos para la reconstrucción de viviendas y reparación de infraestructura de carretera federal y estatal por lluvias (Fondo de Desastres Naturales, en el 2004); estos gastos son del orden de miles de millones de pesos, como en el 2005 cuando fueron destinados cerca de 3,700 millones de pesos a carreteras y transportes, debido a daños ocasionados por los fenómenos hidrometeorológicos.

Para reducir estos los impactos, será necesario tomar en cuenta aspectos del cambio climático en la planeación, construcción y conservación de nueva infraestructura. En las acciones que podemos implementar en el Sector -entre otros- tenemos los instrumentos normativos para emisiones y verificaciones vehiculares.

En el transporte carretero federal, es necesario incrementar la eficiencia energética y reducir el consumo de combustibles -como posibles estrategias de ahorro- e implementar mejores prácticas que incluyan el transporte urbano. Las metas en este tema pueden ser el aumentar la eficiencia energética de vehículos ligero y la introducción de vehículos híbridos; uso de combustibles alternos como el etanol en las gasolinas, biodiesel en diesel. Con estas medidas es posible reducir cerca del 22% para el 2020 respecto a la perspectiva de la Secretaria de Energía [SENER, 2004-2013].

2.2.2 Las emisiones de GEI en México

Como signatario del Protocolo de Kioto, México está desarrollando actividades estratégicas para instrumentar proyectos, tales como el aprovechamiento de metano en rellenos sanitarios, plantas de tratamiento de aguas residuales, granjas agropecuarias, minas de carbón y en instalaciones petroleras; o la generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables (eólica, biomasa, hidráulica, solar) para la reducción de emisiones. En México, las emisiones totales de GEI pasaron de un nivel de 425 268 Gigagramos (Gg) en toneladas equivalentes de CO₂ (Ton CO₂ eq) en 1990 a 553 329 Gg en el 2002 (1 Gg equivale a 1000 toneladas) [SEMARNAT-INE, 2006].

Un tema central en esta tarea es la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, en sectores estratégicos en los que existen beneficios muy importantes; como la eficiencia energética, la competitividad industrial, la seguridad y el cuidado al medio ambiente.

Para enfrentar y mitigar los efectos del cambio climático, será necesario desarrollar capacidades preventivas y de respuesta ante los impactos adversos previsibles. Estas incluyen la generación de información y conocimiento sobre la vulnerabilidad de distintas regiones y sectores del país, así como de los impactos potenciales, el desarrollo de estrategias específicas y el trabajo coordinado de las distintas instancias del gobierno y la sociedad.

Las estimaciones de CO₂ equivalente al 2020 muestran que, el sector transporte podría concentrar 39% de las emisiones por demanda de energía y las industrias energéticas hasta en 41%. En el caso del transporte, podemos esperar un lento crecimiento de la eficiencia de la flota vehicular (kilómetros por litro) que no podrá compensar la expansión de la flota vehicular y en consecuencia se espera una mayor demanda de gasolina, en la industrias energéticas no se esperan cambios en las fuentes de abastecimiento; es decir, se mantiene la dependencia de combustibles fósiles. En consecuencia, las emisiones de CO₂ mantendrán con su tendencia ascendente; por tanto, si no existen políticas de precios y cambios tecnológicos en los respectivos sectores las cantidades de CO₂ y de otro tipo de contaminantes, seguirá en aumento generando cambios radicales en el medio ambiente a nivel regional y, en consecuencia, afectará las actividades sociales y económicas y la salud de la población mexicana y contribuirá más al cambio climático global [Catalán y Sánchez, 2009].

3 Acciones

Entre algunas medidas y acciones que podemos llevar a cabo, son importantes las de mitigación o de adaptación. De mitigación significa que buscan aminorar o reducir los efectos ya presentes, reduciendo o captando la emisión de GEI; de adaptación -con la innovación e implementación de nuevas tecnologías que soporten estos nuevos efectos- por ejemplo radiaciones solares más intensas, mayores precipitaciones pluviales, etcétera.

En este sentido, podemos visualizar que aunque muchas acciones y medidas no son conocidas para este fin, podemos empatarlas y correlacionarlas con medidas para la reducción del cambio climático. Un típico ejemplo son los programas de conservación de caminos y carreteras, mejora de las carpetas o superficies de rodamiento; donde está comprobado que existen ahorros energéticos que significan evitar la quema de combustibles fósiles y, por ende, la emisión de GEI.

3.1 Calculadoras de huella de carbono

Dentro de la terminología técnica utilizada en este trabajo, entendemos la huella de carbono como medida del impacto de nuestras actividades sobre el medio ambiente, causado por emisiones de carbono que a su vez contribuyen al cambio climático. La huella de carbono cuantifica la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que son liberadas a la atmósfera, como consecuencia del desarrollo de cualquier actividad. A través del ejercicio de cálculo de la huella de carbono, son identificadas todas las fuentes de emisiones de GEI y es posible definir mejores objetivos y establecer medidas de reducción de energía más efectivas, como consecuencia de un mejor conocimiento de los puntos críticos.

Es una herramienta útil para la identificación de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, que son liberadas a la atmósfera como consecuencia del desarrollo de cualquier actividad. Nos permite identificar todas las fuentes de emisiones de GEI y, a partir de ello, establecer medidas y acciones para tener reducciones efectivas y comparables.

El análisis de huella de carbono abarca todas las etapas del desarrollo de la actividad y da como resultado un dato que puede ser utilizado como indicador

ambiental global de la actividad y como punto de referencia básico, para el inicio de actuaciones de reducción de consumo de energía.

3.1.2 Bases del cálculo de la huella de carbono

Existen varias calculadoras desarrolladas con diversas normas y guías internacionales, enfocadas a la operación y diseño de carreteras. Todas estas herramientas, tienen que estar sustentadas con el propósito de dar credibilidad y aseguramiento de los resultados; por lo cual la organización o institución que la desarrolla es importante para dar peso y sustentabilidad a los datos e información que genera.

Dentro de las metodologías para el cálculo de la huella de carbono de la organización, las más relevantes son: ISO 14064, GhG Protocol, y MC3. La norma ISO 14064 tiene como objetivo dar credibilidad y aseguramiento a los informes de emisión de GEI y a las declaraciones de reducción o eliminación de GEI. Esta norma puede ser usada por cualquier organización. El GhG Protocol, es una iniciativa puesta en marcha por el World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), apoyada además por numerosas empresas, organizaciones no gubernamentales y administraciones públicas y provee la guía para cualquier empresa interesada en cuantificar sus emisiones de GEI.

La metodología MC3 ha sido desarrollada durante los últimos años y se basa en la huella ecológica. Presenta un “enfoque a la organización” que incluye “de abajo hacia arriba” la entrada de productos e insumos, y un “arriba hacia abajo” para los productos de salida, lo que permite el cálculo simultáneo de la huella en actividades y productos. Esta evaluación nos ofrece una relación entre el aspecto económico y el aspecto ambiental.

Así, los principios base para el cálculo de la huella de carbono, son los principios de la contabilidad financiera: relevancia, integridad, consistencia, transparencia y precisión. El principio de relevancia garantiza que la huella de carbono refleje de manera apropiada las emisiones de una empresa y que sea un elemento objetivo para la toma de decisiones. Cumplimos con el principio de integridad si todas las fuentes de emisión relevantes y todas las emisiones, están o han sido contabilizadas con referencia, incluso estimaciones; ya que muchas veces no existen datos que den información específica en la actividad realizada.

Para garantizar el cumplimiento del principio de consistencia, debemos usar metodologías que permitan comparaciones de las emisiones a lo largo del tiempo. La transparencia consiste en que la información sea presentada y publicada en forma clara, efectiva, neutral y comprensible; y basada en documentación sólida, transparente y auditable. Los datos para el cálculo de la huella de carbono deben

ser lo más certeros posible, de manera que la incertidumbre sea reducida lo mayor posible.

Hoy, como resultado del monitoreo de las emisiones, y con la implementación de herramientas para la creación de estrategias para la reducción de carbono en el Sector Transporte, surgen modelos para ayudar a definir metodologías que aporten sistemas medibles en los procesos de aplicación y monitoreo para la reducción de emisiones de GEI.

3.1.1 Huella de carbono en la construcción de carreteras

Uno de estos modelos es la calculadora de GEI para la evaluación armonizada y normalizada de las emisiones de gases de efecto invernadero para carreteras CHANGER (por sus siglas en inglés: Calculator for Harmonised Assessment and Normalisation of Greenhouse-gas Emissions for Roads), desarrollada por la Federación Internacional de Carreteras (International Road Federation, IRF) [Zammataro y col., 2011]; el cual es un ejemplo de los avances en la aplicación de esta herramienta para la medición y comparativa de la implementación de medidas y su impacto en la reducción de GEI en actividades específicas de operación y diseño de carreteras. Zammataro emplea la calculadora de GEI CHANGER, la cual es un modelo para la evaluación armonizada y normalizada de las emisiones de gases de efecto invernadero para carreteras. Permite la evaluación y monitoreo de GEI en varias etapas de los procesos de la construcción de carreteras y caminos. Un caso del empleo de esta calculadora es la renovación de un tramo de carretera en la India. En este proyecto fue viable medir los beneficios ambientales con indicadores sobre el desarrollo sustentable en la infraestructura carretera.

El caso de estudio es un proyecto de ampliación de un camino en una zona de clima semiárido, cerca de 13 kilómetros atravesaron una reserva forestal. Debido al incremento en el ancho del camino, existieron requerimientos legales y permisos para la liberación del derecho de vía [Nanda y col., 2011]. Las mejoras se esperan sean para un periodo de duración de doce años con un flujo de pasajeros estimado en 137,816,047 pasajeros para estos doce años y un movimiento de carga de 77,120,411 toneladas.

Las actividades consideradas para la evaluación de las emisiones de CO₂ fueron divididas en subactividades, y buscaron integrar el efecto de cambios y modificaciones en el diseño, selección de materiales, bancos de préstamo y la metodología de construcción empleada. Este es el caso de la mejora de un tramo ya existente, por lo que no incluye actividades como limpieza del sitio, pero sí desmonte por ampliación en ancho de vía.

Cada subactividad fue evaluada con respecto al material empleado, volúmenes de generación de GEI y consumos de combustible. En este sentido, para la construcción de la subrasante (GSB). La GSB fue básicamente material triturado, fueron 153,387 metros cúbicos de material los que la conformaron. Cada metro cúbico equivale a 2.25 toneladas, siendo 345,120.75 toneladas de material generando un consumo de 240,144 litros de diesel para la trituración de agregado, emitiéndose 945 ton de CO₂ equivalente en esta actividad. Otras actividades como transporte del material y maquinaria empleada para triturado consumieron 426,075 litros de diesel, resultó en 1,675.34 ton de CO₂ eq. Para el mezclado, riego y compactación, fueron utilizados 33,617 litros de diesel, que generaron 1,311.79 ton de CO₂ eq.

Para los pavimentos, emplearon mezcla húmeda y mezcla asfáltica. En la mezcla húmeda se empleó 199,095 m³ de agregado, consumiendo 277,071 litros de diésel, emitiendo 1,091.04 ton de CO₂ eq. El transporte del material del sitio a la planta y vuelta, así como el mezclado, consumieron 1,025,549 litros de diesel y generaron 4,032.5 ton de CO₂ eq. La aplicación de la mezcla, y las horas de trabajo de maquinaria necesaria para la compactación dieron en total 289.14 ton de CO₂ eq.

Los 102.8 Km del proyecto de renovación, fueron cubiertos con una capa asfáltica del 4.5% con espesores entre 70 y 90 mm, empleándose 399,258.88 toneladas de agregado triturado y 21,141 toneladas de asfalto. El software calculó una emisión de 21,708.52 ton de CO₂ eq, solo de materiales de construcción; adicionalmente el transporte de materiales empleados para estas actividades, así como las mezclas fue de 13,914.58 ton de CO₂ eq. También sumamos lo generado por la maquinaria utilizada en la construcción, la aplicación y compactación de la capa, lo cual generó 61,140 toneladas de CO₂ eq, siendo 594.7 toneladas de CO₂ eq por kilometro.

Adicionalmente a los trabajos de pavimentación, se hicieron trabajos con concreto empleándose un volumen de 879.36 m³ de concreto, que en conjunto con las actividades de traslado del cemento, arena y agregados, sumado a las actividades de su la aplicación, dan un volumen de 454.67 ton de CO₂ eq.

En resumen e incluyendo lo generado en obras de drenaje, el volumen de GEI emitidos en un proyecto de obra con las especificaciones planteadas generaron en promedio 594.56 toneladas de CO₂ eq por kilómetro, dado para el tramo de 102.8 km se estima una emisión de 61,120.7 ton de CO₂ eq. Este dato es útil para conocer lo generado en una ampliación de una carretera de dos carriles para su ampliación a una de dos carriles por sentido con acotamiento. La Tabla 3.1 contiene un resumen de las emisiones por actividad llevada a cabo.

Tabla 3.1. Resumen de las emisiones de dióxido de carbono en las distintas actividades de un trabajo de mejora en carretera.

Trabajo realizado	Operación	Emisiones CO ₂ equivalente en toneladas
Ejecución del terraplén – 901,300 ton		
	Obtención	918.47
	Transporte	492.46
	Colocación y compactación	2,539.83
	Total	3,950.76
Excavación en roca y disposición – 238,433 ton		
	Excavación	174.58
	Transporte	274.14
	Total	448.72
Triturado de roca – 850,665.29 ton		
	Total	2,330.82
Sub-rasante granular – 345,120.75		
	Obtención	945.63
	Transporte	1,675.34
	Colocación y compactación	1,311.79
	Total	3,932.76
Mezcla húmeda macadán (WMM) – 398,190.0 ton		
	Obtención	1,091.04
	Transporte	4,032.50
	Colocación y compactación	289.14
	Total	5,412.68
Mezcla bituminosa – 399,258.98 ton		
	Obtención	21,708.52
	Transporte	13,914.58
	Colocación y compactación	2,264.26
	Total	37,887.36
Pavimento de concreto – 2,031.31 ton		
	Obtención	372.05
	Transporte	58.49
	Colocación y compactación	24.13
	Total	454.67

Este tipo detallado de análisis genera datos que sirven como antecedentes en la valoración ambiental de los proyectos realizados en carreteras y caminos; la estimación de emisiones con las características de obra, arroja datos aproximados de los generados en gases de efecto invernadero que antes no habían sido contemplados.

3.2 Reciclaje y cambio climático.

En nuestro país existe poca información sobre los efectos benéficos del reciclaje de carreteras, en relación con el cambio climático y el efecto invernadero. En

principio, hay que entender que la manufactura, distribución y uso de productos, conducen a la emisión de gases de efecto invernadero a partir de dos hechos: la importancia de reciclar cualquier tipo de material que sea reutilizable, con un buen desempeño y el hecho que el ser humano está consciente de que el clima está cambiando debido a sus actividades. Estos hechos están estrechamente ligados, el reciclaje y reducción de desperdicios están relacionados con el cambio climático; por lo que la gestión y el manejo adecuado de residuos pueden y deben constituir una estrategia para el equilibrio de los ecosistemas.

La energía utilizada en el proceso industrial para materiales vírgenes en la naturaleza y su transporte implica la quema de combustibles fósiles como la gasolina, el diesel y el carbón; que son fuentes de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero. Mientras que la reutilización de productos a partir de materiales reciclados todavía requiere energía, pero es mucho menor que la extracción, procesamiento y transporte de materias primas vírgenes; el reciclaje y reducción de residuos, también evitar las emisiones causadas por los incineradores y rellenos sanitarios y sitios de disposición que producen grandes cantidades de dióxido de carbono y metano. En la Tabla 3.2 aparecen estas equivalencias, donde CO₂ es dióxido de carbono, CH₄ metano, N₂O es óxido nitroso, HFC hidrofluorocarburos y SF₄ tetrafloruro de azufre.

Tabla 3.2. Equivalente de CO₂ de los GEI.

Elemento	Potencial de calentamiento global (GWP)
CO ₂	1 GWP
CH ₄	21 GWP
N ₂ O	310 GWP
HFC	140-11.700 GWP
SF ₄	24 GWP

Una acción indirecta del reciclaje de residuos, es que retarda y reduce el aprovechamiento de los bosques. Los árboles y vegetación actúan como sumideros de carbono, al absorber dióxido de carbono de la atmósfera, lo que ayuda a reducir niveles en el ambiente. El revestimiento de la capa vegetal y la reforestación son parte importante de las acciones que contribuyen a reducir el cambio climático en la construcción de carreteras. Más adelante en este capítulo retomaremos la importancia de su consideración dentro de los proyectos de infraestructura.

3.2.2 Reciclaje de asfalto para reducir la huella de carbono y residuos

La energía utilizada en el proceso industrial de materiales vírgenes y en su transporte implica la quema de combustibles fósiles como la gasolina, el diesel y el carbón. La fabricación de productos a partir de materiales reciclados todavía requiere energía; que es mucho menor que la extracción, procesamiento y transporte de materias primas vírgenes.

El reciclaje de carpetas asfálticas en carreteras, incorporado a los nuevos trabajos de reparación o modernización de carreteras, reduce el carbono emitido y evita que los residuos vayan a rellenos y sitios de disposición final; permite volver a utilizar el asfalto y agregados, que ayudan a asegurarnos de que estamos haciendo un uso eficiente de los materiales y la preservación de los recursos naturales.

Las ventajas del uso de pavimentos asfálticos reciclados (RAP, por sus siglas en inglés *Reclaimed Asphalt Pavement*) incluyen propiedades de alargar la vida útil con la ventaja de ser utilizado tanto en carreteras nuevas como en obras de reparación. El uso de RAP reduce el consumo de recursos naturales y energía, lo que ayuda a reducir el carbono incorporado en las carreteras. El análisis muestra que el carbono (CO₂ eq) generado durante la renovación de una carretera de cuarenta años de edad; con las técnicas de rejuvenecimiento convencional, equivale a alrededor de 1,25 kg de CO₂ por tonelada de asfalto por año. Sin embargo, cuando una carretera de cuarenta años de edad, es reutilizado mediante RAP; esta cifra puede ser reducida hasta a 0,7 kg de CO₂ por tonelada de asfalto por año y evita emitir carbono a la atmósfera [NAPA-FHA, 2002].

3.2.2.1 Materiales RAP

El cemento asfáltico está compuesto principalmente por asfaltenos y máltenos y está expuesto a la acción de agentes atmosféricos, lo que provoca envejecimiento. Este envejecimiento se presenta por la disminución en la fase de los máltenos, provocado por la oxidación. Los pavimentos asfálticos son flexibles, pero al envejecerse y perder el contenido de máltenos tienden a rigidizarse; lo que provoca una pérdida de resistencia a tensión y por lo tanto se agrietan (piel de cocodrilo) continuando el proceso de deterioro. Si estos asfaltos son reciclados, la porción perdida de máltenos, gran parte de las características físicas y químicas de origen, se mejoran; y más aun si integramos polímeros en este proceso.

Tanto el cemento asfáltico como el material pétreo contenido en las capas que integran un pavimento asfáltico son 100% reciclables y pueden ser reciclados múltiples veces; y resulta una materia prima de alta calidad. Para garantizar la sustentabilidad de los pavimentos asfálticos es necesario reciclar, ya que en un

futuro cercano el cemento asfáltico será un producto escaso y de alto valor comercial [Schimmoller, 2000]. Así mismo, la sobreexplotación de materiales pétreos para su producción contribuye a la degradación de los ecosistemas.

El termino RAP (Reclaimed Asphalt Pavement o Recycled Asphalt Pavement) es muy conocido a nivel internacional en el ámbito de los pavimentos asfálticos. Este caso es sobre el uso de RAP en la manufactura de mezcla asfáltica en diferentes condiciones. En países europeos (EAPA), así como en los Estados Unidos (FHWA), el empleo de mezclas asfálticas con diferentes contenidos de RAP es de uso más frecuente. Esto ha hecho que se desarrollen metodologías que implican trabajos de obtención, estudio, diseño y procedimientos de construcción de mezclas asfálticas con contenidos de RAP.

Otras de las ventajas con el uso de RAP es que aporta propiedades a pavimentos de larga duración, dependiendo la relación es que sea aplicado. El material puede ser utilizado tanto en carreteras nuevas, como mantenimiento y modernización de existentes, con la reducción en consumo de recursos naturales cada día más escasos.

3.2.2.2 Consideraciones en uso de RAP

Poner a un lado las razones ambientales ya expuestas por las cuales favorece el reciclado de materiales, existen razones que se ven reflejadas , directamente en ahorros energéticos y de materiales.

El uso de materiales RAP, reduce el empleo de materiales vírgenes en sus componentes pétreos y en el cemento asfáltico empleado, cuyos costos por solo extracción de materiales y en consumo de energéticos, para trabajar el material nuevo se ven reducidos. Una relación de este ahorro es que si empleamos 20% de RAP con un contenido de cemento asfáltico del 5.0%, ahorramos un 1.0% de Cemento Asfáltico [Anderson y Murphy, 2004].

Sin embargo, como es relativamente nuevo el estudio del comportamiento de estos materiales en el empleo de infraestructura, debemos tomar en cuenta una serie de consideraciones al emplear RAP. Una de ellas es la alta variabilidad de las propiedades de los componentes que la conforman; por lo que las caracterizaciones de los mismos, son parte primordial para hacer confiable su uso. Además, dependiendo del contenido de RAP, tenemos que adicionar el conocer el contenido del cemento asfáltico de origen, la granulometría, gravedad específica y las propiedades del consenso del agregado pétreo. En el caso del uso de altos contenidos de RAP, debemos agregar las propiedades físicas del cemento asfáltico a todas las consideraciones que en bajo contenidos de RAP ya mencionadas.

Las modificaciones que hemos encontrado en relaciones con los contenidos de RAP empleados son que a mayores contenidos de RAP el comportamiento de la mezcla asfáltica tiende incrementar su rigidez, a disminuir las deformaciones plásticas permanentes y mejorar la vida por fatiga.

En la industria de la construcción, típicamente ha sido empleado RAP en mezclas con contenidos de entre el diez y el treinta por ciento ($10\% > \text{RAP} < 30\%$), mezclas entre el quince y máximo cincuenta por ciento ($15\% > \text{RAP} < 50\%$) y en mucho menor número de casos, mezclas con RAP superiores al cincuenta por ciento ($\text{RAP} > 50\%$). En gran parte estos porcentajes son porque actualmente no existen en el mercado equipos industriales eficientes de Reciclado de RAP, al 100% (Figura 3.2) [Fonseca y Villalobos, 2009].



Figura 3.2. Pruebas a 40%, 60%, 80% y 100% de RAP. Díaz Derbez, y col., 2010.

3.2.2.3 Aplicación de RAP en un tramo de prueba

Un trabajo pionero en la implementación de RAP es el realizado por Díaz Derbez, donde se emplea mezcla asfáltica en caliente con alto contenido de RAP, haciendo seguimiento en el control de calidad de los procesos de fabricación, tendido y compactación de la mezcla asfáltica con un 100% de RAP en el Libramiento Alfonso Martínez Domínguez, en la ciudad de Cadereyta de Jiménez, Nuevo León, México; del Km 0+000 al Km 7+000 [Díaz Derbez, y col., 2010] (Figura 3.3). En México, han iniciado metodologías de diseño de mezclas asfálticas con alto contenido de RAP. Los resultados del trabajo de investigación presentado fueron desarrollados con el Equipo Industrial de Reciclado de Mezclas Asfálticas en Caliente, EIRMAC®. La función de este equipo es reciclar las mezclas asfálticas envejecidas y mejorarlas con la incorporación de

rejuvenecedores. En el proceso de manufactura de una nueva mezcla asfáltica, el EIRMAC® recibe material RAP, material pétreo virgen para cumplir con la granulometría, agente rejuvenecedor con polímeros; todo en cantidades óptimas. Este equipo calienta de forma indirecta, sin exponer los productos a la flama directa, lo que evita un mayor envejecimiento por sobrecalentamiento del material. Se maneja un rango de temperaturas llamado óptimo (104-180°C) en donde el cemento asfáltico sólido contenido en el RAP pasa de a su fase solida a su fase líquida, sin llegar a la combustión. El resultado es una mezcla asfáltica que cumple con especificaciones de calidad en la normativa mexicana.



Figura 3.3. Encarpetado con material RAP al 100%. Fuente: Díaz Derbez, y col., 2010.

Los resultados de las pruebas de deformación plástica permanente para pavimentos con 60 y 100% de material RAP y algunas mezclas se probaron con rejuvenecedores (PG82) y mezclas con materiales nuevos, mostraron que se pueden tener altos contenidos de RAP y lograr los índices de calidad en una mezcla asfáltica como cuando se utilizan materiales vírgenes.

3.3 Sumideros y Captura de Carbono

Cuando hablamos de sumideros y zonas de captura de carbono, nos referimos a depósitos naturales o artificiales de dióxido de carbono. Estas zonas o áreas tienen la atribución de absorber el carbono de la atmósfera, contribuyen así a reducir la cantidad de CO₂ del aire. Los principales sumideros son los océanos, y bosques en formación; ya que los árboles capturan el dióxido para sus procesos biológicos.

Debido a la demanda mundial por el uso de madera, la tala de árboles es una práctica llevada a cabo diariamente. Es un impacto considerable para el medio

ambiente, ya que cada árbol absorbe una tonelada de dióxido de carbono durante su vida útil. Hoy, una gran cantidad de árboles son cortados en los bosques y en las ciudades para la fabricación de muebles, materiales de construcción, artículos de consumo y como combustible.

En términos generales, la captura y secuestro de carbono es el proceso de extracción del carbono como CO₂ de la atmósfera y almacenarlo en un depósito. Las plantas, en su fotosíntesis, realizan esta captura de carbono, por lo que son consideradas como sumideros de carbono. Desde el Protocolo de Kyoto (1992), este concepto de sumideros de carbono ha sido manejado como estrategia ambiental en la lucha contra el calentamiento global.

Actualmente exploramos diversas formas de mejorar la retención natural de carbono, y tratamos de desarrollar técnicas (naturales o artificial) para capturar y almacenar el carbono; sin embargo, la reforestación y conservación de la cobertura vegetal son claves en la disminución de la concentración de CO₂ en la atmósfera.

3.3.2 Biotecnología en carreteras

La conservación en los bordes, acortamientos y taludes en las carreteras es conocida como una práctica de conservación y se da de manera rutinaria y periódica para evitar el deterioro ambiental en los caminos. La fitotecnología es el uso de plantas vivas para fines de ingeniería, para ello, las plantas se seleccionan de acuerdo a las funciones se desea cumplan. En este caso, estabilizar y fungir como sumideros de carbono en los taludes de las carreteras. A menudo son combinadas con otras obras de ingeniería para aumentar su eficacia, así como la inclusión de materiales y técnicas locales. El uso de técnicas de bioingeniería, pueden representar costos de implementación un tanto mayores a los tradicionalmente empleados; sin embargo, a largo plazo podemos obtener beneficios en la reducción gastos por mantenimiento y probables fallas de suelos.

Hay varios factores que deben ser considerados antes de la aplicación de técnicas que involucren cambios capaces de afectar la dinámica del suelo, sobretodo en taludes. Los factores más importantes son la atención a la erosión del sitio y la hidrología de los taludes; debemos prestar atención al uso de especies autóctonas y el nivel al que son plantadas. En un diseño bien hecho sobre el tipo de especies, la estructura de taludes y la técnicas de plantado, ofrecen más que solo el conocido beneficio de evitar la erosión y estabilizar material. La Figura 3.7 muestra un talud rehabilitado con fitotecnología en Nepal.



(a)

(b)

Figura 3.7. (a) Erosión de taludes en ladera y (b) estabilización con fitotecnología. Fuente: Dhakal, 2011.

Una combinación adecuada de plantas puede ayudar a restablecer sistemas agrícolas o forestales y mitigar el impacto por deforestación y desbaste tan importante que tenemos por la construcción de carreteras. Un beneficio social que puede ser visualizado y en sitios donde sea factible es la generación de plantaciones productivas y unidades agrícolas [Howell, 1999], y generar un impacto positivo en la localidad con respecto proyectos de infraestructura carretera.

3.3.2.1 Funciones y desempeño de la cobertura vegetal

Las plantas desempeñan funciones; entre otras: el atrapar escombros, proteger la superficie, reforzar el suelo, estabilizar la capa superficial y evitar material suelto susceptible a deslizamientos, mantener pendientes y contribuir al drenado eficiente. Colocar una combinación de varias plantas, se ha visto, es más efectivo que colocar solo plantas individuales. El colocar una línea continua de plantas en una ladera funciona como trampa para retener escombros y también ayuda a incrementar la capacidad de infiltración de agua en el suelo [Sunwar y Mull, 2003]. La erosión debido a los cortes de los taludes (Figura 3.8.a) puede ser mitigados, al devolver la capa vegetal a través de métodos de bioingeniería (Figura 3.8.b).

Es importante considerar tener cortes propicios y bien diseñados para poder evitar la erosión y favorecer este tipo de técnicas, la selección de plantas es un elemento clave para el éxito. En algunos casos, como lo es con las gramíneas, su crecimiento requiere plena luz del sol; por lo que su uso con este fin en los taludes requiere mantener arbustos y copas de los arboles lo más fino posible. Sin embargo, habrá casos en el que el uso de arboles y arbustos cuyas raíces son mas profundas, sea necesario para la reforzar adecuadamente muchos terrenos;

por lo que es importante evaluar cuándo es necesario una combinación de elementos o el uso de uno solo.

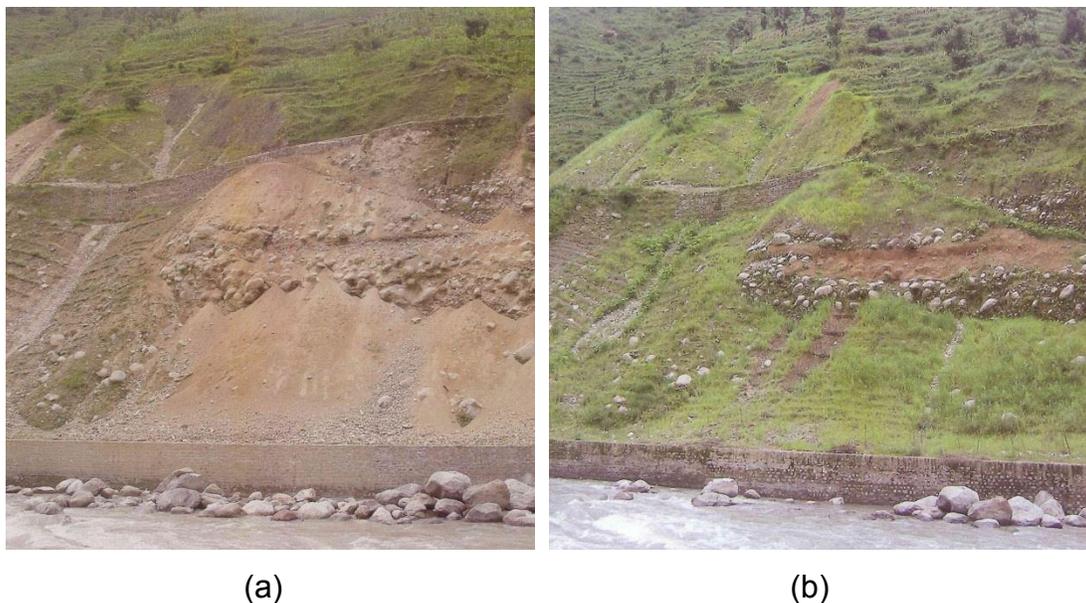


Figura 3.8. Comparativa de un a) talud erosionado y b) después de la aplicación de bioingeniería. Fuente: Dhakal, 2011.

3.3.2.2 Selección de especies de plantas

La capacidad de una planta por crecer en un terreno determinado y el grado de adaptación de ella está dado por la planta y, en parte, por la técnica de sembrado. Las plantas deben ser sembradas adecuadamente, con programas para asegurar la mayor sobrevivencia posible de acuerdo con el ciclo de vida de la planta; considerando época de germinación, floración, estación del año, lluvias mas próximas, entre otros.

Muchos terrenos son suelos muy pobres y difíciles para las plantas, por lo que las especies deben ser capaces de sobrevivir en las condiciones presentes y ser suficientemente robustas para cumplir con la función de bioingeniería. La selección de la especie es determinada con base en el terreno, temperatura, humedad, disponibilidad de agua y requerimientos de crecimiento de la planta, propagación y el desempeño de las funciones que buscamos con la revegetación.

Típicamente, las especies locales se adaptan mejor que las especies de otras áreas; además de que el inducir especies exóticas es una práctica que debemos evitar en este tipo de técnicas, ya que pueden resultar perjudiciales al ambiente. Las plantas recomendadas son las pioneras, ya que significa que estas se adaptan de forma natural a crecer y sobrevivir en los terrenos considerados como pobres o con bajo número de nutrientes.



Figura 3.9. Trabajos de plantación de gramíneas por gente de la localidad.
Fuente: Dhakal, 2011

Por las características de los taludes, hay una exposición solar grande con pendiente pronunciada, donde la capa orgánica del suelo es escasa y condiciones particulares de sequía y calor extremo. Muchos de los tramos de carreteras donde hemos revegetado utilizando técnicas de biotecnología, son zonas poco habitadas, donde el elegir un tipo de planta que además sea económicamente rentable y produzca un beneficio a los habitantes de la localidad ha incrementado el éxito e interés en el empleo de biotecnología [Dhakal, 2011].

3.4 Tecnologías de adaptación

Conjuntamente con los objetivos para reducir las emisiones que contribuyen al calentamiento global, está el enfrentar las consecuencias y cambios presentados

actualmente. Varias tecnologías y herramientas están siendo desarrolladas en distintos campos, y aunque el objetivo de su realización no sea propiamente la adaptación a los efectos que derivan del cambio climático (incremento de temperaturas o fenómenos meteorológicos no presenciados con anterioridad o para los que fue diseñada la infraestructura), sí podemos empatarlos con estos objetivos y es una finalidad importante de este capítulo.

3.4.1. Bloqueadores de calor solar

Una de las consecuencias que enfrenta la infraestructura del transporte consiste en el incremento en la radiación solar que se produce, al tener una mayor concentración de GEI en la atmósfera. Un reflejo de ello es el deterioro que sufren los pavimentos por la absorción de calor (grietas y baches) y la sensación de calor de los peatones en zonas urbanas. Están en desarrollo investigaciones para la evaluación de nuevas tecnologías que mitiguen estos efectos. Uno de ellos es el desarrollo de pavimentos “bloqueadores de calor solar”.

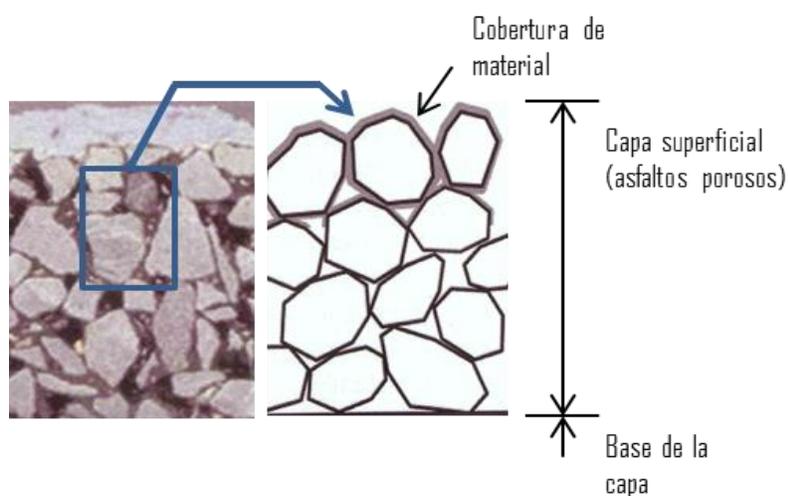


Figura 3.10. Concepto de bloqueadores solares para pavimentos. Fuente: Iwama y col. 2012.

En Japón Iwama y colaboradores, evalúan los diferentes aspectos de estos nuevos pavimentos bloqueadores de calor con respecto a los pavimentos convencionales. Analizamos a continuación los métodos y algunos resultados que han obtenido para estos pavimentos y sus efectos medioambientales.

El aumento de la temperatura en el verano se ha convertido en un problema serio para varios países. Debido a que la superficie de los pavimentos asfálticos puede

llegar hasta los 60°C, sobretodo en verano, este nuevo factor es llamado “isla de calor urbano” por su ocurrencia particularmente en las ciudades. En general, las altas temperaturas de la superficie influyen en el funcionamiento de las superficies del pavimento y forman deterioro en estos, como lo son el envejecimiento y desgaste prematuros. El reducir la temperatura en la superficie de los pavimentos se ha vuelto igualmente importante para la sostenibilidad y cuidado al medio ambiente en los caminos (Figura 3.11).

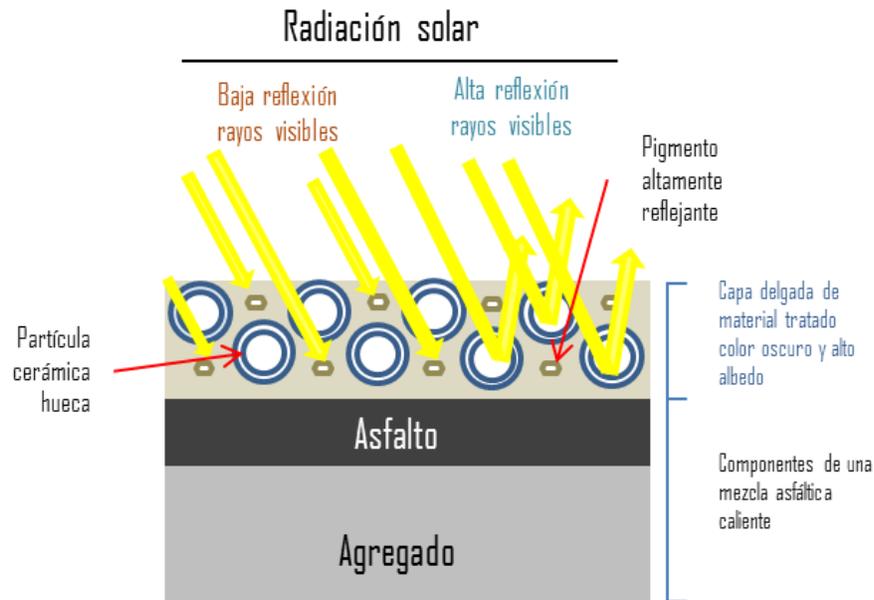


Figura 3.11. Interacción de la radiación solar con el pavimento y el bloqueador [Fuente: modificado de Iwama y col. 2012].

Estudios previos han indicado que la fabricación de capas de rodamiento más ligeras y esbeltas para reflejar los rayos visibles e infrarrojos provenientes del sol es la forma más práctica de atenuar el calor en los caminos y carreteras. Pero desde el punto de vista del conductor, es preferible contar con superficies oscuras como el negro o el gris, ya que están más acostumbrados a este tipo de superficies. Además, teniendo en cuenta la viabilidad del trabajo *in situ* durante la construcción, tratar las superficies con capas de pintura puede ser una manera práctica, para abordar la problemática.

Reportamos los experimentos llevados a cabo en Japón, por NIPPO Corporation para la evaluación y efectos prácticos y ambientales de esta nueva tecnología.

3.4.2 Principio de los pavimentos con bloqueadores solares

El principio básico de esta tecnología consiste en recubrir la superficie existente con el nuevo material desarrollado, para permitir el reflejo de los rayos solares infrarrojos. La función del material es lograr más reflejo para los rayos infrarrojos próximos y menos reflejo para los visibles. En general, el reflejo de los rayos solares e infrarrojos está representado por “el albedo”. Un albedo más alto, significa que la superficie del pavimento refleja los rayos infrarrojos de la superficie, mientras que un albedo más bajo indica que el pavimento absorbe con facilidad los rayos infrarrojos. Por lo tanto, es deseable una superficie con más albedo para evitar el calentamiento, ya que de lo contrario produciría un aumento de la temperatura de la superficie. Existe un pigmento reflectante solar para evitar la absorción de los rayos infrarrojos.

3.4.3 Propiedades del pigmento

Con el propósito de examinar las características de “el albedo”, hicimos una comparación entre tres superficies: pavimento que bloquea el calor solar, el pavimento convencional (mezclas asfálticas densas) y pintura normal. El ensayo fue realizado de acuerdo con el estándar japonés JIS A 5759. En este caso, tanto el color del pavimento que bloquea el sol como el color de la pintura es gris, mientras que el pavimento convencional es negro (Figura 3.12).

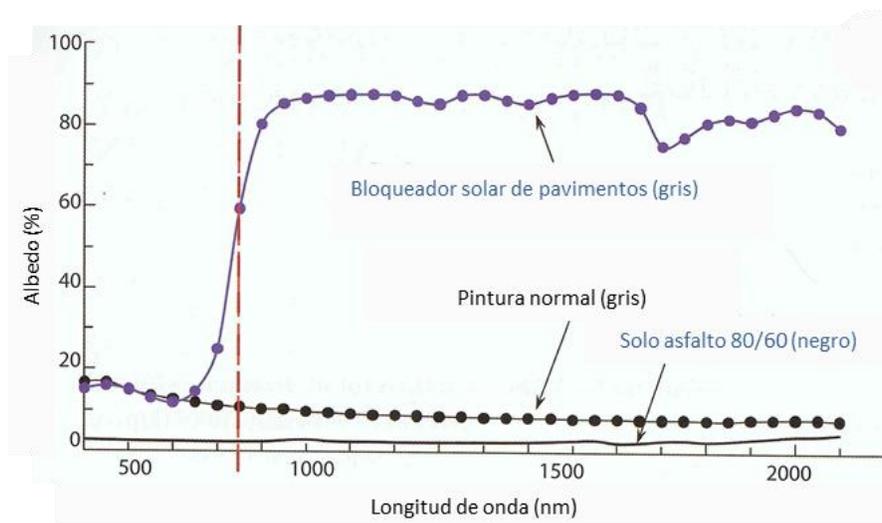


Figura 3.12. Albedo reflejado (Iwama y col. 2012).

3.4.4 Reducción de la temperatura por bloqueo solar

Hicimos pruebas de lámpara en el laboratorio con irradiación para investigar cuánto baja la temperatura, cuando utilizamos los bloqueadores de pavimento solares. La lámpara utilizada es una lámpara especial, de longitud similar a la onda solar para la evaluación del pavimento. Los resultados muestran que los pavimentos con bloqueador de calor presentan en promedio diferencias de hasta 12°C menos que los que no tienen bloqueadores. Aunque los resultados *in situ* pueden variar de los obtenidos en pruebas de laboratorio, las pruebas de lámpara de laboratorio son ampliamente utilizadas para confirmar los efectos del pigmento bloqueador antes de su aplicación *in situ* para predicciones de comportamiento (Figura 3.13).

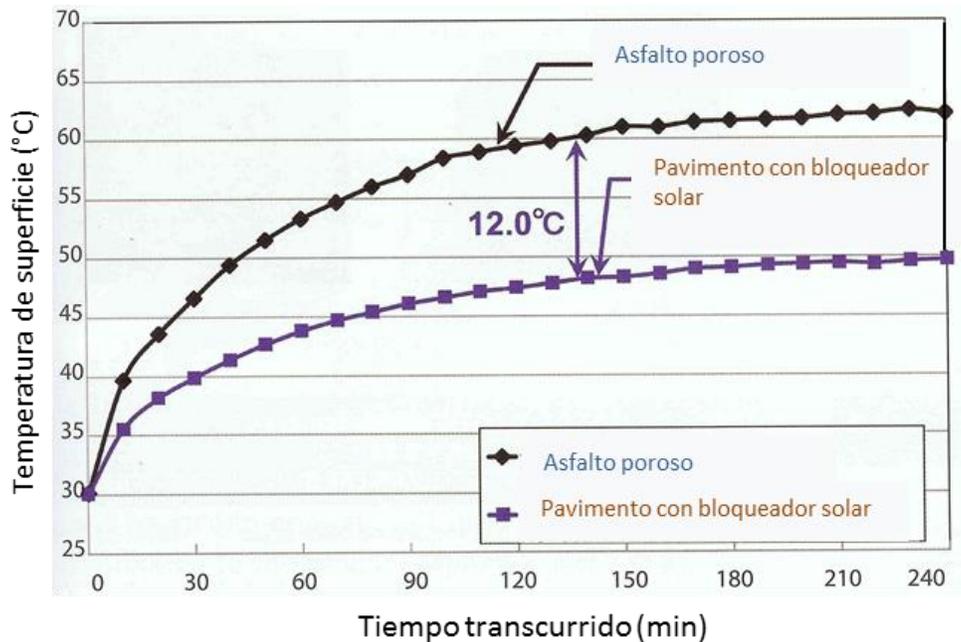


Figura 3.13. Resultados de temperatura y tiempo (Iwama y col. 2012).

En el citado experimento, las temperaturas registradas para el asfalto van de alrededor de los 30°C para la noche hasta las temperaturas más altas registradas en el día de cerca de los 58°C ; lo registrado en los pavimentos con bloqueadores solares correspondientes a los mismos tiempos del día fue de 27°C hasta 42°C , lo que mostró diferencias en los registros periódicos de 16°C entre los pavimentos

convencionales y los bloqueadores. Y en las temperaturas menores diferencias de entre 4°C a 5°C en promedio durante los periodos registrados. Esto muestra claramente las ventajas del empleo de bloqueadores para reducir la temperatura superficial de los pavimentos, sobre todo en épocas como el verano. Otro beneficio observado es la reducción de baches y deterioro, los pavimentos con bloqueadores solares pueden llegar a reducir incluso en la mitad la profundidad de los baches, en periodos hasta de cuatro años; gracias a la reducción de la temperatura superficial en comparación con las mezclas asfálticas densas [Hayakawa y col., 2008].

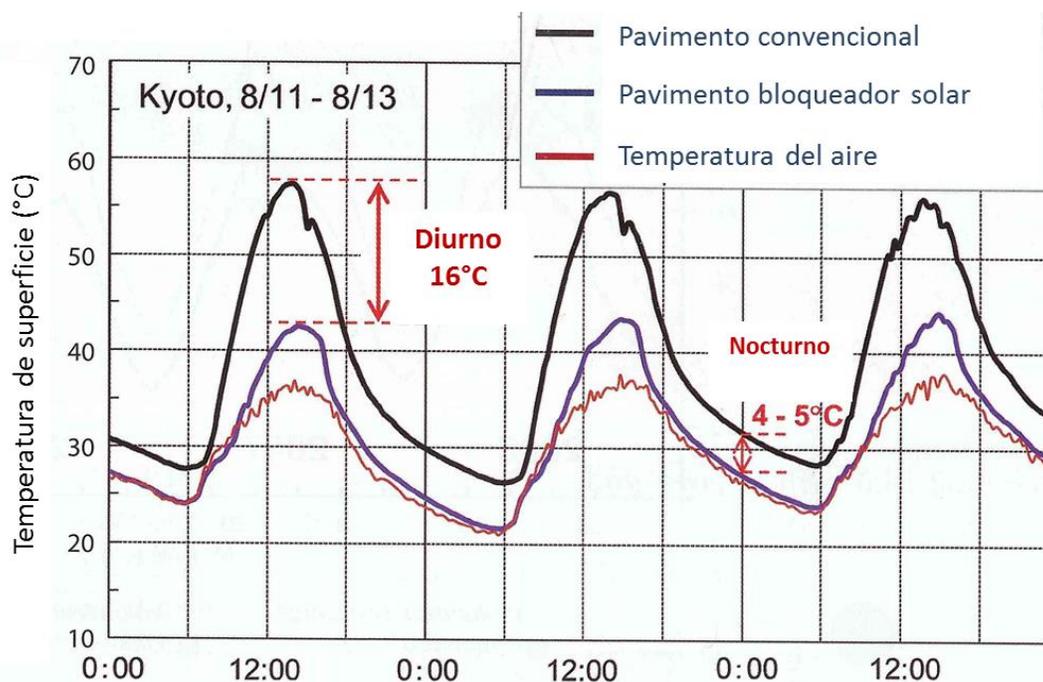


Figura 3.14. Efecto de la reducción de la temperatura. Fuente: Hayakawa y col., 2008.

3.4.5 Efectos ambientales

Como en muchos otros casos, es difícil decir con precisión cómo los pavimentos con bloqueadores de calor solar pueden contribuir a la disminución del calor urbano; el empleo de modelaciones computacionales es una herramienta muy utilizada en estos casos. En los escenarios planteados, suponemos que los pavimentos bloqueadores de calor aumentan el albedo de 14% a 60% en un día soleado de verano. Los índices de cambio de temperatura son 366 km por 366 km como área de dominio principal y 114 km por 114 km como área nido y - calculamos las temperaturas a una altura de 1.5 m [Kinouchi y col., 2004].

Los resultados indican que la temperatura del aire desciende hasta 0.8°C debido a la reducción de la temperatura por el bloqueo del calor. Calculamos también la onda de calor en las calles en caso del aumento del albedo de la superficie. El supuesto fue el siguiente; temperatura del aire: 35°C ; velocidad del viento: 5m/s ; albedo de la superficie: 0.1 y 0.5 . La cantidad de calor en las calles, disminuye, debido al aumento de la reflectividad, con descenso de temperatura del aire y mejora el calor urbano (Figura 3.15).

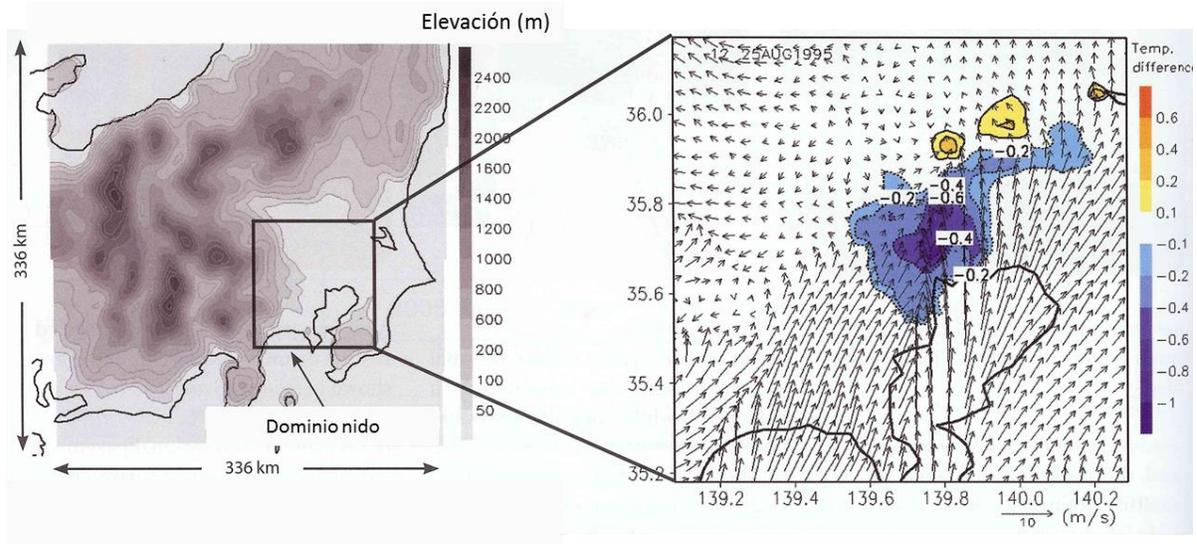


Figura 3.15. Cambios en la temperatura atmosférica por el bloqueo de calor solar, área de Kanto en Tokio, Japón. Fuente: Iwama y col. 2012.

3.4.6 Otros aspectos

Dentro del rubro de la sensación térmica, experimentada por los peatones, las llevamos a cabo con ensayos de fotografías termográficas en un caluroso día de verano. Los resultados de las imágenes fueron complementadas con un cuestionario sobre la sensación térmica. Los evaluadores estuvieron de pie en un pavimento con bloqueo solar y uno convencional, y respondieron preguntas sobre el impacto térmico del cuerpo como sudoraciones de cuerpo y pies.

En el caso del pavimento convencional, todos los evaluadores sintieron la superficie caliente o bastante caliente; por el contrario, con los pavimentos bloqueadores de calor solar, la sensación fue de fría y cómoda. De esas pruebas, podemos concluir que los pavimentos con alto índice de albedo son más cómodos para los peatones que los pavimentos con bajo índice de albedo.

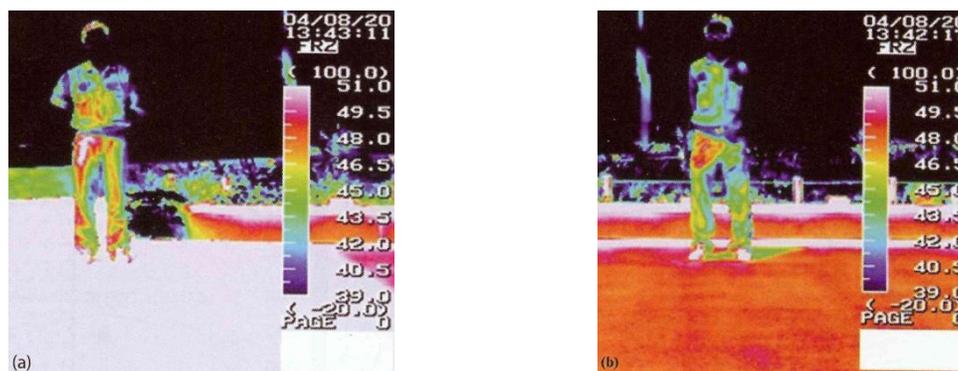


Figura 3.16. Imágenes termográficas (a) pavimento convencional (b) pavimento con bloqueador solar (Iwama y col. 2012).

Es importante recordar, por razones de seguridad en la operación de carreteras, la resistencia al deslizamiento. Esta capacidad se mide utilizando un Ensayo de Fricción Dinámica según la norma ASTM E1911. Las velocidades de ensaye son de 40 y 60 Km/h, presentan 0.60 y 0.55 de resultados en el asfalto convencional y con capa bloqueadora, los resultados fueron de 0.62 y 0.56 en cada caso. Podemos observar que los valores de resistencia al deslizamiento son casi idénticos.

La capa de bloqueador solar en el pavimento debe garantizar una buena adhesión y ser lo suficientemente fuerte con esta. El decapado es la eliminación de una capa de pintura de la superficie sobre la que fue aplicada. Para conocer el grado de decapado del bloqueador aplicado, llevamos a cabo pruebas tomando una imagen digital de la superficie antes y después del decapado, comparamos -por computadora- las zonas de la superficie. Los resultados muestran una fuerte cohesión del bloqueador con la superficie existente. Sin embargo, el estado de la zona decapada depende de la condición original de la superficie así como de los materiales de la capa de bloqueador solar. Por lo que la resistencia al decapado tiene que ser evaluada en cada trabajo bajo las condiciones existentes.

El material de reflexión solar contiene resina de metacrilato de metilo (MMA). Este material puede afectar a personas que vivan en las cercanías al ser aplicado. Para estos casos, un material menos perceptible al olfato puede ser aplicado. Llevamos a cabo ensayos de olor para identificar este aspecto y buscar la opción de remplazar por otra resina. Las pruebas muestran que, de acuerdo con estándares establecidos para olor en los materiales de recubrimiento por emplear en zonas urbanas (300), el MMA muestra valores hasta cuatro veces mayores (889) a este estándar; en cambio la opción de resina para estos casos registra mucho menos en las pruebas de olor (217). Los resultados de esta prueban

confirman que es factible la realización de un bloqueador de calor solar para pavimentos.

3.5 Ley General de Cambio Climático

En junio del 2012, México publica La Ley General de Cambio Climático; así forma parte del marco normativo, con el objetivo de garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de los distintos órdenes de gobierno: federal, estatal y municipal. Para ello se centra, entre otras cuestiones, en las acciones para mitigación y adaptación al cambio climático.

Nacen el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y una Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. También, el Consejo de Cambio Climático, el que prevé la integración multisectorial con participación de iniciativa, privada, pública y académica. Este no es el primer ordenamiento que México tiene en su regulación con miras a la protección ambiental, podemos citar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Medio Ambiente, normas para el control de emisiones y contenidos de compuestos contaminantes o precursores de estos en gasolinas, verificaciones vehiculares obligatorias, y muchos otros instrumentos. Sin embargo, esta nueva Ley es lo más reciente en materia de cambio climático en el país.

3.5.1 Aspectos relevantes de la ley

Este instrumento legislativo cuenta con nueve capítulos, ciento dieciséis artículos y diez transitorios. La Ley implementa los tratados y protocolos de los cuales México ya es parte desde el Protocolo de Kyoto y actualiza y armoniza la normatividad del país con los avances en las negociaciones y acuerdos internacionales. Este nuevo marco legislativo establece la concurrencia de los tres órdenes de gobierno a través del Sistema Nacional de Cambio Climático (SNCC), otorga el rango de ley la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, que se verá asistida por el Consejo de Cambio Climático y el recién creado Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

Establece instrumentos regulatorios y económicos respecto a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Los primeros se refieren al Inventario Nacional de Emisiones y al Registro Nacional de Emisiones; los segundos, a sistemas voluntarios de comercio de permisos de emisiones; es decir, mercado de bonos de carbono, así como el Fondo para el Cambio Climático.

Esta nueva Ley concretiza las metas por alcanzar en reducción de emisiones; que si bien habían sido trabajadas, eran ambiguas con respecto a cuánto a sus logros reales y las metas propuestas. Es en este sentido que México se compromete a reducir 30 por ciento sus emisiones, hacia 2020; así como 50 por ciento hacia 2050, en relación con las emisiones de 2000.

Asienta las bases con metas concretas por alcanzar en los años venideros. Con la formulación de una política de largo plazo -en materia de cambio climático- en congruencia con el Plan Nacional de Desarrollo, los programas estatales y con otras leyes aplicables, queda establecida la creación de un Fondo Verde Mexicano que promueva un mayor flujo de recursos nacionales a través de asignaciones presupuestales e internacionales, y del mejor control de los flujos dirigidos al enfrentar el cambio climático; así como el diseño y promoción de instrumentos económicos y fiscales para incentivar la reducción de emisiones y la participación de actores públicos y privados en la materia.

Respecto a las medidas de adaptación, la ley establece instrumentos de diagnóstico como el Atlas Nacional de Riesgo para 2013, o la creación de instrumentos de planificación urbana y prevención ante desastres naturales. La consolidación de esquemas de medición, reporte y verificación de emisiones; a través del registro, la evaluación y el seguimiento del cumplimiento de la Ley, que contempla un esquema de sanciones, garantiza que la política nacional de cambio climático, estará sujeta a evaluación periódica por un Consejo independiente, integrado por representantes de la comunidad científica, la iniciativa privada y la sociedad civil.

4 Perspectivas para el futuro

El considerar todos los impactos ambientales e integrarlos al proceso de construcción, mantenimiento y operación de los proyectos carreteros ayuda a visualizar medidas de mitigación en estos; los que tras analizar un proceso aislado podemos llegar a omitir.

Las evaluaciones sobre la generación de GEI en los proyectos y las mejoras de mantenimiento, sustitución de materiales, análisis de emisiones generadas por actividades dentro de un proyecto carretero, implementar mejoras en los diseños de pavimentos y el optar por prácticas ambientalmente más amigables son en parte la contribución del sector hacia un desarrollo sustentable; sin dejar de ser eficientes en otros aspectos igualmente importantes, como lo son la calidad de la ingeniería y la seguridad vial para todos sus usuarios.

La cuantificación en primera instancia, de qué tanto contribuye la infraestructura al Cambio Climático, es punto de partida para el análisis de los métodos y acciones por implementar, para fomentar las prácticas en el uso del reciclado, medidas como la revegetación y reforestación por acciones de obra y las opciones en el control de insumos para reducir energéticos y combustibles fósiles. Esto proyecta ser una de las prácticas que deberemos instrumentar en un futuro próximo. Los proyectos del Sector, en especial los de infraestructura, deberían comenzar a contar con una hoja de cálculo, sobre las emisiones generadas por el proyecto en cuestión y una mitigación en números de CO₂ eq, sobre lo que es posible mitigar en acciones y actividades específicas dentro del proyecto, en lo que ahora conocemos como la Manifestación de Impacto Ambiental, donde existen planes y programas de las actividades respecto a la mitigación ambiental.

El análisis de los proyectos que actualmente son desarrollados a nivel mundial, como el empleo de herramientas informáticas para las evaluaciones ambientales, está ayudando a generar bases de datos y a ajustar la metodología para ser más precisa en el cálculo de emisiones, gastos y generación de índices ambientales. Existe aún un gran campo de mejora para dichas herramientas; sin embargo, lo generado a la fecha representa un buen avance en materia ambiental. Estas bases están formando los cimientos en las calculadoras de carbono.

Con respecto a la innovación tecnológica, en el caso de pavimentos asfálticos (RAP); es factible -técnica y económicamente- el uso de material RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) en la fabricación de nuevas mezclas asfálticas para pavimentos flexibles. Existe la factibilidad ambiental en el uso de material RAP,

para minimizar el uso de material virgen y la sobreexplotación de reservas naturales.

También mitiga el manejo y acomodo los desechos, productos del fresado y demolición de mezclas asfálticas. Reconocemos que el uso de estos materiales, esta aún en pruebas de laboratorio y de campo reales; sin embargo, la necesidad y tendencia mundial están acelerando su investigación. Los resultados muestran cada vez más la eficiencia, sostenibilidad y seguridad al emplearse materiales reciclados; y así como la Ley de Cambio Climático ya es una realidad, es de esperar nuevos instrumentos normativos en este ámbito, para la estandarización de materiales reciclados; no solo por su beneficio ambiental, sino también por su contraparte de ahorros económicos.

Avances en el uso de la biotecnología han mostrado mejorar el entorno de la carretera, pues reducen los costos de conservación y cumplen con el propósito de estabilizar taludes y evitar deslizamientos de tierra. Son biotecnologías de manejo simple y con plantas que están disponibles localmente. Las ventajas de estos consisten en que son métodos simples, cuyo beneficio puede estar equilibrado con un provecho adicional hacia los lugareños, al emplearse plantas que les puedan generar ingresos. Aun cuando algunas de estas prácticas son realizadas esporádicamente en algunos proyectos carreteros, la prospectiva de que sean identificadas como tales y sea medible su beneficio en la mitigación de impactos dentro de los proyectos, puede sumarse a prácticas identificadas para la reducción de GEI en la infraestructura carretera.

Desarrollos como la aplicación de pavimentos para bloquear el calor solar muestran resultados con reducción en la temperatura de la superficie de hasta 16°C, en comparación con la temperatura superficial de pavimentos convencionales, además de presentar otras ventajas como la reducción de deterioros. Como otras innovaciones que requieren una inversión adicional para llevarse a cabo, en este caso serían una medida de adaptación y hay que evaluar y analizar el costo – beneficio su implementación. Aquí la importancia de realizar análisis de ciclo de vida integrales, donde las medidas de prevención -como podrían ser los costos de inversión en mantenimiento más los sobregastos de combustible por el deterioro de la carpeta- pueden ser reducidos por el costo de la aplicación de bloqueadores en pavimentos.

La promulgación de la Ley de Cambio Climático abre todo un nuevo panorama y esfuerzos en México, para cumplir con las perspectivas y metas plasmadas en la misma. Es el primer paso de transición a una economía competitiva de bajas emisiones, en carbono; la educación, investigación y desarrollo en nuestro país verá un impulso sin precedentes para promover y desarrollar tecnología y transferencia de esta, para la reducción de emisiones GEI y la adaptación a los efectos del cambio climático en México.

5 Conclusiones

Es un hecho fehaciente y comprobable que el Sector Transporte tiene una fuerte contribución sobre los factores que inciden en la magnitud del Cambio Climático. Sus principales contribuciones son debidas a la quema de combustibles fósiles y es ahí donde tenemos la mayor oportunidad de mejora, si buscamos implementar acciones para la reducción de gasto y consumo de energéticos.

Hacemos mención especial a los beneficios del reciclado de pavimentos asfálticos existentes. Estos son 100% reciclables y pueden ser reutilizados repetidas veces, con ello se reducen costos en la adquisición de material virgen, su procesamiento y en los energéticos. Una carpeta con 100% puede lograr desempeños iguales o incluso mejores que una carpeta asfáltica con materiales vírgenes. Es factible, técnica y económicamente, el uso de material RAP en la fabricación de nuevas mezclas asfálticas para pavimentos flexibles. Existe la factibilidad y beneficio ambiental con el uso de materiales RAP para evitar la sobreexplotación de reservas naturales, además de que disminuye el manejo y desechos de productos de fresado y demolición de mezclas asfálticas existentes.

Por otro lado, el uso de la biotecnología ha demostrado tener mejoras para el entorno de la carretera, al reducir costos de conservación y cumpliendo con el propósito de estabilizar taludes y evitar deslizamientos de suelos. Un manejo simple, y que las plantas estén disponibles localmente, es parte importante del beneficio de estas técnicas. Son métodos que pueden ser equilibrados con beneficios a los lugareños, empleando plantas que generen ingresos adicionales.

El desarrollo y las innovaciones en pavimentos figuran como una medida de adaptación a temperaturas más extremas a los que son sometidas las carreteras debido a cambios por el aumento de GEI. Los bloqueadores solares de pavimentos pueden reducir la temperatura de la superficie de los pavimentos hasta 16°C, en comparación con la temperatura superficial de los pavimentos convencionales (mezclas asfálticas densas); debido a la prevención de más absorción de radiación solar. El uso de pavimentos que bloquean el calor puede ayudar a reducir la formación de deterioros comunes y la sensación térmica para los peatones es mejorada con su uso.

Por último, hacemos notar como punto importante, que los marcos normativos, como la Ley de Cambio Climático son puntos clave en la implementación de mecanismos graduales para la reducción de los GEI en México. Debemos incentivar el desarrollo y contar como medio la producción de energía renovable, con perspectiva de cambio, para obtener resultados tangibles en el futuro.

Con mayor seguridad, mejores carreteras y caminos, llegaremos a progresos socioeconómicos; es fundamental lograr la mitigación de impactos ambientales, el servicio y movilidad en general, con el objetivo de continuar con un ritmo del crecimiento económico y demográfico de manera sustentable; para beneficio de nuestras generaciones futuras.

Bibliografía

Anderson, M. y Murphy, T., 2004. Laboratory mix design using RAP: Determining aggregate properties. *Asphalt Magazine*. 2004. Pp. 22-25.

ASTM D1856-95a(2003) Standard Test Method for Recovery of Asphalt From Solution by Absorb Method. PA 19428-2959, United States. ASTM website (www.astm.org).

ASTM D2172-05 Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen From Bituminous Paving Mixtures. PA 19428-2959, United States. ASTM website (www.astm.org).

Catalán, H., y Sánchez, L. 2009. Prospectiva del consumo de energía y su impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El caso de México. *Economía Informa*. No. 360.

Centro Mario Molina. <http://www.centromariomolina.org/index2.php>

Díaz Derbez, O, Fonseca-Rodríguez, C., De la Mora, R. 2010, "Cemento Asfáltico Recuperado y Empleado en el Diseño de Mezclas Asfálticas Reciclados en Monterrey". Publicado y presentado en el Seminario Mexicano del Asfalto. AMAAC, San Luis Potosí, México.

EAPA. Asociación Europea de Pavimentos Asfálticos. 2007. Best Available Techniques (BAT) for the production of asphalt paving mixes. Bruselas.

Fonseca Rodríguez, C., y Villalobos-Dávila, R. 2009. "Evaluación del Cemento Asfáltico Recuperado de una mezcla Asfáltica para su Caracterización en RAP". Publicado y presentado en el Sexto Congreso Mexicano del Asfalto. AMAAC, Cancún, México.

Gay García Carlos (Compilador) (2000). México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program. México, 220 p. ISBN 968-36-7562-X http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/cambio_climatico/index.html

Hayakawa, I., Yoshinaka, T., and Motida, S. (2008) On the Effectiveness of Heat Blocking Pavement at the airport taxiway, Proc. of Japan Society for Civil Engineer Kantou Region Conference, Vol. V (In Japanese).

Howell, JH. 1999. Manual de Referencia de Carreteras con Bio-ingeniería. Geo-Unidad para el Medio Ambiente, Departamento de Carreteras, Katmandú.

ICCP. Panel intergubernamental para el cambio climático. 2009. Políticas de respuestas a restaurar la crisis del crecimiento a largo y mediano plazo: resultados del cuestionario OECD. Febrero 2009.

Iwama, M., Yoshinaka, T., Omoto, S., Nemoto, N. 2012. Nippo Corporation. Japón.

Kinouchi, T., Yoshinaka, T., Fukae, N. Kanda, M. 2004. Development of Cool Pavement with Dark Colored High Albedo Coating, American Meteorological Society, 5th Conference on Urban Environment, no. 4.7.

Magaña-Rueda, V. O. 2004. El cambio climático global: comprender el problema. Cambio climático: una visión desde México. México Instituto Nacional de Ecología. Pág. 18.

Nanda, P. K, Chandwar, A., Sahu, B. K. 2011. Green-House Gas Emissions from the road project, 'Improvement of Gomti Beawar section of NH8'- a case study.

OMS, Organización Mundial de la Salud. 2007. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre Actualización mundial 2005.

ONU. Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. 1992. Artículo 1. Definiciones.

Pavement Recycling Executive Summary and Report, Federal Highway Administration, Report No. FHWA-SA-95-060, Washington, DC, 1995.
PECC (2009), El Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2009-2012, Poder Ejecutivo Federal, México

INECC. Portal sobre Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología http://cambio_climatico.ine.gob.mx/

Propuesta universitaria sobre el Cambio Climático Global. Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA-UNAM) <http://www.atmosfera.unam.mx/>

Schimmoller, V.E. 2000. "Recycled Materials in European Highway Environments: Uses, Technologies, and Policies" FHWA-PL-00-025, Office of International Programs, Federal Highway Administration, Washington, DC, USA.

Secretaría de Energía (SENER) (2008), Programa sectorial de energía y Prospectiva de petrolíferos 2004-2013, México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT-INE) (2006a), Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002, México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) http://www.semarnat.gob.mx/queessearnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/cambioclimatico.aspx

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT-INE) (2006b), México 3a Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Comité Intersecretarial sobre Cambio Climático.

Sunwar, I y Mull, A. 2003. Mantenimiento de la Vegetación en trabajos de Bioingeniería para la Gestión Sostenible de las laderas: Un estudio de Khamlingtar Hairpin Stack de la Carretera Koshi en el Este de Nepal. Seminario Internacional sobre Gestión Sostenible de los riesgos de taludes de las Carreteras, AIPCR, Katmandú, Nepal.

The European Asphalt Pavement Association (EAPA), (2005), "Industry Statement on the Recycling of Asphalt Mixes and Use of Waste of Asphalt Pavements", Committee on Health, Safety and Environment, Bruselas, Bélgica.

WMO, World Meteorological Organization 1986. Manual for estimation of probable maximum precipitation. Operational Hydrology Reporte No. 1 no. 332, Geneva ISBN 92 – 63 – 11332 – 2.

Zammataro, S, Laych, K., Sheela, V., Monhan-Rao, R., Hakim, B., Huang, Y. y Wilson, S. 2011. Assessing greenhouse gas emissions in road construction: an example of calculation tool for road projects. International Seminar on Reducing Carbon footprint in Road Construction PIARC. Technical Papers. New Delhi. Pp. 11-17.

http://cambio_climatico.ine.gob.mx/adaptacioncc/bibliografia.html

<http://unfccc.int/2860.php>

<http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/>

http://www.epa.gov/dced/pdf/gtsg_spanish.pdf

<http://www.int-res.com/journals/cr/>

<http://www.issrc.org/>

http://www.pincc.unam.mx/congresonacional2011/presentaciones_unam.html

<http://www.sistemas-sustentables.com/index.php?s=informacion&campo=1>

<http://www.slideshare.net/Rakakakata/cambio-climtico-ciencia-evidencia-y-acciones-semarnat>



Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>