



Certificación ISO 9001:2008 ‡

CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD PARA CARRETERAS EN MÉXICO

Juan Fernando Mendoza Sánchez

Publicación Técnica No. 392
Sanfandila, Qro. 2014

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Crterios de sustentabilidad para carreteras en
México**

Publicación Técnica No. 392
Sanfandila, Qro. 2014

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte, por el MC Juan Fernando Mendoza Sánchez, Jefe del Grupo de Investigación en Medio Ambiente.

Se agradece la colaboración de los miembros de Comité Técnico de Sustentabilidad e Impacto Ambiental de la AMIVTAC, así como del personal directivo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, quienes participaron en las encuestas para la determinación de los criterios de sustentabilidad para este proyecto.

Contenido

Resumen		iv
Abstract		vi
Resumen	ejecutivo	viii
Introducción		1
Capítulo 1.	Antecedentes	3
Capítulo 2.	Evaluando la sustentabilidad en carreteras	27
Capítulo 3.	Evaluación de la sustentabilidad en carreteras en México	63
Capítulo 4.	Definición de los criterios de sustentabilidad para carreteras en México	71
Capítulo 5.	Conclusiones	111
Bibliografía		113
Anexo 1	Encuesta sobre carreteras sustentables	119

Resumen

La presente investigación está basada en la revisión bibliográfica y documental sobre el estado del arte internacional sobre la sustentabilidad aplicada a carreteras, desarrollando un matriz internacional de sustentabilidad para los componentes técnico, ambiental, económico, social y de seguridad. Se incluye un diagnóstico del estado que guarda la sustentabilidad en las carreteras en México aplicando la herramienta del Benchmarking, comparándola con diferentes organismos internacionales que promueven las carreteras sustentables.

La definición de los criterios de sustentabilidad se realizó mediante el método Delphi, aplicando encuestas en dos niveles, el primero a expertos técnicos y el segundo a tomadores de decisiones. Los criterios evaluados incluyeron componentes ambientales, económicos, sociales, técnicos y de seguridad en las carreteras, aplicados en las diferentes etapas de un proyecto, planeación construcción y operación.

Los resultados incluyen la aceptación o rechazo de los diferentes criterios de sustentabilidad de la práctica internacional susceptibles de ser aplicado en México, incluyendo si la aplicación será en una base legal obligatoria o voluntaria.

Se marcan las pautas para el desarrollo de un programa de carreteras sustentables siguiendo el método de planeación estratégica, donde se describan los objetivos estratégicos y las acciones a implementar, el procedimiento y herramientas para evaluar la sustentabilidad.

Abstract

This research is based on the literature review and documentary on the international state of the art of the sustainability applied to roads, developing a sustainability matrix, and then develop diagnostic of the sustainability on the roads in Mexico applying benchmarking tool.

The definition of sustainability criteria was conducted using the Delphi method, using surveys on two levels, the first one was applied to technical experts and the second one to decision-makers. The criteria evaluated included environmental, economic, social, technical and road safety aspects, applied at different stages of a project: planning, construction and operation.

The results include the acceptance or rejection of different sustainability criteria of international practice that can be applied in Mexico, including whether the application will be voluntary or mandatory legal basis.

Is suggested a sustainable roads program following the method of strategic planning, which describe the strategic objectives and actions to implement the method and tools for assessing sustainability.

Resumen ejecutivo

La sustentabilidad es un concepto desarrollado como una preocupación mundial sobre el equilibrio del medio ambiente, la sociedad y la economía, esto debido principalmente a la presión que nuestro planeta está recibiendo de los impactos del desarrollo económico y de las condiciones de vida.

El reto ha sido en los últimos años en incorporar el concepto sustentabilidad a los diferentes ámbitos de desarrollo, tales como el transporte. Contar con un transporte sustentable es una necesidad para todas las naciones solucionando las necesidades de movilidad de forma segura, sin impactar al medio ambiente y asegurando la factibilidad técnica y económica en los proyectos.

Esta investigación realiza un ejercicio de cómo implementar el concepto sustentabilidad a las carreteras en México. Para ello se realizó una búsqueda internacional para identificar en la práctica cómo se manejó este concepto, donde la Federación Europea de Carreteras, definió las carreteras sustentables como aquellas que son eficaces y eficientemente planeadas, diseñadas, construidas, modernizadas y conservadas, a través de políticas integradas con respecto al medio ambiente y conservan el beneficio socio-económico esperado en términos de movilidad y seguridad.

Basados en los conceptos ambientales, económicos, sociales, técnicos y de seguridad se buscaron los principales promotores de dichos elementos que aplicaron la sustentabilidad a las carreteras. Los socios identificados fueron: la Federación de Carreteras de la Unión Europea quien en el 2009 desarrolló un documento que delimita cómo alcanzar una carretera sustentable en el futuro; las carreteras verdes (*Green roads*) es un sistema diseñado por la Universidad de Washington para integrar la sustentabilidad en las carreteras nuevas, rediseñadas o rehabilitadas, mediante una distinción de sustentabilidad que ayuda a que las carreteras tengan menores impactos al medio ambiente, menores impactos en su costo del ciclo de vida y mayores beneficios para la sociedad; la Agencia Federal de Carreteras de los Estados Unidos, a través de su programa INVEST define a las carreteras sustentables como parte integral del desarrollo sustentable, es decir, una carretera sustentable debe satisfacer los requisitos funcionales del ciclo de vida del desarrollo social y el crecimiento económico, mejorando el entorno natural y reduciendo el consumo de recursos naturales.

Con los conceptos establecidos por los socios, en esta investigación se realizó una búsqueda de las mejores prácticas internacionales para ejemplificar claramente cada uno de los criterios de sustentabilidad que se definieron entre los diferentes socios.

Los criterios de sustentabilidad analizados y clasificados, se enlistan a continuación.

Componente económico: Análisis del costo del ciclo de vida; Sistema de gestión de la calidad; Equilibrio de movimiento de tierras; Garantía del contratista; Uso de materiales locales; Pavimentos de larga duración; Mejores prácticas para el mantenimiento carretero y la preservación de la infraestructura; Eficiencia energética.

Componente social: Plan de mantenimiento del sitio; Planeación en el contexto; Pavimento silencioso; Contaminación lumínica; Reducción de emisiones vehiculares; Movilidad peatonal; Movilidad para vehículos de alta ocupación; Movilidad para ciclistas.

Componente técnico: Diseño geométrico; Inventario del ciclo de vida; Plan de control de calidad; Plan de manejo de residuos; Análisis hidrológico; Uso de materiales reciclados; Sistema de gestión ambiental; Formación ambiental; Plan de reciclaje; Reducción del consumo de combustibles fósiles; Reducción de emisiones en la pavimentación; Mezclas asfálticas tibias (WMA); Registro del uso del agua en la construcción; Vegetación nativa; Reciclaje de pavimentos; Sistema de Gestión de Pavimentos; Preservación de sitios históricos.

Componente ambiental: Evaluación del impacto Ambiental; Evaluación ambiental estratégica; Fragmentación del hábitat / Conectividad ecológica; Consideraciones especiales para áreas con alto valor ambiental; Plan de prevención de la contaminación del agua; Análisis del ciclo de vida; Plan de mitigación de ruido; Calidad de los escurrimientos superficiales / Prevención de la contaminación del agua; Control de los escurrimientos superficiales; Reducción del consumo de combustibles fósiles; Restauración del hábitat; Pavimentos permeables; Pavimento en frío; Paisaje / Vistas escénicas; Manejo del agua pluvial; Uso de energía alterna; Sumideros de carbono y óxidos de nitrógeno; Capacitación ambiental; Protección de la fauna.

Componente seguridad: Auditoría de seguridad vial; Sistemas inteligentes para el transporte; Mantenimiento de la superficie carretera; Seguimiento del desempeño de pavimentos.

Uno de los objetivos del presente trabajo es identificar el estado que guarda la sustentabilidad aplicada a carreteras en México. Para lograr este diagnóstico se aplicó la herramienta denominada Benchmarking con respecto a cada uno de los socios y los criterios de sustentabilidad que cada uno de ellos ha utilizado para evaluar la sustentabilidad en las carreteras, de tal manera que cuantitativamente se podría tener una valoración de estado actual de la sustentabilidad de las carreteras en México.

Los resultados fueron los siguientes:

CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD		COMPARATIVA DE SUSTENTABILIDAD			
		GREEN ROADS (UNIVERSITY OF WASHINGTON)	INVEST (FHWA)	SUSTAINABLE ROADS (EUROPEAN ROAD FEDERATION)	MÉXICO
TOTAL	57	50	26	20	19
%	100	87.7	45.6	35.1	33.3

La práctica en México alcanza apenas un 33.3% de criterios aplicados actualmente con respecto a los 57 conceptos identificados.

El proceso de definición de los criterios de sustentabilidad para México se realizó a través de aplicación de encuestas en dos niveles:

- El primero de ellos aplicado a técnicos expertos que realizan actividades de consultoría en temas afines a la sustentabilidad para carreteras, tales como elaboración de estudios de impacto ambiental. El objetivo en este nivel es conocer la opinión de los especialistas sobre la necesidad para México de implementar cada criterio de sustentabilidad que se describió en los capítulos anteriores y, con ellos, poder tener un primer filtro de aceptación de dichos criterios de sustentabilidad para carreteras.
- El segundo nivel de encuesta fue aplicado a tomadores de decisiones, particularmente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, basados en el mismo formato de encuesta del primer filtro. El objetivo es conocer la opinión de los tomadores de decisiones sobre la factibilidad de poder incluir los criterios de sustentabilidad a los proyectos carreteros.

Los resultados fueron 44 y 25 respuestas para cada nivel respectivamente, de los estados identificados en el siguiente mapa.



En los resultados de la encuesta aplicada a los expertos técnicos de los 48 criterios encuestados, todos ellos fueron aprobados con amplia mayoría para que sean criterios de sustentabilidad para las carreteras en México. En el aspecto del tipo de cumplimiento, sólo tres aspectos fueron designados como de cumplimiento voluntario (pavimentos en frío, pavimentos silenciosos y las vistas escénicas/paisaje), aunque en todos los casos la mayoría de las respuestas especificaron que el cumplimiento debería ser obligatorio.

En los resultados de la encuesta aplicada a los tomadores de decisiones de los 48 criterios consultados, todos fueron aceptados como criterios de sustentabilidad a aplicarse a las carreteras en México. Del carácter del criterio sólo uno fue definido como voluntario, y todos los demás serían obligatorios, aunque los menos aceptados de los votados son: análisis del ciclo de vida, calidad de los escurrimientos superficiales, pavimentos permeables, manejo del agua pluvial, sistema de gestión de la calidad, pavimentos de larga duración, vistas escénicas/paisaje, pavimentos silenciosos, contaminación lumínica, formación ambiental y mezclas asfálticas tibias (WMA).

Los resultados se promediaron para obtener el grado de aceptación de cada uno de los criterios, y el esquema sobre el cual se quiere que sean aplicados, dando mayor peso a la base legal, la cual fue incluida a los promedios, de tal manera que aspectos que fueron menos aceptados que otros pudieran integrar los criterios seleccionados para las carreteras en México.

Se aplicó un formato condicional a las celdas para visualizar claramente los resultados de tal manera que los valores promediados por debajo de un 80% fueran eliminados para este estudio, aunque en un futuro pudieran ser reincorporados. De esta manera los criterios de sustentabilidad para México se muestran en la siguiente tabla.

CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD	RESULTADOS				Promedio	Evaluación condicional	Criterios para México
	EXPERTOS		DECISORES				
	No.	Ca...	No.	Ca...			
Evaluación del impacto ambiental	95.4	97.6	100	100	98.3	98.25	Sí
Evaluación ambiental estratégica	NE	NE	NE	NE	NE	NE	No
Fragmentación del hábitat / Conectividad ecológica	95.4	97.6	100	96	97.3	97.25	Sí
Consideraciones especiales para áreas con alto valor ambiental	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Sí
Plan de prevención de la contaminación del agua	97.7	93	96	87.5	93.6	93.55	Sí
Análisis del ciclo de vida	93.2	70.7	86.9	65	79	78.95	No
Plan de mitigación de ruido	88.6	94.9	92	86.9	90.6	90.6	Sí
Calidad de los escurrimientos superficiales / Prevención de la contaminación del agua	95.4	85.7	84	71.4	84.1	84.125	Sí
Control de los escurrimientos superficiales	100	93.2	96	75	91.1	91.05	Sí
Restauración del hábitat	100	97.7	100	92	97.4	97.425	Sí
Pavimentos permeables	97.7	72	69.6	50	72.3	72.325	No
Pavimento en frío	93.2	68.3	86.9	35	70.9	70.85	No
Paisaje / Vistas escénicas	95.45	66.67	60	56.2	69.6	69.58	No

Manejo del agua pluvial	100	72.7	84	61.9	79.7	79.65	Sí
Uso de energía alterna	100	75	87.5	76.2	84.7	84.675	Sí
Sumideros de carbono y óxidos de nitrógeno	NE	NE	NE	NE	NE	NE	No
Capacitación ambiental	95.4	83.3	100	76	88.7	88.675	Sí
Protección de la fauna	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Sí
Análisis del costo del ciclo de vida	93.2	95.1	96	83.3	91.9	91.9	Sí
Sistema de gestión de la calidad	93.2	92.7	95.8	69.6	87.8	87.825	Sí
Equilibrio de movimiento de tierras	97.7	90.7	95.6	77.3	90.3	90.325	Sí
Garantía del contratista	97.7	90.7	100	100	97.1	97.1	Sí
Uso de materiales locales	97.7	72.1	82.6	84.2	84.2	84.15	Sí
Pavimentos de larga duración	93.2	82.9	91.3	57.1	81.1	81.125	Sí
Mejores prácticas para el mantenimiento carretero y la preservación de la infraestructura	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Sí
Eficiencia energética	100	75	100	86.9	90.5	90.475	Sí
Plan de mantenimiento del sitio	93.2	95.1	100	92	95.1	95.075	Sí
Planeación en el contexto	97.7	81.4	88	77.3	86.1	86.1	Sí
Pavimento silencioso	93.2	65.8	95.6	59.1	78.4	78.425	No
Contaminación lumínica	81.82	75	80	75	78	77.955	No
Reducción de emisiones vehiculares	93.2	87.8	96	79.2	89.1	89.05	Sí
Movilidad peatonal	93.2	92.7	92	86.9	91.2	91.2	Sí
Movilidad para vehículos de alta ocupación	100	79.6	96	79.2	88.7	88.7	Sí*
Movilidad para ciclistas	90.1	90	92	78.3	87.6	87.6	Sí*
Diseño geométrico	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Sí
Inventario del ciclo de vida	90.1	82.5	96	91.7	90.1	90.075	Sí
Plan de control de calidad	88.6	97.4	100	92	94.5	94.5	Sí
Plan de manejo de residuos	100	95.4	100	92	96.9	96.85	Sí
Análisis hidrológico	100	97.7	92	78.3	92	92	Sí
Uso de materiales reciclados	97.7	79.1	95.7	77.3	87.5	87.45	Sí
Sistema de gestión ambiental	97.7	88.4	96	87.5	92.4	92.4	Sí
Formación ambiental	97.7	100	100	66.7	91.1	91.1	Sí
Plan de reciclaje	97.73	93.02	95.8	78.3	91.2	91.2125	Sí
Reducción del consumo de combustibles fósiles	100	75	87.5	76.2	84.7	84.675	Sí
Reducción de emisiones en la pavimentación	95.4	85.7	83.3	90	88.6	88.6	Sí
Mezclas asfálticas tibias (WMA)	93.2	80.5	86.9	40	75.2	75.15	No
Registro del uso del agua en la construcción	93.2	92.7	91.7	86.4	91	91	Sí
Vegetación nativa	100	97.7	100	92	97.4	97.425	Sí
Reciclaje de pavimentos	100	90.9	100	82.6	93.4	93.375	Sí
Sistema de gestión de pavimentos	93.2	78	96	87.5	88.7	88.675	Sí
Preservación de sitios históricos	100	84.09	96	75	88.8	88.7725	Sí
Auditoría de seguridad vial	88.6	94.9	100	88	92.9	92.875	Sí
Sistemas inteligentes para el transporte	90.9	72.5	84	76.2	80.9	80.9	No
Mantenimiento de la superficie carretera	NE	NE	NE	NE	NE	NE	No
Seguimiento del desempeño de pavimentos	95.4	80.9	95.6	86.4	89.6	89.575	Sí

NE=No encuestado

*Aplica sólo para carreteras urbanas

Estos criterios identificados por sí solos no pueden ser implementados para obtener su máximo potencial, para ello se requiere la definición de mecanismos para el seguimiento y revisión de la sustentabilidad en la planificación, que incluirá el método o procedimiento para evaluar los componentes socio-económicos y medioambientales de los proyectos carreteros.

Este procedimiento debe estar en un plan estratégico de acción para la sustentabilidad en carreteras, que permita mover el desarrollo de infraestructura en un marco más sustentable, cuidando los aspectos más importantes en los que se evaluaron los criterios en esta investigación: lo técnico, lo social, lo ambiental, lo económico y la seguridad.

El plan estratégico para carreteras sustentables en México debe ser elaborado en una segunda fase de esta investigación.

Conviene también en un futuro desarrollar una herramienta que permita a cada proyecto carretero, identificar en qué nivel de cumplimiento de la sustentabilidad se encuentra.

Finalmente, se espera que la presente investigación sea un referente en español para entender la sustentabilidad aplicada a las carreteras y cómo los criterios pueden ser definidos para cada país en función de la experiencia y la factibilidad de poder ser incorporados a las políticas nacionales.

Introducción

La presente publicación aborda la problemática ambiental en el sector transporte y como ésta ha llevado a que los países y organismos internacionales aborden esta preocupación y la integren en sus políticas de gestión. Uno de los conceptos más utilizados en dichas políticas públicas es la “sustentabilidad”.

La sustentabilidad es un concepto desarrollado como una preocupación mundial sobre el equilibrio del medio ambiente, la sociedad y la economía, esto debido principalmente a la presión que nuestro planeta está recibiendo de los impactos del desarrollo económico y de las condiciones de vida.

El reto en los últimos años ha sido incorporar el concepto sustentabilidad a los diferentes ámbitos de desarrollo, entre ellos, el transporte. Contar con un transporte sustentable es una necesidad para todas las naciones, solucionando las necesidades de movilidad de forma segura, sin impactar al medio ambiente y asegurando la factibilidad técnica y económica en los proyectos.

Este mismo esquema para el transporte sustentable se busca aplicar a las carreteras, por eso se realizó una búsqueda donde diferentes organizaciones han trabajado esquemas técnicos para alcanzar carreteras sustentables, tales como el “*Green Roads*” desarrollado por la Universidad de Washington, el esquema “*Sustainable roads and optimal mobility*” de la Federación Europea de Carreteras o INVEST de la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos.

Los conceptos descritos en los párrafos anteriores se detallan ampliamente en el capítulo 1 de esta investigación.

Para ahondar en cada aspecto, donde los organismos internacionales describían los criterios de la sustentabilidad para carreteras, se realizó una búsqueda también de la práctica internacional para entender cada uno de esos criterios, para después integrarlos en una matriz internacional con cada aspecto estudiado, cuyos resultados se reflejan en el capítulo 2, clasificados en cinco grupos: social, económico, técnico, ambiental y de seguridad.

El capítulo 3, describe la metodología utilizada para poder identificar los criterios de sustentabilidad que serían susceptibles de aplicar en México, y los resultados de la realización de un benchmarking para comparar cada criterio con las diferentes referencias y conocer el estado actual de la sustentabilidad en el país a manera de diagnóstico.

Los criterios de sustentabilidad para México se definieron a través de encuestas aplicadas a expertos técnicos y tomadores de decisiones. El proceso y los resultados de las encuestas se muestran en el capítulo 4. En este capítulo también se realiza una breve discusión de los resultados y cómo estos serían definidos en un formato condicional para calificar los diferentes criterios a través de los promedios obtenidos de las encuestas, para de esta manera establecer los que se sugieren puedan ser implementados en las carreteras en México relacionados con la sustentabilidad.

Adicionalmente en el capítulo 4 se plantea la necesidad de que los criterios de sustentabilidad para carreteras sean adoptados en un plan estratégico y cuál debería ser de manera general el contenido del mismo para asegurar su éxito.

Las conclusiones refuerzan la necesidad de que las autoridades del transporte en México a nivel federal incluyan los criterios de sustentabilidad en un plan o programa de carreteras sustentables, para que mediante un proceso bien definido y a través del uso de herramientas que se desarrollen ad-hoc, se pueda evaluar de manera obligatoria la sustentabilidad.

La sustentabilidad debe influir en las políticas públicas de crecimiento económico para evitar los impactos negativos en el componente ambiental, y sus repercusiones en los aspectos sociales y económicos.

Finalmente la presente investigación busca ser un referente en español para entender la sustentabilidad aplicada a las carreteras y cómo los criterios pueden ser definidos para cada país en particular en función de la experiencia y la factibilidad de poder ser incorporados a las políticas nacionales.

1 Antecedentes

Para conocer el inicio y evolución del concepto de sustentabilidad es necesario describir cómo los temas ambientales y sus problemas asociados, fueron apareciendo en las agendas internacionales a fin de establecer acciones para su protección y preservación.

1.1 Problemática ambiental

La humanidad a lo largo de la historia ha hecho uso y disfrute de los recursos naturales para satisfacer sus necesidades relacionadas con las condiciones de vida, sin embargo, fue la revolución industrial el detonante del capitalismo, donde además de buscar el bienestar humano, los países comenzaron a trabajar en su desarrollo económico.

La problemática en términos de sustentabilidad se debe principalmente al crecimiento exponencial de la población, al uso excesivo de los recursos naturales y al impacto que las actividades humanas tienen sobre el medio ambiente, degradándolo hasta alcanzar condiciones que rebasan su propia capacidad de recarga.

Los impactos que la población entera ha generado sobre el planeta están contribuyendo a su deterioro, debido principalmente a que éste está siendo sometido a presiones a los cuales los procesos naturales no han podido responder mitigando los efectos adversos adecuadamente, formando tendencias insostenibles y perjudiciales para la salud humana, para los ecosistemas y el clima.

Los primeros problemas ambientales fueron debido al uso de agroquímicos que tuvieron un impacto en la morbilidad de aves. Posteriormente la explosión demográfica empezó a aparecer como elemento causa del agotamiento de los recursos naturales. Le siguieron los efectos que la industrialización y la tecnología estaban teniendo sobre el medio ambiente y la salud humana, impactos tales como las emisiones contaminantes.

Las alarmas ambientales también incluyeron aspectos como la generación de residuos sólidos, la explotación excesiva de recursos renovables y no renovables, el desarrollo urbano, consumo de energía, y recientemente el ruido ambiental.

Estos impactos comenzaron a mostrar el panorama de la problemática ambiental y a incidir en las políticas internacionales para demandar respuesta y atención, celebrando convenciones y conferencias internacionales.

1.2 Panorama internacional de las políticas ambientales

La tendencia en ascenso del volumen de la producción mundial y los efectos críticos sobre el medio ambiente llevó a que instituciones como la Organización de las Naciones Unidas (ONU) realizara importantes esfuerzos desde 1949, donde en Nueva York se celebró la primera conferencia sobre problemas ambientales, la cual se centró en la reconstrucción de la postguerra, el suministro de alimentos y el inicio de la guerra fría entre los líderes de los principales bloques capitalistas y comunistas.

Los temas ecológicos fueron trabajados principalmente por la UNESCO, la cual auspiciaba la generación de conocimiento sobre el efecto que las actividades humanas tenían sobre el medio ambiente, los cuales se presentaron en la Conferencia Internacional de la Biósfera, en París, en 1968. Fue ese evento donde se planteó la idea de promover un encuentro mundial sobre medio ambiente, el cual se llevó uno años después en la ciudad de Estocolmo.

1.2.1 Conferencia de Estocolmo

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, celebrada en Estocolmo en 1972, dio vida a la Conferencia de Estocolmo. Fue la primera gran conferencia de la ONU sobre cuestiones ambientales internacionales y marcó un punto de inflexión en el desarrollo de la política internacional del medio ambiente.

La Conferencia de Estocolmo emitió una Declaración de 26 principios y un plan de acción. La conferencia también definió al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

Dentro de los logros de la conferencia fue establecer el derecho para las personas a vivir en un medio ambiente de calidad que les permita una vida digna y gozar de bienestar. A partir de esta declaratoria se comenzó el desarrollo de las legislaciones en diferentes países en temas de equilibrio ecológico y protección al medio ambiente.

1.2.2 Agenda 21

La Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992, conocida como Agenda 21, da continuidad a los trabajos de la Declaración de Estocolmo.

La agenda 21, aborda los problemas actuales y trata de sentar las bases para preparar al mundo sobre los desafíos del próximo siglo. Incluye un compromiso al más alto nivel con los gobiernos sobre desarrollo y cooperación en la esfera del medio ambiente.

La declaratoria proclama 27 principios, para alcanzar acuerdos internacionales con estricto respeto a los intereses de todos, donde se proteja la integridad del sistema ambiental y del desarrollo mundial.

En la dimensión social y económica incluye aspectos sobre acelerar el desarrollo de los países más pobres, la lucha contra la pobreza, la evolución de las modalidades de consumo, la dinámica demográfica y la sustentabilidad, la protección y fomento de la salud humana, desarrollo de los recursos humanos, y la integración del medio ambiente al desarrollo.

En la dimensión sobre la conservación y gestión de los recursos, se integra la protección a la atmósfera, la planificación y ordenamiento territorial, la lucha contra la deforestación, el ordenamiento de los ecosistemas frágiles, fomento de la agricultura y del desarrollo rural, conservación de la diversidad biológica, gestión de la biotecnología, protección de los océanos y mares, protección de la calidad y suministro del agua dulce, gestión racional de los productos químicos tóxicos, gestión de los desechos peligrosos, gestión de los desechos sólidos y de las aguas negras y, finalmente, la gestión de los desechos radiactivos.

Otro aspecto es el fortalecimiento de grupos vulnerables, donde se proponen medidas como el desarrollo equitativo para la mujer, desarrollo para los niños y jóvenes, fortalecimiento y reconocimiento para las poblaciones indígenas, apoyo a las organizaciones no gubernamentales asociadas a la búsqueda del desarrollo sustentable, fortalecimiento de la ciencia y tecnología, mejorar el rol de los trabajadores y sus sindicatos, renovar el comercio y la industria, y fortalecer la participación de los agricultores.

Para alcanzar el logro de lo descrito en los párrafos anteriores se requieren medios y mecanismos de financiamiento, de transferencia de tecnología, del desarrollo de la ciencia, del fortalecimiento de la educación y la capacitación, de la cooperación internacional y de la implementación de instrumentos jurídicos.

1.2.3 Cumbre de Johannesburgo

En la Declaración de Johannesburgo, en año 2002, realizó el compromiso en edificar una sociedad humana global, equitativa y solícita, basada en la dignidad humana. Además se asume la responsabilidad colectiva de impulsar y fortalecer en los ámbitos local, nacional, regional y global, los fundamentos del desarrollo sustentable: desarrollo económico, desarrollo social y protección al medio ambiente.

La declaración asume el compromiso de extender un esfuerzo contundente para responder positivamente a la necesidad de desarrollar un plan para erradicar la pobreza e impulsar el desarrollo humano. En este sentido reconocen que la erradicación de la pobreza, el cambio de los patrones de producción y consumo y la protección y manejo de los recursos naturales, constituyen la base del

desarrollo económico y social, y son requisitos esenciales para el desarrollo sustentable.

En el documento se establece la determinación de asegurar que la biodiversidad, es la fortaleza colectiva y será aprovechada para desarrollar acciones a favor del cambio y el logro de los objetivos comunes del desarrollo sustentable.

Para la atención de los retos se establece una vigilancia para el logro de las metas y objetivos del desarrollo sustentable, afín de materializar la preservación del planeta, el desarrollo humano y la prosperidad para las naciones.

1.3 El origen de la sustentabilidad

Existen principalmente tres corrientes afines al tema que con diferentes enfoques y actores han participado en el debate ambiental.

El primero tiene un enfoque conservacionista, donde autores como *Aldo Leopold* realizaron importantes aportaciones a la protección y conservación del medio ambiente.

El ambientalismo moderado acepta la existencia de ciertos límites que impone la naturaleza a la economía, la también llamada economía ambiental. Políticamente según *Pierrri*, es la propuesta hegemónica del desarrollo sustentable con crecimiento económico y márgenes de conservación, abanderados por los organismos internacionales en la materia.

El último enfoque entendido como corriente humanista, asume que el desarrollo sustentable requiere un cambio social para su construcción efectiva, centrado en entender las necesidades y calidad de vida de la mayoría de los seres humanos, con un uso responsable de los recursos naturales. Esta visión encierra enfoques de ecología social y ecodesarrollo.

La corriente *marxista* descrita por *Pierrri*, entiende que el problema ambiental no está dado por los límites físicos externos a la sociedad sino por la forma de organización social del trabajo que determina qué recursos usar, la forma y el ritmo de uso.

Sachs en 1974 en su artículo "*Environnement et styles de développement*" designa un estilo de desarrollo aplicable a proyectos, tanto urbanos como rurales, cuyos principios destacan: el uso de los recursos para la satisfacción de las necesidades básicas; la gestión de los recursos naturales con una perspectiva de solidaridad con las generaciones futuras; reducción de los impactos negativos para preservar los recursos naturales y proteger el medio ambiente; un sistema social que garantice el empleo, la seguridad social y respeto a otras culturas; el uso de la energía local, preferentemente aquella de fuentes renovables; el desarrollo de tecnologías apropiadas de eco-desarrollo; el apoyo de los países

desarrollados al crecimiento de los menos desarrollados; la participación de la población involucrada.

De manera complementaria las conferencias internacionales fueron gestoras para la formulación de estrategias de un desarrollo que fue la base del concepto, cuya culminación se enmarcó en 1987 en el llamado Informe *Brundtland*.

1.3.1 Informe Brundtland

En 1987, la Comisión Mundial de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo adoptaron por unanimidad el documento Nuestro futuro común o Informe *Brundtland*, que constituye el acuerdo más amplio entre científicos y políticos del planeta y que sintetiza los desafíos globales en materia ambiental en el concepto de desarrollo sustentable.

Brundtland parte de la idea de que el desarrollo y el medio ambiente están estrechamente ligados.

El desarrollo sustentable se definió como “aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”.

El concepto de desarrollo sustentable no implica límites absolutos, sino limitaciones impuestas por el estado actual de la tecnología y la organización social sobre los recursos ambientales, y por la capacidad de la biosfera para absorber los efectos de las actividades humanas. Sin embargo, la tecnología y la organización social pueden ser a la vez gestionadas y mejoradas para dar paso a una nueva era de crecimiento económico.

La Comisión que elaboró el informe cree que la pobreza generalizada ya no es tan inevitable. La pobreza no sólo es un mal en sí mismo, sino que el desarrollo sustentable requiere satisfacer las necesidades básicas de todos y extender a todos la oportunidad de cumplir sus aspiraciones de una vida mejor. Un mundo donde la pobreza es endémica será siempre proclive a las catástrofes ecológicas y de otro tipo.

El informe relata que satisfacer las necesidades esenciales requiere no sólo una nueva era de crecimiento económico para los países en los que la mayoría son pobres, sino una garantía de que los pobres obtienen su cuota justa de los recursos necesarios para sostener ese crecimiento. Dicho capital se verá favorecido por los sistemas políticos que garanticen la participación efectiva de los ciudadanos en la toma de decisiones y una mayor democracia en la toma de decisiones a nivel internacional.

El desarrollo global sustentable requiere que aquellos que son más ricos adopten estilos de vida dentro de los medios ecológicos del planeta, por ejemplo en la utilización de energía. Además, las poblaciones de rápido crecimiento pueden aumentar la presión sobre los recursos y frenar cualquier aumento en los niveles de vida, por lo que el desarrollo sustentable sólo puede llevarse a cabo si el tamaño de la población y el crecimiento están en armonía con el cambiante potencial productivo del ecosistema.

También el informe describe que el desarrollo sustentable no es un estado fijo de armonía, sino más bien un proceso de cambio en el que la explotación de los recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del desarrollo tecnológico y el cambio institucional se hacen compatibles con el futuro, así como las necesidades del presente. El proceso no es fácil, ni sencillo, se tienen que tomar decisiones complicadas. Por lo que el desarrollo sustentable debe basarse en la voluntad política de las naciones.

1.4 Desarrollo sustentable

El desarrollo sustentable es una vertiente de los tiempos modernos donde se expresa que el crecimiento y desarrollo de los países debe ir directamente relacionados con las políticas de protección al medio ambiente y al desarrollo social de sus comunidades.

En ocasiones el desarrollo sustentable se entiende como un proceso. Una de las restricciones más importantes en este proceso es la explotación de los recursos naturales. Es necesario modificar de manera positiva y significativa los patrones actuales de producción y consumo, particularmente en los países desarrollados. Una estrategia trascendente es la reorientación de la tecnología hacia formas con menos impactos ambientales y menores consumos de energía fósil.

El desarrollo sustentable se entiende entonces como la integración de los sectores económicos, sociales y ambientales, donde la producción de bienes y la prestación de servicios respetan la integridad funcional de los sistemas ambientales, minimizando su vulnerabilidad y compatibilizando su capacidad de recarga natural.

En el año 2012 la Asamblea de las Naciones Unidas celebró la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sustentable, en Río de Janeiro, donde se generó el documento “El futuro que queremos” el cual expresa la visión del desarrollo sustentable apoyado en los tres pilares: económico, social y ambiental. La Figura 1 muestra el esquema de la sustentabilidad.

El documento reconoce las siguientes necesidades como objetivos generales y requisitos indispensables del desarrollo sustentable: la erradicación de la pobreza, la modificación de las modalidades insostenibles y la promoción de modalidades de consumo y producción sustentables, y la protección y ordenación de la base de recursos naturales del desarrollo económico y social.

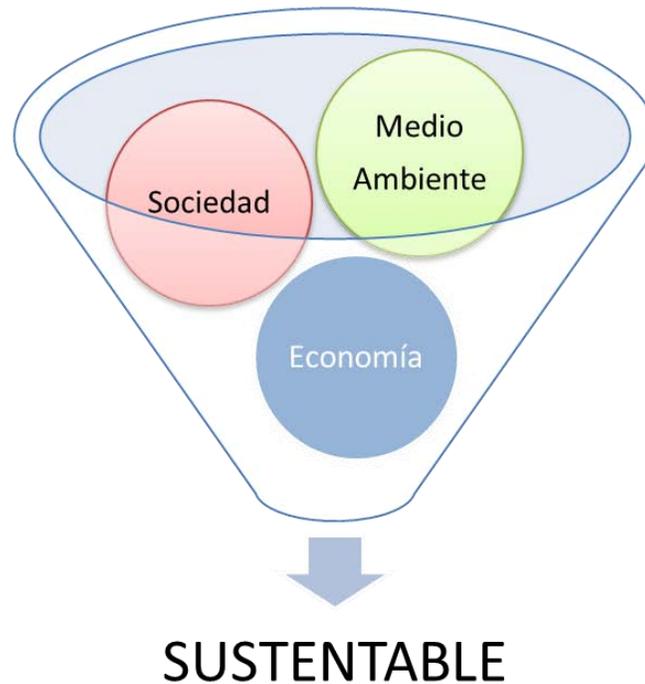


Figura 1. Esquema de los tres pilares del desarrollo sustentable

Se reafirma también en el documento “El futuro que queremos” que es necesario lograr el desarrollo sustentable promoviendo un crecimiento sostenido, inclusivo y equitativo, creando mayores oportunidades para todos, reduciendo las desigualdades, mejorando los niveles de vida básicos, fomentando el desarrollo social equitativo y la inclusión, y promoviendo la ordenación integrada y sustentable de los recursos naturales y los ecosistemas, que contribuye, entre otras cosas, al desarrollo económico, social y humano y facilita al mismo tiempo la conservación, la regeneración, el restablecimiento y la resiliencia de los ecosistemas frente a los problemas nuevos y en ciernes.

Existen otras formas de definir el desarrollo sustentable, aunque el reto es cómo incluir este concepto en el transporte, dado que los patrones actuales que gobiernan este sector está el consumo desmesurado de energía fósil y de los impactos ambientales que ocasionan, principalmente las emisiones.

1.5 Transporte sustentable

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) definió al transporte sustentable como aquel que no compromete la salud pública y el medio ambiente y resuelve las necesidades de movilidad para las personas y mercancías, basadas en el uso de fuentes de energía renovables y su tasa de regeneración, o el uso de fuentes no renovables de energía apropiadas al desarrollo de fuentes de energía alternas para ser sustituidas.

Un sistema de transporte sustentable debe proveer la accesibilidad a las personas, a los lugares, a las mercancías y los servicios, de una manera ambientalmente responsable, socialmente aceptables y económicamente viables.

En un largo plazo el transporte sustentable debe proteger la salud humana, asegurar la integridad de los ecosistemas, respetar los límites para la salud y ecológicos (niveles críticos y de recarga), prevenir al mínimo la contaminación, asegurar la sustentabilidad en el uso de fuentes de energía renovable y evitar cambios inducidos por los humanos en el sistema ambiental que impacten la atmosfera y los océanos, proveer seguridad vial.

La OCDE desarrolló una guía mediante la cual se pretende asegurar el desarrollo hacia un transporte sustentable en los países miembros. Los factores clave para dicha guía fueron: los límites de CO₂, su crecimiento e impacto al cambio climático; la calidad del aire a nivel regional, en relación al NO_x y a los químicos orgánicos volátiles (VOC); la calidad del aire local donde existe una alta concentración de partículas volátiles (PM); el ruido originado por el transporte carretero y su impacto en la salud humana en zonas urbanas y sub-urbanas; el uso del suelo debido a los cambios que sufre por la generación de nueva infraestructura para el transporte, la cual contribuye a la fragmentación del hábitat, presión en la biodiversidad y desequilibrio en los ecosistemas.

1.5.1 Transporte ambientalmente sustentable

La guía elaborada por la OCDE se denominó Transporte Ambientalmente Sustentable (ETS, por sus siglas en inglés que corresponden a *Environmentally Sustainable Transport*).

Los criterios que incluye el documento son los siguientes:

- Desarrollar una visión a largo plazo sobre el futuro del transporte que sea sustentable para proveer beneficios a la salud de las personas y al medio ambiente, y de accesibilidad y movilidad.
- Determinar las tendencias de transporte a largo plazo, considerando todos los aspectos del transporte, sus impactos ambientales y a la salud humana, y las implicaciones económicas y sociales de acuerdo a los métodos de operación presentes (*Business As Usual*).

- Definir los objetivos de calidad para la salud humana y el medio ambiente, basados en estándares y criterios, y en los requerimientos de sustentabilidad.
- Establecer las metodologías para cuantificar el cumplimiento de los objetivos especificados para el sector en los términos de calidad de la salud humana y el medio ambiente. La periodicidad de verificación y los hitos.
- Establecer las estrategias para lograr un ETS y la combinación de medidas para asegurar el crecimiento tecnológico y los cambios en el transporte.
- Evaluar las implicaciones sociales y económicas, y asegurar que éstas son consistentes con los componentes social y económico de la sustentabilidad.
- Construir conjuntos de medidas e instrumentos para alcanzar las metas y objetivos del ETS. Destacar las estrategias "ganar-ganar" que se incorporaron, en particular, la política tecnológica, la inversión en infraestructura, precios, la demanda de transporte y gestión del tránsito, la mejora del transporte público, y el impulso a la bicicleta y a los peatones; capturar sinergias (por ejemplo, las contribuyen a la mejora de la seguridad vial) y evitar contrarrestar los efectos entre los instrumentos.
- Desarrollar un plan de implementación que consiste en la aplicación correcta por fases de paquetes de instrumentos capaces de lograr un EST teniendo en cuenta las circunstancias locales, regionales y nacionales. Establecer un calendario claro y asignar responsabilidades para su implementación. Evaluar si las políticas propuestas, planes y programas contribuyen en el EST y los sectores asociados que utilizan herramientas como la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE).
- Establecer disposiciones para el seguimiento de la aplicación y de información pública sobre la estrategia del EST, el uso de indicadores de transporte sustentables coherentes y bien definidos para comunicar los resultados, garantizar medidas de seguimiento para adaptar la estrategia de acuerdo con las aportaciones recibidas y nuevas pruebas científicas.
- Construir un amplio apoyo y cooperación para la aplicación del EST, que incluya a las partes interesadas, garantizando su participación activa y su compromiso, y permitir una amplia participación pública, aumentar la conciencia pública y proporcionar programas de educación. Asegurar que todas las acciones son consistentes con la responsabilidad global para el desarrollo sustentable.

1.6 Carreteras sustentables

El concepto de sustentabilidad aplicado a las carreteras no sólo es referido al cuidado del componente ambiental, sino que cualquier aspecto que pretenda ser sustentable en las vías de comunicación debe garantizar -además del cuidado al medio ambiente- la seguridad y la calidad de los desplazamientos, así como la rentabilidad económica y social, contribuyendo al desarrollo del país.

El panorama internacional cuenta con investigaciones y trabajos referidos a la movilidad sustentable o al transporte sustentable, pero sólo unos pocos se enfocan al aspecto de la infraestructura únicamente, por lo que habrá que abordar de una manera más integral tales aspectos de sustentabilidad.

La Federación Europea de Carreteras (ERF, por sus siglas en inglés) define a las carreteras sustentables como aquellas que son eficaces y eficientemente planeadas, diseñadas, construidas, modernizadas y conservadas, a través de políticas integradas con respecto al medio ambiente y conservan el beneficio socio-económico esperado en términos de movilidad y seguridad.

Por otro lado la Universidad de Washington desarrolló un sistema llamado Carreteras Verdes (Greenroads), usados para distinguir las carreteras sustentables mediante una certificación. En este contexto una carretera sustentable es aquella que tiene menores impactos al medio ambiente, bajos costos en su vida útil y más beneficios positivos para la sociedad.

1.6.1 Carreteras sustentables (ERF)

Contar con infraestructura para el transporte más sustentable, como las carreteras, contribuye a la sustentabilidad, por eso la Federación de Carreteras de la Unión Europea desarrolló en el 2009 un documento que muestra paso a paso cómo alcanzar una carretera sustentable en el futuro.

La sustentabilidad en las carreteras va más allá de las consideraciones ambientales, debe incluir también los aspectos social y económico, en los proyectos y programas. La ERF, entonces, describe por etapas del proyecto las mejores prácticas de sustentabilidad, que son descritas a continuación.

Diseño y planeación de carreteras

En esta etapa del proyecto se deben incluir en la planeación de las carreteras la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) dentro del proceso para evaluar los impactos ambientales que tendrá el proyecto. Por otro lado la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) está desarrollando un rol importante como instrumento en la evaluación ambiental de planes y programas.

La fragmentación del hábitat es un efecto negativo de gran impacto sobre la biodiversidad cuando la carretera no está cuidadosamente diseñada. Para evitar el efecto barrera que ésta genera puede ser a través de la construcción de pasos de fauna o con la preservación natural de los corredores biológicos.

Las áreas naturales con alto valor ambiental requieren especial cuidado, particularmente para evitar al mínimo los impactos ambientales y mitigar los necesarios, con medidas tales como los pasos de fauna, barreras anti-ruido, diseño geométrico adecuado, uso de especies vegetales locales, etc.

Un diseño adecuado del alineamiento vertical de la carretera es necesario para reducir el consumo de energía en la operación de la carretera y bajar los niveles de generación de emisiones contaminantes emitidas a la atmósfera.

Construcción, operación y conservación de las carreteras

La construcción y mejoramiento de las carreteras son una oportunidad para el diseño adecuado en el manejo del agua para proteger los escurrimientos subterráneos y los superficiales, evitando su contaminación y reducir hundimientos por la interferencia de los flujos.

El mejoramiento del estado del superficial de los pavimentos reduce el consumo de combustible.

El uso de material reciclado en las carreteras que provienen de residuos de la industria suma un valor agregado a la sustentabilidad, porque permite ahorrar recursos económicos y provee un uso útil a los residuos. El uso de estos subproductos industriales también reduce el consumo de recursos naturales, tales como los materiales provenientes de banco.

El uso de equipos menos contaminantes en las carreteras para realizar las actividades de conservación permite reducir el consumo de energía y los impactos ambientales asociados. La selección de materiales para la conservación también es importante en relación a disminuir sus impactos asociados, tales como los compuestos volátiles generados por el marcaje en los pavimentos.

Una tendencia actual es la optimización del uso de la infraestructura del transporte existente para incrementar su capacidad. Para ello es necesario el uso de herramientas incluidas en los Sistemas Inteligentes para el Transporte (ITS, por sus siglas en inglés).

La implementación de mejores prácticas para la conservación y el mantenimiento de las carreteras permiten alcanzar aspectos de sustentabilidad, como el control de los residuos sólidos, la reducción del consumo de materiales y de energía en las actividades, disminución de las emisiones generadas y los accidentes en los

vehículos que transportan materiales. Se recomienda la utilización del documento “Prácticas innovadoras para carreteras más verdes” de la IRF.

Recientemente se han incorporado junto a las carreteras resumideros para atrapar carbono y óxidos de nitrógeno. Esto se refiere no sólo a tener árboles que absorban CO₂, sino a otros elementos de la infraestructura, tales como los pavimentos de concreto adicionados con otros compuestos químicos para la captura y eliminación de este tipo de contaminantes.

El ruido proveniente de la operación del tránsito es un conflicto entre las necesidades de movilidad en el transporte motor y el estilo de vida de las personas que residen junto a las carreteras, por lo que mitigar este aspecto para proteger la salud de las personas, es obligatorio. Para ello se requieren estrategias para el control del ruido o la implementación de medidas de mitigación como las barreras anti-ruido o pavimentos silenciosos.

Cada año miles de animales son atropellados en las carreteras provocando su muerte. Actualmente existe una amplia gama de medidas para evitar la morbilidad de la fauna, tales como la instalación de cercas, dispositivos -como detectores y alarmas- para proteger a las especies, los cuales deben aplicarse a las carreteras.

Algunos países de la Unión Europea han desarrollado guías específicas para la protección del medio ambiente en áreas naturales protegidas que se encuentran cerca de las carreteras para evitar impactos negativos durante la construcción, operación y mantenimiento del camino.

El paisaje en las carreteras tiene tres aspectos importantes a tomar en cuenta. El primero es en relación a la demanda social de contar con paisajes para disfrutar y observar, el segundo, cómo integrar el proyecto cuidadosamente al medio ambiente con máximo respeto al el paisaje y las zonas con alto valor ambiental y, finalmente, los niveles del servicio ambiental que el paisaje puede proveer. La participación social es crucial en cuanto a la percepción del paisaje, por el ser el actor principal.

Financiamiento de la sustentabilidad

El análisis del costo del ciclo de vida del proyecto donde los aspectos técnicos y financieros se encuentren debidamente requisitados, es un criterio importante en la sustentabilidad, de tal manera que al tener mejores caminos se consideren el incremento de la seguridad y la reducción de los impactos ambientales, lo cual es posible obtener bajos diferentes esquemas de apoyo individual.

La demanda social actual es contar con infraestructura para el transporte con mayores estándares de calidad, dirigida a satisfacer la movilidad, enfrentando los retos actuales de cuidado al medio ambiente y de la seguridad vial.

1.6.2 Carreteras verdes (*Greenroads*)

Carreteras verdes, es un sistema diseñado para distinguir la sustentabilidad en las carreteras nuevas, rediseñadas o rehabilitadas. Una distinción de este tipo ayuda a que las carreteras tengan menores impactos al medio ambiente y al costo del ciclo de vida, así como mayores beneficios para la sociedad.

Carreteras verdes, en términos generales, es un conjunto de buenas prácticas que son aplicadas a las carreteras para su diseño y construcción, las cuales se dividen en dos tipos: de cumplimiento legal y las de cumplimiento voluntario.

Las mejores prácticas obligatorias son las que se deben hacer como mínimo, con el fin de que una carretera pueda ser considerada *Greenroad*. Son los llamados "requisitos del proyecto". Los requisitos de los proyectos están destinados a captar los ideales más críticos de la sustentabilidad. Muchos, pero no todos, cuentan con varios de estos directamente con poco o ningún esfuerzo adicional. Las mejores prácticas voluntarias son las que pueden estar opcionalmente incluidas en un proyecto carretero.

La sustentabilidad utilizada en *Greenroads* tiene siete componentes diferentes que se muestran por su métrica en maneras diversas. Estos componentes son la base de los términos "leyes naturales" y "valores humanos". Incluyen los tres principios comúnmente citados en la sustentabilidad: ecología, sociedad y economía. Además hay otros cuatro componentes esenciales que se enfatizan en el contexto de las métricas de *Greenroads*: extensión, expectativa, experiencia y exposición.

A continuación se describen brevemente los elementos que integran la sustentabilidad en *Greenroads*.

Requerimientos del proyecto

El proceso de evaluación del impacto ambiental es un método de toma de decisiones sobre el cual la autoridad ambiental autoriza la construcción de un nuevo proyecto carretero, mediante el involucramiento de los diferentes sectores.

El análisis del costo del ciclo de vida es una herramienta que permite evaluar el costo total de un pavimento, incluyendo el costo inicial, los costos de mantenimiento y rehabilitación, y los costos de los usuarios durante la vida útil del proyecto. La utilización de esta herramienta contribuye en la sustentabilidad de las carreteras porque permite una toma de decisiones sobre el costo total del pavimento.

El inventario de ciclo de vida es una herramienta que permite analizar y cuantificar los impactos ambientales en el proceso de construcción y mantenimiento de una carretera. Su análisis se realiza mediante *software* especializado en el que se

modelan las etapas del ciclo de vida de un producto (materia prima, producción, uso, fin de su vida, tratamiento, reciclado y disposición final), para la obtención de los consumos de energía y emisiones a la atmósfera. La aplicación de esta herramienta permite seleccionar procedimientos o equipos que minimizan el impacto ambiental.

El plan de control de calidad, es un instrumento que permite controlar y mejorar la calidad, en cualquier proceso constructivo de una carretera, realizando inspecciones que determinan cuándo se deben tomar acciones correctivas y cómo se van efectuar. Su elaboración se concibe con base en las especificaciones técnicas vigentes, tales como control de calidad de los materiales, métodos de trabajo, entre otros. Los procedimientos que integran el plan de control de calidad, se conciben antes que comience la construcción.

Contar con un plan de mitigación de ruido permite soluciones para reducir el impacto sonoro que se genera en las diferentes etapas de una carretera, a través del monitoreo de los niveles de ruido que se producen por la operación de los equipos motorizados y las actividades de construcción. Este monitoreo se debe amplificar en la etapa de operación y conservación de la carretera, para el control de los decibeles permitidos para la salud humana y la biodiversidad.

El plan de manejo de residuos es un programa de prevención de la contaminación en la etapa de construcción de carreteras, ocasionado principalmente por la demolición y movimientos de tierra, así como por los trabajadores de la obra y los residuos de la maquinaria. Su planificación se integra en la contabilidad y gestión de los materiales, que permite la identificación, unidad de medida y tratamiento para su almacenamiento y manejo (como material peligroso o residuo), permitiendo el proceso de reciclaje y reutilización. Esto reduce costos y fomenta prácticas para la reducción y/o eliminación de los residuos sin afectación al hábitat.

El plan de prevención de la contaminación, es un instrumento que permite reducir la contaminación del agua y sus efectos asociados a las actividades de construcción, protegiendo la escorrentía de aguas pluviales de la erosión y sedimentación. La protección se realiza con base en la topografía, para detectar las posibles áreas de almacenamientos de residuos y otros materiales, que contaminan el agua superficial, y la planificación de estrategias que permitan prevenir la contaminación como la *Iniciativa para Lugares Sostenibles 2009*, brindando soluciones como: siembra temporal y permanente, trampas para sedimentos, control de derrames de equipos, sistemas de infiltración, entre otras.

La gestión de pavimentos es una herramienta de criterios para la toma de decisiones (software especializado, agencias especializadas o acciones manuales), que permite evaluar las condiciones del pavimento y sus variables a ejecutar en el proceso de conservación y rehabilitación, brindando una elección óptima, que permite desarrollar pavimentos que duran más y funcionan mejor, reduciendo los costos en su ciclo de vida y la reducción en uso de los recursos

naturales y el consumo de energía, que determinan el mejor momento para la conservación.

El plan de mantenimiento del sitio permite realizar un seguimiento de las actividades de mantenimiento, para su monitoreo y control durante la operación, que ayudan a conservar la calidad ambiental y la estética de la carretera (paisaje), mejorando la eficiencia en costo durante la vida útil prevista. Incluye actividades de revegetación, recolección de residuos sólidos, mantenimiento del pavimento y de los dispositivos de control, entre otras actividades.

La capacitación ambiental promueve la conciencia de los usuarios y operadores de los servicios y actividades de una carretera, con programas permanentes de educación que fomentan la sustentabilidad ambiental y la seguridad, a los usuarios y personal, satisfaciendo los alcances del proyecto y el cumplimiento ambiental. Permite a los usuarios la extensión de toma de decisiones, encaminadas a la sustentabilidad en las actividades de su vida diaria; y a los ejecutores en el uso de energías, transporte y gestión de las carreteras.

Medio ambiente y agua

La calidad en escurrimientos, es un instrumento de monitoreo y prevención de la contaminación del agua, a través de una gestión de calidad del agua pluvial captada en el derecho de vía y la superficie de rodamiento (pavimento), durante la operación de la carretera. El monitoreo de la calidad, permite conocer la presencia de contaminantes en la escorrentía, tales como metales pesados, hidrocarburos y agentes patógenos, que varían en función de la composición del tránsito y el entorno ambiental; y son controlados hasta su total eliminación, con técnicas de mitigación, establecidas en los planes de respuesta a derrames y sedimentos, principalmente desarrollados con base en la normativa de la calidad del agua, y que resultan favorables para la recarga de los acuíferos, ríos y arroyos, permitiendo un entorno sustentable.

El análisis de costo del manejo de aguas pluviales, es una evaluación costo-beneficio para la toma de decisiones en la gestión de la calidad, basados en los costos del ciclo de vida, proporcionando mejores prácticas y técnicas para el manejo de escurrimientos en el derecho de vía y la superficie de rodamiento.

La vegetación nativa, promueve un sistema de vegetación sustentable que contribuye a un menor uso de agua, reducción de la erosión y evitar el uso de especies con una mejor capacidad de supervivencia, ya que están adaptadas al medio ambiente local; y contribuyen a la reducción de costos por demanda de mantenimiento. La implementación de la vegetación nativa mejora la calidad del aire y el agua, así como también regula el clima, el agua, la erosión, las plagas y peligros naturales, al igual que fomenta la polinización, entre otros beneficios ambientales.

La restauración del hábitat es un proceso que permite renovar y restaurar el área degradada o dañada por los procesos constructivos de la carretera. Mejorar la integridad biológica requiere del uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica para detallar la zona de daño, y realizar la fase de planificación que permite mejorar el área del hábitat, y monitorear las especies con bio-indicadores, que proporcionan información necesaria para un seguimiento ambiental.

La conectividad ecológica, es un plan de acciones con el único propósito de reintegrar el paisaje fragmentado, sin interrumpir la movilidad en las carreteras y la seguridad de los usuarios. Facilitar accesos para la fauna y flora, con ecosistemas artificiales, como son los pasos de fauna que tiene una interacción independiente a la carretera, ayuda a reducir los impactos negativos (efecto barrera) y a propiciar la vinculación de los organismos entre sí y con su medio ambiente (procesos ecológicos), permitiendo la estabilidad del equilibrio ecológico en los ecosistemas, que genera la conservación de los recursos no renovables y la sustentabilidad en el medio.

La contaminación lumínica, es la degradación del hábitat por emisión de luz artificial, que influye negativamente en una amplia diversidad de especies (fauna y flora), con alteraciones en su comportamiento reproductivo, y ha reducido seriamente el valor estético del cielo nocturno. La iluminación de las carreteras es un requisito importante para un entorno de conducción nocturna segura, la cual se debe realizar con lámparas que proporcionen una iluminación uniforme y de caída libre para reducción del reflejo, este mismo se puede disminuir con la utilización de sellos, que permiten proteger y restaurar el medio ambiente por la noche y el patrimonio de los cielos oscuros.

Acceso y equidad

La auditoría de seguridad vial es un proceso de revisión supervisado por un equipo independiente a los operadores de la carretera, que evalúan las actividades y los resultados, de la operación de la carretera en términos de operación segura. Realizar auditorías de seguridad vial en las carreteras permite evaluar la seguridad antes de que esté abierta al público, así como localizar los puntos de conflicto en su operación, permitiendo reducir los accidentes viales y sus efectos negativos, que tienen un impacto en la sociedad por sus costos, además de ser una de las principales causas de mortalidad.

Los sistemas inteligentes para el transporte son aplicaciones para la infraestructura y la operación vehicular, que utilizan tecnologías inteligentes y conceptos de ingeniería en sistemas para desarrollar y mejorar los sistemas de transporte, teniendo como objetivo proporcionar servicios innovadores relacionados con los diferentes modos de transporte y la gestión del tránsito, brindando información y seguridad al usuario. Satisfacer las necesidades de los

usuarios con la implementación de los sistemas inteligentes de transporte beneficia a los sectores económicos y sociales, fomentando un desarrollo sustentable.

El diseño sensible al contexto es un enfoque interdisciplinario que cubre las necesidades del transporte y determina alternativas para una efectiva toma de decisiones en un diseño inteligente, que involucra la adaptación al entorno, afín de preservar y mejorar los recursos estéticos, históricos y del medio ambiente, brindando una planificación que ofrece al usuario instalaciones para bicicletas, peatones y sistemas de tránsito, que mejoran la seguridad y movilidad en carreteras de tipo urbanas.

La reducción de emisiones vehiculares, es una herramienta que permite calcular la huella de carbono en una carretera, con la aplicación de *software* para modelar el tránsito vehicular, y con ello diseñar estrategias que permitan ofertar un transporte sustentable, activo y multimodal. Reducir las emisiones generadas en carreteras con el monitoreo de operativos móviles, mejora la calidad del aire y la salud humana, asimismo permite establecer políticas para la reducción de emisiones regionales de gases de efecto invernadero y la creación de corredores urbanos para disolución de dichos gases.

La infraestructura peatonal son instalaciones que promueven el desplazamiento a pie de personas dentro de un sistema de transporte, tales como banquetas y pasos peatonales (a nivel o desnivel), que brindan comodidad y seguridad a los transeúntes y contribuyen a la atracción de desplazarse a pie, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. Mejorar los accesos e instalaciones peatonales convence a los usuarios a cambiar su modo de viajar, respondiendo favorablemente a componentes de sustentabilidad, tales como ecología, equidad y economía.

La movilidad para ciclistas requiere instalaciones diseñadas para su circulación (ciclovías o ciclopistas) en el derecho de vía de una carretera y contribuyen a la reducción de accidentes y colisiones con vehículos, asimismo promueven un medio de transporte limpio y activo, que mejora la salud de los usuarios. Otros beneficios que genera la ciclovía es la reducción de congestionamiento vehicular y desplazamientos ordenados entre ciclistas y peatones que permiten una mejor movilidad.

Un carril de vehículos de alta ocupación, hace referencia a la medida aplicada especialmente en autopistas, que consiste en destinar un carril de la vialidad para el tránsito de vehículos con más de un ocupante (conductor y al menos un pasajero). Actualmente partiendo de este criterio se han establecido carriles para transporte público con autobuses que trasladan un gran número de personas y en un menor número de unidades, mejorando la calidad del aire y la operación vehicular con sólo utilizar el carril derecho de la vía, asimismo reduce los tiempos y costos de traslado en los usuarios.

Las vistas panorámicas, son elementos que promueven el paisaje, brindando una vista agradable a la carretera, que permite el desarrollo de planes de gestión de corredores, afín de que los usuarios cuenten con accesos e instalaciones que les permitan realizar recorridos en bicicletas y a pie, sin deteriorar o agravar el hábitat. Asignar áreas como paradores con vistas paisajísticas, esto permite la creación de carreteras turísticas, que fomentan la conservación del hábitat y la difusión cultural y recreativa.

La preservación de los sitios históricos y promoción de los valores culturales en diversos espacios de una carretera, se realiza incorporando elementos (monumentos y obras de arte) de carácter histórico y cultural, que promueven la integración al arte, y mejoran la apariencia de los proyectos carreteros, brindando oportunidad de promoción a los servicios de información histórica y cultural con accesos a lugares que son patrimonio de la nación, como parques, sitios históricos, monumentos, entre otros.

Actividades en la construcción

Un sistema de gestión de la calidad, es una herramienta que permite expresar una estructura organizada, procesos y recursos necesarios para la administración de una organización con base en los requisitos de ISO 9000. Las empresas constructoras certificadas en calidad, mejoran los procesos de construcción de carreteras, ya que cuentan con políticas, manuales y listados de procedimientos enfocados a la calidad, que brindan una satisfacción al cuidado del medio ambiente y a la seguridad de usuarios de la carretera.

La formación ambiental es un requisito que el personal de las empresas constructoras debe cumplir, con el objetivo de generar conciencia y soluciones pertinentes a los problemas ambientales, así mismo proporciona los conocimientos necesarios al personal para identificarlos. Reducir al mínimo el impacto ambiental en carreteras, es una tarea primordial que se logra con el apoyo de un personal responsable y capacitado sobre el cuidado del medio ambiente, acciones que permiten una interconexión con el desarrollo sustentable.

Un plan para el reciclaje es una estrategia que permite asignar áreas especializadas como vertederos, para almacenamiento de residuos relacionados con la construcción de carreteras, y estos puedan ser reutilizados y/o tratados para su eliminación, minimizando su cantidad. Fomentar el reciclaje en los proyectos carreteros, tiene grandes beneficios ambientales en todas las fases del ciclo de vida de los materiales, ya que permite la reducción de emisiones que contribuyen al calentamiento global y a la conservación del medio ambiente con buenas prácticas ambientales.

La reducción del consumo de combustibles fósiles es una estrategia que permite reducir la demanda de estos para los vehículos y equipos, con el uso de mezclas de biocarburantes o biocombustibles. Reducir el consumo global de combustibles

fósiles en la flota de equipos de construcción para carretera, ofrece beneficios para la salud y el medio ambiente, asimismo en la calidad del aire se reduce la presencia de dióxido de carbono que propicia el calentamiento global y su impacto en el cambio climático.

Un equipo de reducción de emisiones atmosféricas, es una solución que permite la operación de maquinaria de construcción sin deteriorar la calidad del aire, mejorando las condiciones del motor y escape, con filtros que permiten el uso de diésel mezclado con biocombustibles en el motor, y la reducción de emisiones en el escape. Otro aspecto a regular es el cumplimiento de las normativas de emisiones de los vehículos que trabaja en la obra. Reducir las emisiones atmosféricas durante el proceso de construcción de una carretera, beneficia la relación costo-beneficio en la operación de maquinaria, asimismo la salud de los operadores, promoviendo la conservación del medio ambiente.

La reducción de emisiones en el proceso de pavimentación es una estrategia que permite analizar las técnicas de pavimentación y sus variables como maquinaria y temperatura, afín de seleccionar la más favorable a la minimización de emisiones de sustancias volátiles que perjudican la salud de los trabajadores y el medio ambiente. Los análisis de pavimentación se apoyan de los resultados del ciclo de vida de los materiales para pavimento, y de las normas para la salud.

El seguimiento de uso del agua, es una herramienta que permite registrar y estimar su uso total durante el proceso de construcción principalmente, y mantenimiento de una carretera; garantizando su protección de acuerdo a la normatividad vigente. Los registros se deben complementarse con datos que permiten garantizar la salud y la seguridad laboral, como los lugares y fuentes de abastecimiento, potabilización del agua, actividad que requiere el uso y si ésta debe tener algún tratamiento, entre otras.

La garantía del contratista, es un instrumento que permite incorporar la calidad en el proceso de construcción de carreteras, a través del uso de garantías en los materiales, mano de obra y la rentabilidad a largo plazo, por parte del contratista. Los términos de garantías en carreteras se establecen por acuerdo de la dependencia responsable y el contratista, que determinan las políticas de garantías con base en los periodos de ejecución y acción correctiva.

Materiales y recursos

El análisis del ciclo de vida es una técnica que consiste en evaluar los impactos ambientales ocasionados en alguna de las etapas de los materiales implementados, para desarrollar inventarios que permiten identificar los impactos potenciales asociados a los consumos de energía, emisiones a la atmósfera, consumo de agua y el agotamiento de recursos naturales. La evaluación del ciclo de vida se antecede al proceso de evaluación ambiental, del análisis de costo de

ciclo de vida y de los inventarios del ciclo de vida; y se realiza bajo los estatus de la normativa ISO 14040:2006.

El reciclado o recuperación de pavimentos es una técnica empleada en la etapa de mantenimiento de la superficie de rodamiento, que permite reducir los costos del ciclo de vida y los impactos ambientales, mediante la recuperación de material que integra la estructura de pavimento en un proceso de disgregación, para que éste sea reutilizado en una nueva estructura, mediante un proceso de mejoramiento con aditivos o incorporación de nuevos materiales.

El equilibrio de movimientos de tierras permite reducir los viajes de acarreo, en distancia y número de vehículos, bajo una estrategia de equilibrio que establece que el volumen de corte sea igual al volumen de terraplén. Esto asume que el material de corte de un área sea adecuado para uso de relleno en otra área del proyecto, aplicando técnicas de mejoramiento de suelos en casos donde no se cumpla con las especificaciones del diseño, con la implementación de aditivos, cal, cemento, geomallas, emulsiones de asfalto, entre otros, que brindan mayor estabilidad al suelo.

El uso de materiales reciclados, es una estrategia que permite reducir los impactos ambientales y el costo de ciclo de vida en el proceso de construcción, a través del reúso. El manejo de materiales reciclados requiere la aplicación de herramientas, que permitan contabilizar la cantidad de almacenamiento, uso y desecho, a fin de desarrollar planes que fomenten un mayor ciclo de vida en los materiales, como parte del desarrollo sustentable en carreteras.

Los materiales locales son un elemento básico que permite a los constructores implementar estrategias en un radio de área definida, que ofrecen una gama de beneficios palpables en los análisis de costo-beneficio y reducción de impactos ambientales. Al promover su uso se disminuye el número de maquinaria y longitudes de acarreo de material, lo que permite reducir la cantidad de emisiones asociadas al transporte y el consumo de energía; recalando que el material puede ser modificado con técnicas de mejoramiento en caso de no cumplir con lo establecido en el diseño.

La eficiencia energética, es una estrategia que reduce la cantidad de energía requerida para proporcionar los servicios de iluminación en carreteras, permitiendo minimizar los costos de energía, que representan un ahorro en los costos de mantenimiento, así mismo ayuda a controlar las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación lumínica. Los sistemas de iluminación deben cumplir con los estándares de normatividad, y con diseños adecuados para el proyecto, a fin de brindar seguridad para usuarios (conductores, peatones y ciclistas).

Tecnología en pavimentos

Un pavimento de larga duración es aquel en el que no se produce un deterioro significativo en las capas de terracerías y de estructura del mismo, también la capa de rodamiento debe cumplir con un mantenimiento oportuno, para brindar una duración de al menos 35 años. Su aplicación, consta de evaluar las capas del pavimento con la prueba de CRB (*California Bearing Ratio*) “Valor de Soporte California”, que permite establecer valores que propicien hasta 60 años de vida útil de acuerdo al tipo de sección y tránsito esperado, favoreciendo a la minimización de los costos del ciclo de vida, ya que se reduce el proceso de rehabilitación y mantenimiento, aunque se debe tomar en cuenta que al principio los costos iniciales son mayores.

Un pavimento permeable promueve la conservación y calidad de las aguas pluviales que escurren sobre éste, con la implementación de planes de manejo que permiten desarrollar técnicas estructurales a través del uso de materiales porosos en las capas de base y subbase. El diseño estructural de un pavimento permeable, ofrece una gama de beneficios favorables al medio ambiente como reducción de la erosión y contaminación de las aguas subterráneas, entre otros, pero también cuenta con pequeños factores que imposibilitan su aplicación en todos los proyectos carreteros, uno de estos es que no es adecuado para altos volúmenes de tránsito, sin embargo ante este escenario se pudo implementar en el área de acotamiento (hombros), o las vías destinadas para peatones y ciclistas.

Las mezclas asfálticas en caliente se fabrican y se extienden a muy altas temperaturas que superan la ambiental, ocasionando un gran número de emisiones a la atmósfera que contribuyen al calentamiento global, lluvia ácida y la formación de esmog, en todo su ciclo de vida. Acciones sustentables plantean disminuir la temperatura cambiando a mezclas asfálticas tibias, las cuales permiten reducir el uso de combustibles fósiles en su elaboración y disminuir su temperatura de colocación con aditivos permitidos, a fin de mejorar la salud de los trabajadores, asimismo se logra conservar el medio ambiente con la reducción del uso de energía y costos por su rendimiento al ser reutilizado en obras de mantenimiento de la carpeta asfáltica.

La técnica de pavimento en frío permite implementar estrategias sustentables que reducen la reflexión solar con el uso de materiales de color claro, y mejorar las temperaturas con la implementación de materiales porosos que permiten el enfriamiento al fluir el aire y el agua en la capa de rodamiento, propiciando el aislamiento del efecto de isla de calor urbano que deteriora al medio ambiente y la salud. Otro de los criterios que se deben tomar en cuenta es el albedo¹ producido en los diferentes tipos de pavimento.

¹ Albedo es el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma.

Un pavimento silencioso permite reducir el ruido ocasionado por el contacto neumático-pavimento a través de técnicas que controlan y evalúan su textura, para brindar beneficios que minimizan la contaminación acústica en el entorno y mejoran la salud de las personas. Otros esfuerzos de mitigación del ruido en carreteras generado por vehículos que involucran el claxon y los motores, son controlados con la aplicación de muros aislantes (barreras anti-ruido), entre otras alternativas que deben ser analizadas en el proceso de revisión ambiental al elaborar el plan de mitigación de ruido, con la finalidad de complementar la respuesta del pavimento silencioso.

El seguimiento del desempeño de pavimentos, es una herramienta que permite medir la calidad de construcción y la vida útil de un pavimento, a través de registros obtenidos en pruebas de densidad, asentamiento, contenido de agua, resistencia a la compresión y análisis de contenido de asfalto, por citar algunos, que muestran la situación existente del pavimento, para finalmente evaluar su comportamiento ante la presencia de grietas, fallas, desprendimientos, etc. y poder determinar una solución correctiva.

1.6.3 Carreteras sustentables (FHWA)

La Agencia Federal de Carreteras (FHWA, por sus siglas en inglés) define a las carreteras sustentables como parte integral del desarrollo sustentable. Una carretera sustentable debe satisfacer los requisitos funcionales del ciclo de vida del desarrollo social y el crecimiento económico, mejorar el entorno natural y reducir el consumo de recursos naturales. Las características de sustentabilidad de un proyecto de autopista o carretera deben ser evaluadas y consideradas en todo su ciclo de vida, desde la concepción hasta la construcción, operación y mantenimiento.

La sustentabilidad en las carreteras debe abordarse con el entendimiento de que las carreteras son una parte de la infraestructura para el transporte, y el transporte es uno de los aspectos de las necesidades humanas. Además de abordar las necesidades de recursos ambientales y naturales, el desarrollo de una carretera sustentable debe centrarse en el acceso (no sólo la movilidad), sino también al desplazamiento de personas y mercancías (no sólo vehículos), y proporcionar a las personas opciones de transporte, tales como rutas seguras y confortables para el senderismo, ciclismo, y el tránsito.

El transporte sustentable se puede describir o definir de muchas maneras, de tal forma que incluyan ampliamente los impactos ambientales, sociales y económicos, la seguridad, la asequibilidad y accesibilidad de los servicios de transporte. Las agencias de transporte han hecho frente a la sustentabilidad a través de una amplia gama de iniciativas, tales como Sistemas Inteligentes para el Transporte, Habitabilidad, Crecimiento Inteligente, Calles Completas, Reciclaje, Planificación y Medio Ambiente, Cumplimiento de la Ley Nacional de Política Ambiental (NEPA, por sus siglas en inglés).

Los procesos de planificación de transporte que incorporan estos valores e integran los elementos de sustentabilidad, deben ser la base sobre la que se apliquen las decisiones para un proyecto carretero sustentable.

Medir la sustentabilidad puede ayudar con el seguimiento y la evaluación del progreso, fomentando una amplia participación de las partes interesadas, la evaluación de ventajas y desventajas de sustentabilidad, que cumplen o anticipan nuevas necesidades, encontrando barreras programáticas, premiando la excelencia y la comunicación de los beneficios y objetivos.

Para la FHWA, la seguridad tiene un papel único en sustentabilidad como componente clave del principio social de los tres componentes de la línea de base de la sustentabilidad.

2 Evaluando la sustentabilidad en las carreteras

La práctica internacional sobre la sustentabilidad se encuentra muy dispersa entre los diferentes componentes definidos tanto por *Greenroads*, como por la Federación de Carreteras de la Unión Europea, es decir, los proyectos carreteros que se denominan sustentables cumplen con uno o dos elementos de los descritos, pero no llegan a alcanzar un nivel significativo para que en realidad puedan denominarse sustentables, por lo que en el presente capítulo se describirán dichas experiencias de la práctica internacional aplicadas a las carreteras, con el objeto de conocerlas y realizar una matriz de sustentabilidad internacional.

La práctica será descrita en cinco aspectos con los cuales se ha clasificado la sustentabilidad en la presente investigación: el componente económico, el social, el técnico, el ambiental y la seguridad. Cada aspecto adicionalmente está subdividido en etapas de un proyecto: planeación y diseño, construcción y operación.

Algunos criterios de sustentabilidad pueden verse incluidos en más de un componente, por lo que pudiera parece equivocado para algunos lectores, sin embargo, la presente investigación tiene la óptica del autor y en algunas ocasiones éste consultó opiniones expertas para clasificar cada criterio conforme se detalla en los siguientes puntos.

2.1 Componente económico

El análisis del costo del ciclo de vida (LCCA, por su siglas en inglés) de una carretera es una herramienta útil para determinar las inversiones requeridas en toda la vida útil del proyecto, para ello, empresas canadienses desarrollaron un sistema mediante el cual mide información real mediante sensores de aspectos relacionados al tránsito (volúmenes vehiculares y pesos de los vehículos), el medio ambiente (temperatura, precipitación, etc.) y de la superficie de rodamiento (comportamiento de materiales y de la estructura), de esta manera se pueden construir modelos predictivos para el manejo eficiente de la conservación de la carretera. Esta innovación tecnológica fue denominada "*Know Your Road*".

La herramienta del LCCA es utilizada en muchos países -tales como los Estados Unidos, Islandia e incluso en México-, todos ellos enfocados a los costos asociados a la vida útil de un pavimento, ya sea de concreto hidráulico o de asfalto.

En Australia, por ejemplo, se cuenta con un modelo de LCCA para el mejoramiento sustentable de proyectos de infraestructura carretera. La idea es poner en juicio los costos del proyecto asociados a medidas sustentables. Los innovadores en tecnología están colocando en el mercado sus productos con mucha aportación ambiental, pero los costos se incrementan significativamente, por eso el LCCA juega un papel importante para la toma de decisiones. Por eso, se modificó el LCCA tradicional, incorporando indicadores de sustentabilidad tales como: incremento de la vida útil, impactos sociales, accidentes carreteros, ruido, calidad del aire, consumo de energía y recursos, contaminación y residuos.

Los Sistemas de Gestión de la Calidad (SGC) adoptan en lo general la norma ISO 9001. La importancia radica en su aplicación en empresas del sector transporte, donde sus procesos y procedimientos relacionados con el desarrollo de infraestructura se encuentren enmarcados en el SGC. En Estados Unidos, el Reino Unido, Canadá, Francia y México son adoptados estos mecanismos que coadyuvan a la sustentabilidad.

En Nueva Zelanda, se cuenta con un estándar de calidad para la construcción y el mantenimiento de carreteras, para ellos los contratistas deberán contar con un SGC que incluya al menos los siguientes componentes: política de calidad, instrucciones de trabajo (metodologías), listas de inspección, planes de calidad, etc. Otros elementos a considerar son la verificación de la calidad en las compras y las subcontrataciones, el control e inspección de los trabajos, control del trabajo no conforme y mejora, capacitación, seguridad y gestión ambiental, entre otros.

En el movimiento de tierras, el equilibrio entre el material de corte y de relleno en el proceso de construcción de carreteras minimiza la cantidad de acarreos, reduciendo consumo de combustibles y de emisiones de GEI. El uso de software como Mudshark, Agtek, Roctek, Quantm o DynaRoad se puede utilizar para calcular el balance de corte y relleno. Buscar el equilibrio de tierras es de uso generalizado en el proyecto de carreteras en casi todos los países del mundo, alguno de ellos son: Estados Unidos, Reino Unido, Australia y México.

La garantía es el aval de la integridad de un producto y la responsabilidad del fabricante para la reparación o sustitución de las deficiencias. Una garantía se utiliza para especificar las características de funcionamiento deseadas de un producto en particular durante un período determinado de tiempo y definir quién es el responsable del producto. Las garantías se suelen asignar al contratista principal, pero pueden ser transmitidas a los contratistas de la pavimentación u otros, como lo sugiere la FHWA en los Estados Unidos. En México se denominan garantías por vicios ocultos, mediante el cual se garantiza la integridad y la funcionalidad de la obra contratada.

Promover el uso de materiales locales con el objeto de reducir los impactos en las emisiones del transporte es un criterio sustentable en las carreteras. Los materiales no se limitan a uno solo, sino a cualquier agregado que pueda ser utilizado en la base, subbase, carpeta o cuerpo del terraplén del camino. La regla

básica es no cambiar su estado químico original, aunque puede ser mejorado con aditivos para un mejor desempeño, y lo importante es reducir el número de viajes o la distancia de los mismos, dado que una dirección del viaje es en vacío. Esto puede ser más fácil para los proyectos más pequeños, con una complejidad limitada de materiales, o para proyectos que no están cerca de los centros urbanos.

Para mantener la coherencia entre todos los proyectos, se pueden calcular las distancias de transporte utilizando la herramienta *Google Maps* (<http://maps.google.com>). Para los productos que se envían por vía aérea, marítima o ferroviaria, utilizar pesos y distancias reportados por la agencia u organización transportista. Existen algunos casos documentados en los Estados Unidos de cómo realizar las estimaciones para el acarreo de materiales.

En Botswana, por ejemplo, existe una guía que aconseja los métodos y procedimientos apropiados para proveer materiales locales para el mantenimiento, construcción y rehabilitación de la red de carreteras.

La Asociación Mundial de la Carretera, también ha promovido dentro de sus trabajos la promoción de la utilización de los materiales locales en las carreteras. En el reporte editado en el año 2007 se describen los avances para el tratamiento de suelos, tanto en métodos como en maquinaria, con el objeto de utilizar los materiales locales.

Contar con pavimento de larga duración o larga vida en las carreteras sustentables, es esencial para la economía de los países. Un pavimento de larga duración es definido como un pavimento donde no hay un deterioro significativo en las capas de base en las carreteras, apoyado en un mantenimiento superficial adecuado. Esto implica que las capas del pavimento son permanentes, excepto la capa superficial, demostrando una vida útil de más de 50 años. La Asociación Europea de los Pavimentos de Asfalto cuenta con una guía técnica para estos pavimentos, destacando los beneficios económicos y el desempeño técnico comparado con los pavimentos convencionales.

En el Reino Unido, se han utilizado desde la década de los 80's, donde se ha proporcionado una vida útil de hasta 40 años en las capas inferiores de pavimentos de asfalto con un tránsito alto. La conclusión general es que un pavimento bien construido, por encima del umbral de esfuerzos, tendrá una larga vida de servicio estructural, a condición de que los daños en forma de grietas y surcos que aparecen en la superficie, se traten antes de que comience a afectar la integridad estructural de la carretera.

La Asociación Nacional de los Pavimentos de Asfalto (NAPA, por sus siglas en inglés) ha participado también activamente en estudiar el desempeño de los pavimentos de larga duración, particularmente en algunas carreteras del estado de California en los Estados Unidos.

La calidad de la infraestructura del pavimento es crítica en términos de prosperidad de la sociedad. Con el tiempo la estructura del pavimento se deteriora, por lo que es necesario un mantenimiento que ayude a preservarlo en condiciones óptimas para su alto rendimiento, brindando una conducción segura y rentable para los usuarios. En los Estados Unidos, el Programa de Investigación Nacional Cooperativo en Carreteras (NCHRP, por sus siglas en inglés) publicó en el 2011 un documento técnico mediante el cual se refieren las mejores prácticas sustentables para el mantenimiento de pavimentos. El estudio hace especial énfasis en el uso de materiales naturales, el uso de materiales alternativos, monitoreo y gestión de pavimentos, ruido, emisiones, calidad del agua y el uso de energía, los cuales fueron considerados con mayor impacto en la sustentabilidad.

En 2012, la NCHRP editó también en los Estados Unidos un reporte sobre las mejores prácticas para medir el desempeño del mantenimiento y preservación en las carreteras. El documento destaca la importancia de la recolección de datos para el mantenimiento de los caminos la cual debe basarse en innovaciones tecnológicas, con equipos y software. Las recomendaciones para el éxito en el mantenimiento es medir el comportamiento de los pavimentos, reportar el estado actual, mejorar las estrategias de conservación mediante nuevos equipos e innovaciones tecnológicas, implementar programas de capacitación para el personal que realiza el mantenimiento, desarrollar un mecanismo para compartir las mejores prácticas, promover activamente la conservación e incrementar el número de agencias que operan los programas de mantenimiento.

La Federación Internacional de Carreteras (IRF, por sus siglas en inglés), por su parte, desarrolló un reporte de prácticas innovadoras para carreteras más verdes, donde se destacan algunas de las mejores prácticas para la construcción y conservación de carreteras, tales como: la empresa AXIMUN modificó su equipo para el marcaje de las rayas en las carreteras el cual reduce hasta un 88% las emisiones a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles; COLAS en Francia desarrolló una serie de productos para el reciclaje de pavimentos que reducen el ruido generado por la textura del pavimento, disminuye las temperaturas de trabajo de las mezclas y, por lo tanto, el consumo de combustible y las emisiones de GEI; EUROVIA ha desarrollado materiales como aditivo asfáltico en frío que permite hacer el reciclaje de pavimentos en el sitio, así como otro aditivo para mezclas tibias aplicada en pavimentos urbanos evitando demoras en la apertura al tránsito de las vías; entre otras referidas a otros criterios de sustentabilidad.

La eficiencia energética es un tema importante que se incluye en la sustentabilidad, donde las ciudades están trabajando en integrar proyectos que les permitan ahorrar en sus consumos de energía en los sistemas de alumbrado público, mediante el uso de tecnologías LED o suministrar la red a través de sistemas alternativos de producción de energía, tales como la solar o la eólica. En este apartado existen diversos países como Canadá o el Reino Unido que han implementado estos sistemas. En la eficiencia energética se ha incluido también el reto de disminuir el consumo de energía en los sistemas de semáforos de las

ciudades, con la utilización también de tecnología LED o, de igual manera, suministrar energía de fuentes renovables.

La empresa 3M ofrece un material retroreflectante microprismáticos que minimiza el impacto ambiental, que se incluye en el reporte de la IRF. Reduce las emisiones de COV en un 97%, consume 77% menos energía y genera menos residuos sólidos hasta un 46% en comparación con un proceso tradicional, con láminas reflectantes de fabricación. Algunos resultados fueron identificados en Bélgica y los Estados Unidos. Los materiales utilizados en la nueva señalización garantizan una mejor durabilidad para todo tipo de condiciones meteorológicas. Además de la durabilidad y mejorar la visibilidad, también está cambiando a una forma más fácil leer las fuentes de las señales de la carretera (*Clearview*) desarrolladas específicamente para hacer la carretera más fácil de leer para los conductores de edad avanzada.

SWARCO, en Austria desarrolló un nuevo semáforo y una nueva generación de mensaje variable, donde en su análisis de ciclo de vida se obtuvieron reducciones de energía simplificando el diseño de la carcasa de la nueva cabeza de la señal y del tablero.

Tabla 2.1 Matriz de sustentabilidad internacional – Componente económico

COMPONENTE DE LA SUSTENTABILIDAD	ETAPA DEL PROYECTO	CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD	América		Asia		Europa				Oceanía		África	
			Canadá	Estados Unidos	México	China	Japón	Austria	Bélgica	Francia	Reino Unido	Islandia	Australia	Nueva Zelanda
ECONOMÍA	PLANEACIÓN Y DISEÑO	Análisis del costo del ciclo de vida	X	X	X						X	X		
		Sistema de gestión de la calidad	X	X	X				X	X			X	
		Equilibrio de movimiento de tierras		X	X					X		X		
	CONSTRUCCIÓN	Garantía del contratista		X	X									
		Uso de materiales locales		X					X					X
		Pavimentos de larga duración		X					X	X				
	OPERACIÓN	Mejores prácticas para el mantenimiento carretero y la preservación de la infraestructura		X						X	X			
		Eficiencia energética	X	X				X	X		X			
	TOTAL			3	8	4	0	0	1	2	3	5	1	2

La tabla 2.1 muestra la matriz de sustentabilidad internacional del componente económico descrito en los párrafos anteriores.

2.2 Componente social

El plan de mantenimiento del sitio conlleva implementar actividades para que durante la ejecución de la obra no afecte ni la calidad, ni la estética visual del lugar. El Departamento de Transporte del estado de Washington ha desarrollado un programa para realizar un seguimiento, medir y comunicar los resultados de las actividades de mantenimiento en las carreteras estatales.

En la sustentabilidad, tener y aplicar un plan de mantenimiento del sitio en curso integral debe abordar -como mínimo- el personal responsable / organizaciones, normas, horarios, métodos para ser utilizados y la fuente(s) de financiación de elementos tales como: mantenimiento de las carreteras; bacheo, reparación y sellado de grietas; mantenimiento y reparación de hombro / acera; limpieza y reparación del sistema de aguas pluviales; vegetación en el derecho de vía y el paisaje; control de hierbas y plantas nocivas; control de nieve y el del hielo; infraestructura para el control del tránsito; marcado del pavimento, mantenimiento y reparación de señales; mantenimiento y reparación de iluminación vial; barrido y limpieza del pavimento; recolección de basura. El plan de mantenimiento del sitio debe cubrir el tiempo de vida esperado de las instalaciones de la carretera.

En el Reino Unido, el condado de Herefordshire cuenta también con un plan de mantenimiento de carreteras. El plan incluye el inventario de la red carretera; la jerarquización de la red y las estrategias de mantenimiento; el registro, evaluación e inspección de la red; objetivos y normativa; programación; financiamiento y desempeño del plan. En el mantenimiento sustentable de carreteras, el Consejo introdujo un sistema de gestión ambiental (GEM, de *Good Environmental Management*) en 2002. Este sistema garantiza que todos los potenciales impactos ambientales de las actividades son evaluados, se gestionan y mejoran continuamente.

En Australia, han desarrollado para proyectos carreteros en específico planes de mantenimiento, tales como “*Old Great North Road*”, la peculiaridad de esta carretera es la preservación de los sitios históricos aunados al mantenimiento del camino. Las actividades de mantenimiento del plan incluyeron: limpieza de drenaje y alcantarillas; manejo de la vegetación; manejo de especies de fauna; conservación de sitios históricos (limpieza de grafiti); mantenimiento de barreras y cercas; mantenimiento del pavimento carretero; reposicionamiento de bordos de piedra; reparación de losas de alcantarillas; etc.

La planeación en el contexto implica desarrollar proyectos que sintetizan las necesidades de transporte y valores de la comunidad a través de una eficaz toma de decisiones y el diseño inteligente y sustentable.

Las soluciones sensibles al contexto (CSS, por sus siglas en inglés) es un enfoque teórico y práctico para el transporte y el diseño que tiene en cuenta a las comunidades y las tierras a través del cual las calles, carreteras y autopistas pasan ("el contexto"). El término está estrechamente relacionado con el diseño sensible al contexto en el que se afirma que todas las decisiones en la planificación del transporte, desarrollo de proyectos, operaciones y mantenimiento deben ser sensibles al contexto en el que se producen estas actividades, no sólo el proceso de diseño. Las CSS buscan el equilibrio entre la necesidad de mover los vehículos de manera eficiente y segura, con otros resultados deseables, incluyendo la preservación de sitios históricos, la sustentabilidad ambiental, y la creación de espacios públicos vitales.

Los principios rectores iniciales de las CSS surgen en los Estados Unidos en 1998 en la Conferencia "Pensar más allá del pavimento" como un medio para describir los proyectos de transporte, que preserven y mejoren los ambientes naturales y construidos, junto con los activos económicos y sociales de las zonas urbanas que atraviesan. En 2003, la FHWA anunció que en una de sus tres pocos objetivos vitales tenía la meta de lograr la integración de las CSS. La FHWA cuenta con un sitio para promover la práctica de las CSS. Mientras que el Instituto de Ingenieros en Transporte (ITE, por sus siglas en inglés) han desarrollado una serie de documentos técnicos para promover las CSS. La NCHRP, elaboró el reporte 480 como una guía de las mejores prácticas para las CSS, el cual además de incluir casos de estudios, cuenta con un mecanismo para toma de decisiones efectiva, refleja los valores de la comunidad, tiene sensibilidad al medioambiente y a la seguridad y responde a las necesidades organizacionales.

Mejorar la salud humana por la reducción del ruido del contacto llanta-pavimento es una acción considerada como sustentable en las carreteras. ECOPATH en los Estados Unidos -continuando a las investigaciones en las mezclas asfálticas modificadas con la utilización del polvo de los neumáticos- encontró éxito en el *Crumb Rubber Modified* (CRM) como ligante en los pavimentos silenciosos. Una de las principales razones detrás del éxito de la utilización de aglutinantes CRM en los pavimentos silenciosos reside en su capacidad para mantener la estructura "abierta" de las mezclas usadas típicamente.

En Canadá, basados en estudios de campo, determinaron los beneficios del uso del pavimento asfáltico con caucho (*Asphalt Rubber Pavement*), que generalmente proviene como un residuo industrial de las llantas. Los estudios mostraron una reducción de hasta 5.7 dB(A). El estudio fue realizado en cooperación con la Asociación de la Gestión del Reciclaje, en Alberta.

La Asociación Mundial de la Carretera, desarrolló por su parte un reporte técnico sobre tecnologías para pavimentos silenciosos. El reporte indica que la capa superficial es parte crucial para reducir los niveles sonoros al contacto llanta-pavimentos y los efectos derivados de ese contacto. Entre las soluciones más sustentables se encuentran los pavimentos porosos, con una capa o dos capas;

los pavimento SMA (*Stone Mastic Asphalt*); la Muy Delgada Capa de Concreto Asfáltico (VTAC, por sus siglas en inglés), donde utilizan productos como el BARDON HITEX, MASTERFlex, NOVACHIP, ColSoft, Rugo SofT, MASTERpave, entre otros; el pavimento asfáltico con caucho; superficie carretera poroelástica; concreto poroso; etc.

La contaminación lumínica es un problema social que está creciendo de manera importante, donde la operación de los vehículos durante la noche y la necesidad de iluminación en la infraestructura para proveer seguridad, cada día demandan mayores consumos de energía. Pero lo importante destacar es cómo la luminosidad afecta el entorno urbano con el llamado efecto “*sky glow*”. Entonces una carretera sustentable de acuerdo a Bullough deberá contar con un sistema de iluminación basado en lámparas no convencionales, como las de sodio por ejemplo, eliminando aquellas de mercurio, así como también el uso de la tecnología de diodos que emiten luz (LED’s, por sus siglas en inglés). Esta recomendación es realizada en la Oficina de Investigación en Transporte de los Estados Unidos (TRB, por sus siglas en inglés).

En Italia se desarrolló un software para evaluar y entender la contaminación lumínica proveniente de la iluminación del camino, donde la luz emitida en las ciudades es comparada con las mediciones realizadas mediante satélites. Una de las conclusiones es que el número de luminarias por unidad de longitud de carreteras es más grande, por lo que utilizando un tercio menos de luminarias se pasaría a 1/3 más de flujo luminoso. La relación de flujo ascendente del camino puede ser engañosa. Para instalaciones precisas, la reflexión de la luz hacia abajo que se desperdicia fuera de la carretera puede añadir en ángulos bajos del flujo disperso aproximadamente otro 60% - 110%, dependiendo de la reflectividad.

La reducción de las emisiones contaminantes provenientes de fuentes móviles en las carreteras, principalmente en la etapa de operación, mejora la calidad del aire, reduce los problemas en la salud humana, y la generación de GEI. Para ello en la Unión Europea, en el caso de los autos, los fabricantes están obligados a garantizar que su parque de vehículos nuevos no emita más de un promedio de 130 gramos de CO₂ por kilómetro (g CO₂/km) en 2015 y 95 g en 2020. Esto se compara con un promedio de casi 160 g en 2007 y 135.7 g en 2011. En términos de consumo de combustible, la meta de 2015 es aproximadamente equivalente a 5,6 litros por cada 100 kilómetros (l/100 km) de gasolina o 4,9 l/100 km de diésel. El objetivo para 2020 es aproximadamente igual al 4,1 l/100 km de gasolina o 3,6 l/100 km de diésel. Para ayudar a los conductores a elegir nuevos coches con bajo consumo de combustible la legislación de la UE obliga a los estados miembros a velar porque la información pertinente se proporcione a los consumidores, incluyendo una etiqueta que muestre la eficiencia de combustible y emisiones de CO₂ de un coche. Actualmente, la Comisión está trabajando en una estrategia global para reducir las emisiones de CO₂ de los vehículos pesados, tanto en carga y transporte de pasajeros.

En Canadá, se publicó la estrategia nacional para reducir los GEI en el transporte carretero, dentro de las que se destacan: transporte público, planeación del uso del suelo, mecanismo de tarificación e impuestos, economía del combustible, vehículos eléctricos, principalmente.

En los Estados Unidos, la EPA establece la utilización de la herramienta denominada MOVES, la cual permite realizar estimaciones de emisiones de GEI y del consumo de energía. MOVES permite desarrollar inventarios de emisiones a escala nacional, local o por proyecto, que de acuerdo a la EPA es posible aplicarlo para las emisiones carreteras en sustitución del MOBILE. Las emisiones se estiman sobre la base de factores de actividad de vehículos y emisiones. MOVES incluye factores de emisión para los vehículos según el tipo, tales como automóviles de pasajeros, autobús de pasajeros, camiones, la antigüedad del vehículo, y lo que el vehículo está haciendo en un momento determinado en el tiempo, es decir circulando, arrancando, detenido, etc. Los factores de emisión en operación se basan en la velocidad del vehículo, así como si el vehículo se está acelerando, desacelerando o de crucero. En general, estos diversos factores de emisión se multiplican por la actividad del vehículo correspondiente (por ejemplo, kilómetros recorridos por vehículo y el número de vehículos) para estimar las emisiones o el consumo de energía.

Promover la movilidad peatonal en las carreteras, ya sea proporcionando nuevas instalaciones o por la mejora de las existentes, tales como banquetas en el camino, dentro del derecho de vía. La inclusión o avance de la movilidad peatonal puede mejorar drásticamente no sólo la calidad y el confort de cómo la gente viaja, sino que puede cambiar el modo de transporte utilizado, si éste es más contaminante. Varios componentes de la sustentabilidad pueden ser incluidos en la mejora de las instalaciones para peatones en las carreteras.

La FHWA, en los Estados Unidos, desarrolló una guía para peatones, para proveer seguridad y movilidad. La guía proporciona 47 soluciones para el tratamiento apropiado de la problemática de la movilidad peatonal segura, incluyendo una herramienta denominada PEDSAFE. La herramienta permite al usuario definir una solución en función de las características del sitio, tales como las características geométricas y las condiciones de operación, el tipo de problema de seguridad o de un cambio de comportamiento deseado. El objetivo del sistema es proporcionar la información más aplicable para la determinación de las necesidades de seguridad y de movilidad y mejorar las condiciones para los peatones dentro del derecho de vía pública. PEDSAFE está destinado principalmente a los ingenieros, planificadores, profesionales de la seguridad, y los tomadores de decisiones, pero también puede ser utilizado por los ciudadanos para detectar problemas y recomendar soluciones para sus comunidades.

La AASHTO, en los Estados Unidos desarrolló también una guía práctica para la planeación, diseño y operación de instalaciones para peatones, la cual contempla una serie de recomendaciones básicas para la movilidad segura de los peatones.

En los Estados Unidos, estados como Washington cuentan con una guía para la incorporación de los peatones al sistema de transporte, donde se recomienda que las vías peatonales junto a la carretera se encuentren al menos a 1.5 metros del tránsito.

Promover la preferencia del transporte público o colectivo en las carreteras es un criterio de sustentabilidad. La AASHTO, en los Estados Unidos, tiene una guía para el diseño de instalaciones para los vehículos de alta ocupación (HOV, por sus siglas en inglés). La guía cuenta cómo planear y operar con éxito carriles para HOV en carreteras.

En Canadá, los carriles HOV están diseñados para ayudar a que más personas se desplacen a través de las áreas congestionadas y alivian la congestión en los carriles regulares, moviendo a más personas en menos vehículos.

Las bicicletas tienen un papel importante en el avance hacia un transporte sustentable. Para mejorar la salud, reducir las emisiones de GEI y el consumo de combustibles fósiles, la proporción de viajes realizados en bicicleta debe aumentar significativamente a través de la promoción efectiva, la planificación y la provisión de infraestructura. La AASHTO, en los Estados Unidos tiene una guía para la planeación, diseño y operación de instalaciones para bicicletas. Un factor importante a considerar es el diseño de la red de ciclovías y cómo integrarlas a la red de calles y carreteras actuales.

En los Países Bajos, cuya movilidad en bicicleta es muy alta, han trabajado en aumentar la seguridad en las carreteras, mediante la aplicación de tiras laterales a ambos lados de la carretera, lo que crea un solo carril estrecho para vehículos motorizados en el centro de la calzada: un carril canalizado. Las tiras de borde están marcadas con líneas discontinuas y pueden ser utilizados por los ciclistas si son suficientemente amplias. Los estudios indican que este tipo de marca aumenta ligeramente la seguridad vial.

En Australia, se cuenta con políticas diseñadas para el transporte en bicicleta, entre las que destacan: crear un ambiente seguro para bicicletas, proporcionar a las bicicletas mayor prioridad en la planificación y la infraestructura de transporte, una mejor representación de los intereses del transporte de bicicletas en la formulación de políticas, promover la bicicleta como medio de transporte preferido.

La tabla 2.2 muestra la matriz de sustentabilidad internacional del componente social. La búsqueda no es exhaustiva, sólo enunciativa, a fin de destacar lo más relevante del estado del arte internacional en los temas de sustentabilidad asociados a la planeación, construcción y operación de carreteras, de acuerdo a los criterios descritos en el capítulo 1.

Tabla 2.2 Matriz de sustentabilidad internacional – Componente social

COMPONENTE DE LA SUSTENTABILIDAD	ETAPA DEL PROYECTO	CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD	América				Europa				Oceania		
			Canadá	Estados Unidos	México	Argentina	Bélgica	Francia	Italia	Países Bajos	Reino Unido	Australia	Nueva Zelanda
SOCIAL	PLANEACIÓN Y DISEÑO	Plan de mantenimiento del sitio		X						X	X		
		Planeación en el contexto		X									
	CONSTRUCCIÓN	Pavimento silencioso	X	X				X			X		
	OPERACIÓN	Contaminación lumínica		X					X				
		Reducción de emisiones vehiculares	X	X			X						
		Movilidad peatonal		X									
		Movilidad para vehículos de alta ocupación	X	X									
		Movilidad para ciclistas		X						X		X	
	TOTAL			3	8	0	0	1	1	1	2	2	0

2.3 Componente técnico

El diseño geométrico sustentable en las carreteras permite dar cumplimiento a una serie de requisitos en otros aspectos tales como el ambiental, donde un buen diseño en la carretera asegura la potencialización de otros criterios de sustentabilidad.

Los caminos deben estar diseñados para proporcionar rutas eficientes entre los pares origen-destino. Contar con caminos directos y rutas alternativas, permiten distribuir el tránsito de manera más uniforme y disminuir los tiempos de recorrido. Un tiempo de viaje más corto significa que se usan menos combustibles fósiles, y los conductores pierden menos tiempo viajando en las carreteras. Las rutas principales y congestionadas deben ampliarse para incrementar la velocidad y acomodar la demanda del tránsito en horas pico.

El sistema de trazado de las calles debe proporcionar la densidad adecuada para permitir el movimiento del tránsito durante las horas pico de transporte.

El diseño de estacionamiento tiene una relación directa con el diseño de las carreteras y debe funcionar con la disposición de la calle. Los sistemas de estacionamiento y la calle deben diseñarse para trabajar juntos de manera eficiente con la red peatonal para proporcionar una red de transporte sustentable.

Los límites de velocidad deben permitir el movimiento de fluidos al tiempo que garantiza la seguridad de conductores y peatones. Las velocidades deben adaptarse a cada área y uso del suelo. Mientras que los límites que son demasiado altos son peligrosos, los límites que son demasiado bajos también pueden ser perjudiciales mediante la creación de la congestión del tránsito y el aumento de los tiempos de viaje, haciendo un mayor uso de combustibles fósiles y generación de GEI.

La mayoría de los países cuentan con manuales de diseño geométrico para carreteras, sólo requieren ser actualizados para modificar las variables de diseño que mitiguen los impactos negativos, tales como: la generación de emisiones, consumo de combustible, emisión de ruido, etc. Los Estados Unidos, ha revisado las ventajas del diseño geométrico de las carreteras europeas para identificar las mejoras susceptibles a implementar en su país.

El inventario del ciclo de vida de un proyecto, complementa al análisis del ciclo de vida, aunque este último es una herramienta para determinar los impactos ambientales asociados a un proceso productivo, mientras que el inventario integra de manera general y completa todo los procesos del proyecto.

En el año 2009 la industria de carreteras en Francia, firmó un acuerdo de cumplimiento voluntario llamado "*Convention d'Engagement Volontaire*" entre las autoridades y los profesionales agremiados, donde responden a un compromiso para el desarrollo sustentable en el sector. Uno de los compromisos se centra en la reducción del consumo de energía de fuente fósiles y el uso sistemático del reciclado de pavimento de asfalto (RAP, por sus siglas en inglés) y su contenido de asfalto, de tal forma que se reduzca la generación de GEI.

Las compañías francesas trabajaron conjuntamente con el Instituto de Carreteras, Calles e Infraestructura para la Movilidad (IDRRIM, por sus siglas en francés) para desarrollar una calculadora que permita evaluar el impacto ambiental con la ayuda de cinco indicadores: consumo de energía, emisiones de CO₂, consumo de materiales, reciclaje de agregados y el transporte en ton/km. La herramienta se denominó Sistema de Evaluación de Variables Ambientales (SEVE, por sus siglas en francés), el uso permite contar con carreteras sustentables en la etapa de construcción.

También el IDRRIM cuenta con otra calculadora para comparar en la planeación de un proyecto carretero sustentable la extracción de materiales provenientes de

banco, donde se pueden comparar diferentes alternativas técnicas a fin de reducir los materiales a utilizar. La herramienta se llama ECORCE.

La Federación Internacional de Carreteras (IRF, por sus siglas en inglés) desarrolló una herramienta útil para la estimación de emisiones de GEI específica para proyectos de infraestructura carretera, denominado CHARGER. Este software un análisis ambiental detallado de los proyectos de carreteras mediante la estimación de la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero liberados en el curso de un proyecto de construcción de carreteras sustentables. Tiene dos módulos importantes: el primero para estimar las emisiones del proyecto en la fase de planeación asociadas a todas las actividades de construcción y el segundo módulo específico para estimar los impactos en la pavimentación.

El Plan de Control de Calidad es un conjunto de procedimientos, para el desarrollo de las actividades destinadas a la entrega de productos que cumplan o superen las expectativas del cliente, tal como se expresa en los documentos del contrato y otras fuentes publicadas. Un plan de control de la calidad identificará a la organización o las personas responsables del control de calidad, los procedimientos específicos que se utilizan para asegurar la entrega de un producto de calidad. Un plan de control de calidad mide también el aseguramiento de la calidad y detalla el método de reporte y la documentación requerida. El estado de Oregón, en los Estados Unidos cuenta con modelo sobre el plan de control de la calidad para las obras del Departamento de Transporte. La guía debe ser adaptada para cada proyecto en particular y referirse a la normativa correspondiente.

En Estocolmo, el Instituto de Tecnología Real desarrolló también una guía para el control de la calidad y el aseguramiento de la misma en los pavimentos, durante la construcción y el mantenimiento. Los factores más importantes son el valor objetivo del material y sus características, la variación permitida, el modelo estadístico, los riesgos, los factores de pago. El control de las variaciones es el factor clave en la calidad, tanto en los materiales, en las pruebas, en los muestreos, en la producción y en la construcción.

En la India, se cuenta con un manual para el control de calidad en las carreteras rurales. Incluyendo los conceptos, de limpieza del sitio, movimiento de tierra, construcción de terracerías, construcción de pavimentos de asfalto o concreto, estructuras complementarias, estructuras de concreto, señalamiento, trabajos del mantenimiento, así como el seguimiento de calidad mediante el monitoreo.

En México, existe la normativa SCT que auxilia al control de calidad de los proyectos carreteros, tanto en la característica de los materiales, los métodos para el control de la calidad, los procedimientos constructivos, entre otros aspectos básicos.

El plan de gestión de residuos es una herramienta que se utiliza en los proyectos de construcción para identificar, medir y registrar los residuos generados, las responsabilidades y las opciones de gestión, ayudando a aplicar los principios de la jerarquía de residuos (evitar, reducir, reusar, reciclar, tratar y disponer) a través de cada etapa de la construcción.

El manejo de residuos de las carreteras mediante planes que coadyuven a la sustentabilidad, son requerimientos oficiales en varios países. Por ejemplo, en el Reino Unido, la Agencia de Carreteras reporta anualmente los residuos generados en el sector, producto de la construcción, demolición o excavaciones.

En Canadá, existen planes particulares para la gestión de residuos producto de la limpieza de los derechos de vía de las carreteras. El plan incluye la descripción del sitio, la identificación de los tipos de residuos (peligrosos o no peligrosos, y sus clasificaciones), el manejo de los residuos y la infraestructura requerida para el manejo de los residuos.

Los proyectos de carreteras sustentables deben contar con un análisis integral del ciclo hidrológico de las aguas en la zona de influencia de la carretera. El propósito de la evaluación hidrológica es determinar el nivel de control necesario para lograr los objetivos de gestión de aguas pluviales en los sitios. El nivel requerido de control se puede lograr mediante la aplicación de las distintas herramientas hidrológicas durante el proceso de planificación del sitio, el uso de prácticas integrales para el manejo y control. La evaluación hidrológica se realiza usando técnicas de modelado y análisis hidrológicos. La salida del análisis hidrológico proporciona la base para la comparación con las cuatro medidas de evaluación (es decir, el volumen de escorrentía, escorrentía pico, frecuencia y control de la calidad del agua).

El estado de Maryland en los Estados Unidos cuenta con manuales para el análisis hidrológico para un desarrollo con bajo impacto, así como una guía para el análisis hidrológico/hidráulico de las obras adyacentes a las carreteras del estado. Particularmente el estado aprueba el proyecto si contempla todos los requerimientos necesarios para el manejo del agua pluvial.

La FHWA editó por su parte un reporte sobre hidrología de carreteras. El documento incluye como componentes importantes el análisis de las precipitaciones y de las escorrentías en carreteras; la compilación de datos hidrológicos; determinación de flujos máximos; distribución de frecuencias; ajuste de inundaciones; diseño hidrográficos; tópicos selectos de hidrología, etc. que coadyuven a contar con un análisis sustentable del ciclo del agua pluvial en carreteras.

En casi todos los países, en un proyecto de ingeniería de carreteras, es común que se incluya un análisis hidrológico en la planeación, a fin de determinar las obras de drenaje necesarios en el camino, para protección y para el manejo del agua pluvial, aunque pocos países cuentan con manuales específicos para

carreteras, sino una variante de los estándares del análisis hidrológico convertidos a mejores prácticas de ingeniería. En México, por ejemplo, para obtener la autorización de impacto ambiental se requiere este estudio y todas las obras necesarias para el manejo del agua superficial y subterránea.

La reutilización de materiales es una práctica para las carreteras sustentables que ha tenido una experiencia creciente en España, donde cualquier proyecto debería contar con un estudio en relación a este tema. La práctica incluye: reutilización de suelos en la carretera, minimizando el movimiento de tierras y los préstamos de banco; la reutilización de los residuos o subproductos de otras actividades industriales; la reutilización de otros residuos de la construcción y la demolición; el reciclaje de los pavimentos de carreteras deterioradas o que agotaron su vida útil.

En algunas obras carreteras realizadas en España se han empleado residuos de construcción y demolición, aunque las tasas de utilización son bajas. Otros residuos utilizados son escoria de fundición de acero, neumáticos fuera de uso y otros menos conocidos como cenizas, lodos o material de dragado de puertos. Otros ejemplos son el empleo de residuos de construcción y demolición mixtos en la capa de suelo-cemento en la nueva carpeta.

En los Estados Unidos, una investigación realizada por Robin L. Schroeder de la FHWA destacó el uso de materiales reciclados que se utilizan en la construcción de ese país como una práctica sustentable. Los materiales susceptibles a reutilizarse son: escoria de fundición, residuos de fibras, subproductos de la combustión del carbón, cenizas volátiles, residuos de la desulfuración de gases de combustión, vidrio, cenizas de la combustión de residuos sólidos urbanos, plástico, neumáticos, residuos de la construcción, etc. La industria de la construcción de la carretera se puede utilizar de forma eficaz grandes cantidades de diversos materiales. El uso de subproductos de desecho en lugar de materiales vírgenes puede aliviar parte de la carga asociada a la eliminación y puede proporcionar un producto de construcción barato y ventajoso. La investigación actual sobre el uso beneficioso de los subproductos de desecho como materiales de construcción de carreteras ha identificado varios usos prometedores para estos materiales. Esta investigación se ha llevado a cabo principalmente en el laboratorio. El siguiente paso será poner estas ideas en acción mediante el inicio de un programa sistemático para determinar la viabilidad y el rendimiento a largo plazo de estos materiales en los proyectos de construcción real de la carretera.

En el Reino Unido, Paul Edwards quien publicó en el Instituto Colegiado de Transporte y Carreteras (CIHT, por sus siglas en inglés) describe que el desarrollo sustentable requiere el uso óptimo y la reutilización de materiales para conservar los recursos y reducir al mínimo el impacto ambiental de los procesos de construcción. El impuesto a los residuos es un instrumento de gran ayuda para reducirlos o reutilizarlos, así como también la aplicación de la Guía para la planificación de los materiales. La consecuencia económica probable de esta nueva guía será una reducción global de la disponibilidad (a través de una

reducción de nuevos bancos de material) y posibles aumentos de precios de los agregados primarios.

Las barreras para el uso de materiales reciclados y secundarios, suelen citarse como: la disponibilidad de las especificaciones adecuadas, la falta de confianza y la percepción de riesgo en relación con los materiales convencionales, la disponibilidad de materiales y economía, la legislación (en particular la clasificación de muchos materiales no primarios como “residuos”). Los materiales con aplicaciones específicas incluidas son: el polvo en hornos de cemento, yeso, escorias no ferrosos y cerámica reciclados, balasto, plásticos y caucho.

Un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) es el proceso utilizado para gestionar, revisar, corregir y mejorar el impacto de la organización sobre el medio ambiente. Un SGA ofrece una forma estructurada para incorporar las consideraciones ambientales en las operaciones de una empresa dedicada a la construcción de carreteras.

Los SGA son de aplicación voluntaria, aunque en algunos países exigen a las empresas que construyen y mantienen carreteras, que estén certificados en el marco de la norma ISO 14001. En los Estados Unidos, la Agencia de Carreteras de Massachusetts editó un Manual para el Sistema de Gestión Ambiental. Particularmente el manual se enfoca a la limpieza y manejo de residuos en las instalaciones, residuos peligrosos, residuos sólidos y calidad del agua.

En Hong Kong, el departamento de carreteras de ese país se encuentra certificado por la norma ISO 14001. El SGA mide el desempeño ambiental y el cumplimiento de los requisitos ambientales, incluyendo diversas legislaciones, el control y seguimiento periódico de los componentes ambientales. Con el fin de prevenir o mitigar el posible impacto ambiental derivado de la construcción, monitorean el desempeño ambiental de los contratistas a través de las siguientes medidas en el marco del contrato respectivo: inspecciones ambientales periódicas realizadas conjuntamente por el contratista y el ingeniero responsable, inspección regular y el seguimiento por parte del equipo de medio ambiente y el independiente supervisor ambiental requerido para los proyectos designados bajo la Ordenanza sobre la Evaluación de Impacto Ambiental, reunión del Comité de Seguridad e Higiene mensual y Gestión Ambiental presidido por el Representante de Ingeniería, Inspección Regular Ambiental por nuestros oficiales de proyectos. Además de las medidas típicas del medio ambiente, las medidas especiales también se han adoptado para atender a los desafíos que se puedan enfrentar en los diferentes proyectos.

El proceso de construcción tiene particulares impactos ambientales y opciones de mitigación en cada etapa del proyecto: preparación del sitio, actividades de construcción y la restauración del sitio después de la finalización de los trabajos. La capacitación en estos temas es importante para el personal que participa en los proyectos carreteros que son responsabilidad del constructor.

La FHWA en los Estados Unidos, cuenta con una herramienta para capacitar al personal de cómo integrar el cumplimiento ambiental de la NEPA en el desarrollo de proyectos, se denomina "*Environmental Review Toolkit*".

También en los Estados Unidos, el Centro para la Excelencia Ambiental de AASHTO han comenzado a capacitar al personal de mantenimiento de los departamentos de transporte de al menos 24 estados en los problemas y regulaciones ambientales, así como en la implementación de las mejores prácticas. La capacitación anual a todo el personal de campo de la construcción cubre las regulaciones y permisos ambientales, control de la erosión y de las aguas pluviales, las responsabilidades del contratista y las reuniones previas a la construcción.

En Australia, el Departamento de Planeación, Transporte e Infraestructura del Gobierno del Sur de Australia, cuenta con cursos de formación ambiental para los trabajadores en el mantenimiento de carreteras, en el cual se busca crear conciencia de los sistemas de gestión ambiental aplicables a las actividades del mantenimiento del camino.

Minimizar la cantidad de residuos relacionados con la construcción destinado a vertederos y promover el cuidado del medio ambiente a través de buenas prácticas ambientales en el lugar de trabajo. Para ello es necesario establecer un plan de reciclaje, implementarlo y mantener un sitio formal de disposición y/o almacenaje como parte de la construcción, así como un plan de gestión de residuos de demolición durante la construcción. El plan de reciclaje del sitio debe describir claramente la implementación, la comunicación, el seguimiento, el mantenimiento y el desvío apropiado en el lugar de reciclaje.

En los Estados Unidos, la municipalidad de King County ha desarrollado herramientas y documentos para ayudar al manejo residuos y su reciclaje. Las herramientas disponibles incluyen directrices para los residuos en los lugares de trabajo, una plantilla del plan de gestión de residuos, especificaciones de reciclaje de residuos, un directorio de recicladores de desechos de construcción locales. Se cuenta además con asistencia disponible que incluye presentaciones a los trabajadores de la construcción sobre reúso, recuperación y reciclaje, visitas al sitio para evaluar las opciones de desvío y la investigación sobre las opciones de reciclaje para los productos básicos difíciles de reciclar.

Un plan o programa de reciclaje es importante para la gestión integral de los residuos que se generan en la construcción y operación de las carreteras. Existen actualmente iniciativas locales de los departamentos de carreteras donde instruyen el contenido de un plan o programa de reciclaje. Por ejemplo, también en los Estados Unidos, en el municipio de Aurora Township, cuenta con una guía básica para el reciclaje en carreteras, donde se debe describir qué se va a reciclar, ya sea papel, plásticos, metal, vidrio, sustancias peligrosas, etcétera, cuándo se

debe realizar el reciclaje; cómo debe realizarse, entre otros aspectos relevantes que se destacan.

La reducción del uso de combustibles fósiles en la construcción de carreteras viene a ser un tema de sustentabilidad. Por ello se han realizado importantes mejoras tecnológicas en equipos y procesos para reducir los consumos de energía.

La reducción de la temperatura máxima del asfalto durante la producción y de mezcla permite la reducción del consumo de combustible en las plantas de mezcla, ya que se necesita menos energía para calentar los minerales y el asfalto. La segunda ventaja de temperaturas más bajas es la disminución significativa del humo de asfalto a la que los trabajadores de la construcción están expuestos.

La Compactación Ammann Expert (*Ammann Compaction Expert*) permite al operador de un rodillo seleccionar el modo de vibración óptima en el sitio de construcción de carreteras. Una compactación más rápida se logra y se mide el nivel actual de la compactación. Esta tecnología suiza, impide la sobrecompactación y, por lo tanto, reduce el consumo de energía al mínimo.

En los Estados Unidos, la empresa Caterpillar desarrolló el D7E que es un nuevo tractor de orugas (bulldozer) con accionamiento eléctrico que aumenta la eficiencia de explanación en un 25% (metros cúbicos/litros) y disminuye los costos operativos en un 10%. Este revolucionario sistema de propulsión integrado reduce el consumo de combustible entre 10 y 30% y utiliza menos piezas y líquidos durante su vida útil. El D7E también ayuda al medio ambiente al reducir el CO₂ y las emisiones.

Además de la energía eléctrica utilizada, es posible usar biocombustibles en las maquinas manejadas en la construcción.

Finlandia ha presentado recientemente sus planes de construir la primera carretera verde del mundo, un tramo de 81 millas de carretera que cuenta con estaciones de servicio para coches eléctricos y bombas de biocombustibles locales, equipado con sistemas de iluminación de bajo consumo y bombas de calor geotérmicas.

La reducción de emisiones provenientes de los vehículos que circulan en las carreteras o que participan en la construcción de la misma es una tarea de cumplimiento normativo, donde de la mayoría de los países cuentan con regulaciones de la EPA o la denominada EURO. En México, por ejemplo, se cuenta con estas regulaciones donde se establecen los límites máximos permitidos para los vehículos automotores de gases emitidos a la atmósfera.

La reducción puede darse por la eficiencia en la combustión, pero también puede ser a través de dispositivos como el *retrofit*. En el 2009, se estableció el requerimiento de utilizar diésel ultrabajo en azufre para los vehículos, donde la mayoría de los vehículos de carga y los utilizados en la construcción requieren

diésel para funcionar. Con esta medida se redujo el número de partículas por millón de azufre emitidas a la atmósfera.

Por otra parte, reducir las emisiones en la pavimentación, mejora la salud humana al reducir la exposición del trabajador a las emanaciones del asfalto.

En 2009, en los Estados Unidos, una investigación realizada por el Instituto Tecnológico de Massachusetts mostró que al examinar el ciclo de vida de los pavimentos de concreto, estos reducen significativamente las emisiones de GEI.

La mayoría de los trabajos de reducción de emisiones en la pavimentación se centra en la utilización mezclas que se produzcan a temperaturas más bajas como las mezclas en tibio (WMA, por sus siglas en inglés). El objeto es reducir el consumo de energía para calentar la mezcla y sus agregados, así como las emisiones durante el proceso y al tender la mezcla. Es probado que dicha tecnología puede reducir los costos de pavimentación, ampliar la temporada de pavimentación, mejorar la compactación de asfalto, permite a la mezcla asfáltica ser transportada largas distancias, mejora las condiciones de trabajo mediante la reducción de la exposición a las emisiones de combustibles, humos y olores.

La empresa EUROVIA, en Francia, desarrolló TEMPERA que es una gama de mezclas tibias que se producen y tienden a temperaturas de 30°C a 50°C por debajo de los de las mezclas convencionales. La gama TEMPERA es adecuada para su uso en prácticamente casi todas las aplicaciones (capas de rodamiento o de base) sea cual sea el asfalto, modificados o no modificados. Las mezclas en tibio se producen adecuadamente para todos los tipos de tránsito, desde autopistas hasta calles urbanas.

En los Estados Unidos, la FHWA ha registrado más de 20 tecnologías disponibles en ese país para los pavimentos con mezclas en tibio. Su aplicación ha sido en más de 140 proyectos carreteros ya construidos al 2010. Los resultados han mostrado ventajas en ahorro de energía, disminución de emisiones y fumarolas, amplían los periodos de aplicación, facilitan la compactación, incrementan el uso de pavimentos reciclados y disminuyen el uso de aditivos.

También en los Estados Unidos, la Asociación Nacional de Pavimentos de Asfalto (NAPA, por sus siglas en inglés) ha desarrollado investigaciones sobre las mejores prácticas sobre el uso de la WMA.

Generar información a nivel de proyecto sobre el uso del agua en la construcción de carreteras mejora la práctica de la sustentabilidad al cuidar los recursos naturales e incrementa la conciencia sobre el uso racional de la misma.

VicRoads (Agencia de carreteras del estado de Victoria) en Australia, adopta un enfoque holístico a la gestión del agua en la construcción, operación y mantenimiento de carreteras. Esto se logra teniendo en cuenta el uso de cualquier tipo de agua, ya sea potable, residual, pluvial o subterránea, a fin de proteger los

ecosistemas acuáticos y de los diferentes usos y valores del agua (llamados usos benéficos). Un enfoque integrado ayudará a asegurar que el ciclo del agua sea considerado en su conjunto, de acuerdo con los principios fundamentales para la gestión del agua urbana y regional.

Más específicamente, para la gestión sustentable del agua y proteger la calidad de ésta en los proyectos de carreteras, se recomienda tratar las aguas pluviales de las actuales carreteras, utilizar las cuencas de sedimentación y las mejores prácticas o técnicas de gestión medioambiental para evitar que los sedimentos sean cargados a las escorrentías producto de las obras de construcción, identificar fuentes alternativas para reducir la cantidad de agua potable en las actividades de construcción y mantenimiento, incorporar *Water Sensitive Road Design* en bordes de carreteras urbanas para gestionar las aguas pluviales de escorrentía y proteger las aguas subterráneas.

En el Reino Unido, se realizan auditorías del uso del agua en los sitios de construcción. La prioridad para la aplicación de medidas para la conservación del agua en las obras de construcción está en reducir el desperdicio de agua en los siguientes procesos identificados: la supresión de polvo en general en la carretera y el lavado de la ruedas; la hidrodemolición con agua a alta presión; limpieza, que incluya los vagones de concreto premezclado y otras aplicaciones; y puesta en marcha y pruebas de construcción de plantas/servicios. Lo anterior derivado del reporte realizado por WRAP (*Waste & Resources Action Programme*).

De acuerdo a WRAP, los datos recogidos son robustos con respecto a los consumos de agua de los sitios en el día de la auditoría, se requiere la implementación de un plan de monitoreo a largo plazo sobre una muestra de sitios de control para comenzar a identificar tanto el total de volumen utilizado, como la proporción utilizada en el sitio.

El contenido de la auditoría propuesta por WRAP deberá incluir la descripción del personal, copia de los contratos para el uso del agua, copia de los pagos correspondientes a las agencias u organismos encargados, mapa del sitio, descripción del proyecto, inventario del equipo que utiliza agua, usos domésticos del agua, identificación de las fuentes, unidades de consumo y la estimación de los requerimientos de agua de acuerdo al proyecto.

Promover el uso de vegetación nativa tiene beneficios ambientales importantes, ya que normalmente no requieren irrigación y por lo tanto reducen el consumo de agua, así como evitar que especies invasivas generen desequilibrios en las zonas aledañas a las carreteras.

El Departamento de Transporte y Carreteras Primarias del Gobierno de Queensland en Australia, promueve el uso de una herramienta para la evaluación ambiental en los corredores viales para el manejo y el control de la vegetación. Con ello garantizan el equilibrio entre el desarrollo de la carretera y la gestión de la vegetación. Se evita el impacto de la vegetación en los corredores, se evita la

degradación del suelo y se protegen las especies raras y amenazadas. Un estudio de caso son las comunidades de pastizales nativos del Darling Downs las cuales son ecológicamente significativas y se encuentran predominantemente en la reserva del camino. Estas comunidades apoyan muchas especies raras y en peligro de extinción.

El Departamento de Transporte, en el Estado de Minnesota en los Estados Unidos, cuenta con un manual ex profeso para la gestión de la vegetación en la orilla de las carreteras, el cual incluye las mejores prácticas y un capítulo sobre vegetación sustentable referida al uso de especies nativas y los procedimientos para su sembrado, mantenimiento y gestión.

La FHWA, por su parte desarrolló un reporte sobre el uso de plantas nativas en las carreteras. El reporte describe que el entorno de la carretera es uno de los paisajes más experimentados por el público en general, las comunidades de plantas nativas de la región proporcionan algunas de las señales más fuertes de la identidad única de un lugar. Sugiere que la planificación de un paisaje de carretera debe estar basado en las comunidades de plantas nativas de la región, un primer paso es analizar y caracterizar las diferentes zonas en función de las condiciones ambientales, por ejemplo, el tipo de suelo, características de humedad, la orientación solar, la vegetación existente y uso de la tierra adyacente. Es difícil recrear una comunidad nativa en su totalidad, pero a menudo se pueden incorporar especies clave de una comunidad de plantas dentro de las zonas correspondientes, estos incluyen la especie dominante (generalmente los miembros más grandes de la comunidad, que influyen en todo lo que hay debajo de ellos), las especies prevalecientes (aquellas que por lo general se presentan con mayor abundancia en la comunidad), y las especies "esencia visual" (aquellas que tienen algún rasgo único que dan importancia visual en la comunidad).

El reciclaje de pavimento existente tiene un alto valor en la sustentabilidad ya que permite reducir significativamente el consumo de recursos naturales, particularmente el reuso de los agregados que conformaban las capas del pavimento viejo. En la práctica internacional existen muchas empresas dedicadas al reciclaje de pavimentos en sitio o en planta, de tal manera que su uso es muy generalizado, por lo que sólo destacarán algunos productos o empresas.

La empresa MARTEC de origen canadiense ha enfrentado el desafío de restaurar los pavimentos asfálticos en las carreteras, incrementando su durabilidad y permitiendo ahorros económicos en inversión. El objetivo es cambiar la rehabilitación de carreteras del método tradicional de reencarpetamiento por el reciclaje en el sitio. Este proceso se realiza en las siguientes etapas: precalentamiento, perfilado o fresado en caliente, mejoramiento de la calidad del pavimento, postcalentamiento, secado y mezclado, seguidos por la distribución y compactación convencional. Dos de las originales y patentadas características del proceso de MARTEC son la combinación de aire caliente forzado con el

calentamiento a radiación de bajo nivel y los procesos de postcalentamiento, secado y mezclado.

En Suiza, la empresa COLAS, promueve el uso de VALORCOL. El producto es un cemento de asfalto frío, basado enteramente de agregado y asfalto recuperado. El aglutinante utilizado es también una emulsión de asfalto en frío, así que no hay necesidad de calor durante la preparación y mezcla. Se puede utilizar para las capas de subbase y base y en determinadas condiciones para las capas superficiales. Los agregados son el resultado de la trituración de las superestructuras de la carretera vieja. Los espesores de las capas son comparables a las de asfalto caliente tradicional y dependen del resultado deseado.

La empresa EUROVIA, en Francia, creó RECYCLOVIA, que es un proceso de reciclado *in situ* para pavimentos, el cual implica el uso de un ligante asfáltico en frío, emulsión o asfalto espumado. La técnica se puede utilizar para la renovación de revestimientos de pavimentos flexibles y semirígidos a una profundidad de aproximadamente 150 mm.

Un sistema de gestión de pavimentos (PMS, por sus siglas en inglés) es un proceso sistemático formal de mantenimiento, acondicionamiento y explotación de un pavimento en particular o una red de pavimentos. Este sistema debe estar al servicio del proyecto vial e incluir, como mínimo, las siguientes actividades: medir la condición del pavimento al menos una vez cada dos años, poseer criterios de decisión documentados para cronometrar las acciones de preservación, registrar cuando se producen esfuerzos de conservación, almacenar información en un formato recuperable; visualizar la información para el usuario o administrador de la red carretera.

En Australia, el Sistema de Gestión de Pavimentos SMEC ofrece a los responsables de las carreteras la capacidad de seleccionar el programa de obras más apropiadas para maximizar el rendimiento a largo plazo de la red, en virtud de una serie de fondos definidos y las estrategias de conservación. Se apoya en la tecnología Oracle y SQL Server, sistemas de información geográfica (SIG) que permiten integrar la cartografía y el modelo HDM. PMS del SMEC combina tecnología avanzada con una interfaz fácil de usar.

PAVER es un software desarrollado por la Universidad del estado de Colorado, el cual ofrece funciones de gestión de pavimentos para: desarrollar y organizar el inventario de pavimento, evaluar la condición actual de los pavimentos, desarrollar modelos para predecir las condiciones futuras, generar informes sobre el pasado y el futuro comportamiento del pavimento, desarrollar escenarios de conservación con base en el presupuesto o los requisitos existentes y plan de proyectos.

Un sistema de gestión de pavimentos ha sido desarrollado por COMPASS Informática para la Agencia Local de Gestión del Gobierno de Irlanda, y es utilizado por las autoridades locales para lograr un enfoque estandarizado para la

evaluación y gestión de pavimentos de carreteras. El sistema se centra en la gestión de la información y las acciones relacionadas con el pavimento de la carretera, incluidos los programas de monitoreo de condiciones de la carretera y mantenimiento. El sistema es compatible con el seguimiento y la gestión de 91,000 kilómetros de carreteras irlandesas locales y regionales (94% del total del país) a través de un escritorio integrado, Web y solución móvil inteligente. El Sistema de Gestión de Pavimentos es un buen ejemplo de "hacer más con menos", liberando al usuario para optimizar su jornada de trabajo, y permitir que los tomadores de decisiones tengan acceso rápido a los datos en un formato fácilmente accesible, utilizable y comprensible. El Sistema de Gestión de Pavimentos permite una planificación eficaz de las tareas de gestión de carreteras y de trabajo a las autoridades locales y a nivel nacional.

La preservación de sitios históricos o de valor cultural se considera un aspecto técnico-social de la sustentabilidad, particularmente cuando pueden ser afectados por los proyectos carreteros. Los restos que sobreviven del pasado histórico y prehistórico son recursos no renovables, fácilmente degradados o destruidos por los proyectos de carreteras a menos que se haga un esfuerzo apropiado para identificar, evaluar y protegerlos.

En el caso de los proyectos de transporte específicos, la FHWA consulta con el funcionario de preservación histórica para determinar si el proyecto tiene el potencial de afectar a las propiedades históricas. También consultarán al público y otras partes interesadas, como las tribus americanas nativas, al determinar si un proyecto específico tiene el potencial de afectar a las propiedades históricas. Después de la consulta, la agencia federal puede decidir que el proyecto no tiene potencial de afectar propiedades históricas y entonces dirigir el proyecto para proceder.

En los Estados Unidos, el Departamento de Transporte de California (Caltrans) cumple con las leyes federales que protegen los sitios históricos, tales como la Ley de Preservación Histórica Nacional de 1966. Caltrans ha establecido políticas y directrices para el cumplimiento de las leyes y reglamentos de los recursos culturales federales y estatales. Están contenidos en el estándar de referencia Volumen 2 "cultural resources".

En México sucede algo similar, se consulta con el organismo responsable de los sitios históricos, revisan si dentro del inventario de sitios el proyecto a ejecutar puede tener un impacto negativo sobre estos y emiten un dictamen, que puede constar de acciones de rescate paralelas al proyecto o en algunos casos considerar mover la ruta original para no impactar los vestigios arqueológicos.

La Tabla 2.3 muestra la matriz de sustentabilidad internacional del componente técnico. La matriz no incluye una búsqueda exhaustiva, sólo enunciativa, a fin de destacar lo más relevante del estado del arte internacional en los temas de

sustentabilidad asociados a la planeación, construcción y operación de carreteras, de acuerdo a los criterios descritos en el capítulo 1.

Tabla 2.3 Matriz de sustentabilidad internacional – Componente técnico

ETAPA DEL PROYECTO	CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD	América			Asia		Europa						Oceanía		
		Canadá	Estados Unidos	México	Hong Kong	India	España	Francia	Suecia	Irlanda	Finlandia	Reino Unido	Suiza	Australia	Nueva Zelanda
PLANEACIÓN Y DISEÑO	Diseño geométrico		X												
	Inventario del ciclo de vida							X					X		
	Plan de control de calidad		X	X		X			X						
	Plan de manejo de residuos	X										X			
	Análisis hidrológico		X	X											
CONSTRUCCIÓN	Uso de materiales reciclados		X				X					X			
	Sistema de Gestión Ambiental		X		X										
	Formación Ambiental		X										X		
	Plan de reciclaje		X												
	Reducción del consumo de combustibles fósiles		X							X		X			
	Reducción de emisiones en la pavimentación		X												
	Mezclas asfálticas tibias (WMA)		X					X							
	Registro del uso del agua en la construcción											X		X	
	Vegetación nativa		X											X	
OPERACIÓN	Reciclaje de pavimentos	X					X	X					X		
	Sistema de Gestión de Pavimentos		X							X				X	
	Preservación de sitios históricos		X	X											

2.4 Componente ambiental

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es aplicada en la mayoría de los países que cuentan con legislación ambiental de manera obligatoria y su aplicación suele darse en la etapa de planeación del proyecto. El primer país que inició la evaluación del impacto ambiental fue los Estados Unidos de América en los 70's. En Latinoamérica algunos de los países que cuentan con este proceso obligatorio son México, Costa Rica, Chile, Colombia, Brasil, entre otros. En Europa todos los países miembros de la comunidad cuentan con este proceso establecido de forma obligatoria y además cuentan la evaluación estratégica ambiental para

planes y programas; países como Australia y Nueva Zelanda cuentan también con legislación en materia ambiental para regular la EIA.

Para rehabilitar la conectividad ecológica que en ocasiones es interrumpida por la construcción de carreteras fragmentando los ecosistemas, la comunidad europea cuenta con Manual para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones, dicho manual describe los efectos de las carreteras en la naturaleza, el desarrollo de soluciones integradas, las herramientas necesarias para la planificación, la integración en el paisaje del entorno, los pasos de fauna y otras soluciones técnicas, medidas compensatorias y el seguimiento de la efectividad de las medidas. En Estados Unidos, por ejemplo, se cuentan con guías para el desarrollo de pasos de fauna, con especial enfoque a carnívoros y otras especies silvestres, aunque la guía es de carácter voluntario, la obligatoriedad se establece en las medidas de mitigación asociadas a la evaluación del impacto ambiental.

Dentro de la conectividad ecológica y la integración de las carreteras al medio ambiente, en España se han desarrollado publicaciones para que en la planeación de carreteras se tomen en cuenta consideraciones especiales cuando el proyecto atraviesa o bordea un área natural protegida o considera de alto valor ambiental. De acuerdo al documento técnico “Integración Ambiental” de la Asociación Española de la Carretera se recomienda lo siguiente: aumento de la permeabilidad transversal para disminuir el efecto barrera mediante el sobredimensionamiento de puentes y viaductos, construcción de túneles falsos, adecuación de obras de drenaje y construcción de pasos de fauna específicos; compensación del movimiento de tierras buscando un equilibrio entre los cortes y los terraplenes; reducción de pendientes en los taludes para evitar la erosión y favorecer la integración paisajística; protección de los sistemas hidrológicos; desarrollo e implementación de proyectos de restauración paisajística; disminución de la superficie de proyecto, es decir, que el derecho de vía sea mucho menor en las zonas protegidas; entre otras.

El riesgo de efectos ambientales adversos puede ser importante durante la construcción, para ello resulta necesario contar con un Plan de Prevención de Contaminación de Aguas Pluviales para las Actividades de Construcción (SWPPP, por sus siglas en inglés), que se elaboró en los Estados Unidos por la Agencia para la Protección del Ambiente, emitió disposiciones para el manejo y disposición del agua limpia, los cuales deben ser acatados por los operadores de sitios de construcción, donde se establecen los lineamientos para el vertido de aguas pluviales provenientes de esos sitios. Este documento no es específico para carreteras, pero sí regula la construcción de esta actividad.

La Agencia para la protección del Medio Ambiente en Suecia, establece principios para la prevención y mitigación de la contaminación. Se requieren: propuestas de seguimiento, medidas de contingencia y planes de emergencia, incluida una lista de verificación ambiental para controlar y planificar el calendario de las obras para evitar la construcción de carreteras, y otras actividades potencialmente

contaminantes durante los períodos de alta precipitación. Esto debe incluir: inspecciones visuales diarias y el registro de las acciones ambientales requeridas, propuestas para la planificación de actividades en relación a las fuertes lluvias (previsión hasta 3 días); la identificación de todos los elementos de construcción y su ubicación en relación con los receptores sensibles, incluidos posibles cuerpos de agua, suministro de agua y las especies que dependen del agua; los detalles de cómo se programan las obras para evitar cualquier impacto adverso sobre los receptores sensibles. Un calendario de obras que tenga en cuenta todas las sensibilidades ambientales, tales como el desove de peces, entre otras.

El Instituto de Carreteras, Calles e Infraestructura para la Movilidad, desarrolló también otra herramienta denominada VARIWAYS, cuyo objetivo es comparar alternativas de rutas carreteras mediante un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) que incluye la estimación del consumo de energía y las emisiones de GEI, asociadas a la operación al tránsito que circulará durante la vida útil del proyecto y, con ello, elegir la ruta más sustentable.

En España también existen ejercicios sobre el ACV en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente. El proceso realizado por la empresa SORIGUÉ, determina los consumos de energía de los equipos y las máquinas, estima las emisiones de GEI y otros contaminantes criterio y los residuos generados. La aplicación es de carácter voluntario del ACV como un instrumento empresarial que permite reducir los costos de fabricación y obtener una mejor posición competitiva en el mercado.

La norma internacional ISO 14040 describe los principios y el marco para el análisis del ciclo de vida que incluye: la definición del objetivo y el alcance del ACV, el análisis de inventario, la evaluación del impacto, la fase de interpretación, presentación de informes y la revisión crítica del ACV, las limitaciones del ACV, la relación entre las fases del ACV, y las condiciones para el uso de opciones de valor y elementos opcionales. ISO 14040 cubre el ACV y el inventario de ciclo de vida (ICV). No describe la técnica de ACV en detalle, ni especifica metodologías para las fases individuales.

En Canadá, la Asociación del Cemento desarrolló un estudio de ACV para comparar el consumo de energía y sus emisiones en estructuras de pavimento de concreto para un periodo de vida útil de 50 años. El estudio evaluó la energía utilizada y las emisiones generadas para dos diseños equivalentes de concreto para arterias y para carreteras con alto volumen de tránsito, incluyendo la alternativa de utilizar pavimento de asfalto. Los resultados entre los diseños de pavimentos de concreto no resultaron significativos en diferencia con un error estadístico del 10%, sin embargo, al compararlos con la opción asfalto se produce un 11% más de GEI con respecto al concreto.

En EUA, existe una herramienta llamada PALATE basada en Excel para el ACV de los efectos ambientales y económicos de los pavimentos y carreteras. La herramienta toma como datos de entradas el diseño, la construcción inicial, el mantenimiento, el uso del equipo y los costos de una carretera y ofrece como

resultados los efectos y costos ambientales del ciclo de vida. Efectos ambientales investigados incluyen: el consumo de energía, las emisiones de CO₂, las emisiones de NO_x, emisiones de PM₁₀, las emisiones de SO₂, las emisiones de CO, información de lixiviados, principalmente. La herramienta fue desarrollada por la Universidad de California, campus Berkeley.

Para el control del ruido es importante contar con mediciones en las carreteras, pero una característica adicional es la elaboración de mapas de ruido que se han desarrollado en España, a partir de la Directiva 2002/49/CE. Los mapas de ruido permiten evaluar los niveles de exposición de ruido de la población debido a la operación de las carreteras, permite informar de los niveles de ruido y con ello establecer políticas para la reducción de los niveles si exceden los límites permisibles. Los mapas son: mapas de niveles sonoros básicos, mapas de exposición y mapas de zona de afección.

La Administración Federal de Carreteras (FHWA, por sus siglas en inglés) desarrolló un manual para el control del ruido en la construcción de carreteras. El manual describe los impactos del ruido asociados a la construcción de carreteras, determina el tipo de análisis necesario para cada caso, evalúa y sugiere las medidas efectivas para mitigar el ruido durante la construcción. La misma FHWA desarrolló el Modelo de Ruido para la Construcción en Carreteras (RCNM, por sus siglas en inglés), el cual permite pronosticar los niveles de ruido durante las diferentes etapas de construcción de una carretera.

En los Estados Unidos, la *East-West Gateway Council of Governments* desarrolló un documento para los escurrimientos en carreteras y su impacto en la calidad del agua. Los impactos agua ocurren durante la precipitación y pueden clasificarse en cinco categorías: sedimentos durante la construcción o conservación de carreteras; combustibles, aceites y residuos químicos producto del paso de los automóviles; fertilizantes o pesticidas provenientes de los suelos agrícolas adyacentes a la carretera; virus y bacterias de los sistemas hidráulicos; sales u otros químicos utilizados en carreteras invernales. El objetivo del trabajo es mostrar las mejores prácticas para disminuir los impactos en la calidad del agua en las carreteras sustentables.

En Australia, el Centro de Investigación Cooperativa estableció para la hidrología de la cuenca diseños opcionales para mejorar la calidad de los flujos superficiales en las carreteras y su calidad. El reporte técnico describe los principales contaminantes identificados en las carreteras y los factores que influyen en la calidad de los escurrimientos. Las propuestas de diseño muestran un diseño sensible para el drenaje en carreteras sustentables.

El control de la escorrentía de aguas superficiales en las carreteras, autopistas y puentes, es esencial para evitar su contaminación mediante el arrastre de sedimentos que provocan erosión en taludes y terraplenes. Un plan de control de erosión y sedimentos, que incorpora las mejores prácticas de manejo más

adecuadas y rentables es esencial para el control de los flujos superficiales. La EPA en los Estados Unidos promueve como mejores prácticas el uso de vegetación para retardar los flujos, el uso de franjas de vegetación, la construcción de terrazas, construcción de represas naturales, estanques de retención, zanjas de infiltración o humedales artificiales, entre otras.

En el Reino Unido, se desarrolló un producto de material 100% reciclado denominado *Envirodeck*, el cual permite aumentar la efectividad de los sistemas de drenaje existentes para los escurrimientos superficiales. Estas piezas permiten delimitar la orilla del camino en zonas urbanas y puentes, entre otras, con las cuales se permite el paso del flujo de agua de forma natural por las pequeñas rendijas y conducir el flujo del agua en el interior, hasta a canalizarla a una escorrentía superficial natural.

Para la reducción del consumo de combustibles fósiles en las carreteras existen actualmente varios productos como el uso de tecnología LED y películas refractantes en las señales que ahorran energía para iluminar o comunicar información a los usuarios. Por otra parte el uso del bioetanol en la maquinaria para la construcción contribuye sustancialmente al ahorro del consumo de combustibles fósiles. Todas las prácticas descritas son de cumplimiento voluntario.

La restauración del hábitat es una actividad en muchos países asociada a las medidas de mitigación que emanan del PEIA. De esta manera la práctica internacional es común y suele estar fundamentada en una base legal, como en caso de México. La restauración no está sólo relacionada a devolver la conectividad de los corredores de fauna e implementar pasos destinados para las especies que se encuentran en el área de influencia del proyecto, sino también al uso de especies vegetales. Un ejemplo es en el estado de Oregón, en los Estados Unidos, donde cuentan con guías para restaurar el hábitat de especies acuáticas y en él se describen los contenidos mínimos de los proyectos constructivos para restauración de dichos hábitat.

La permeabilidad de los pavimentos en las carreteras es muy útil para el manejo del agua pluvial. La EPA en los Estados Unidos demostró en un estudio la capacidad de permeabilidad de estos pavimentos, analizando diferentes tipos. Aunque no en todos los casos se pueden utilizar los pavimentos permeables para la circulación, sobre todo cuando existen vehículos pesados, pero sí son útiles en caminos de bajos volúmenes o en pavimentos de estacionamientos, incluso en acotamientos en las carreteras. Una contribución significativa es poder reducir el área impermeable en las carreteras. Los pavimentos permeables también son recomendados para zonas peatonales y en zonas urbanas densas. Aunque suelen ser de asfalto, también los hay de concreto, sólo requieren ampliar el tamaño de los agregados y disminuir la relación agua-cemento. Los costos pueden bajar al no requerir sistemas de drenaje complejo bajo las capas del pavimento, aunque la producción de este tipo de pavimento es sensiblemente más cara.

Los pavimentos en frío es un término utilizado para aquellos pavimentos que en su proceso de producción requieren menos temperatura de calentamiento y por lo tanto emiten menos GEI, que al tenderse en la construcción, reducen las islas de calor y durante la operación reflejan más energía solar. La Oficina de Investigación en Transporte (TRB, por sus siglas en inglés) tiene un subcomité cuyo alcance incluye modelado, prácticas de diseño, pruebas, desarrollo de estándares y consideraciones de planificación y de políticas. Aunque se ha demostrado los beneficios de los pavimentos en frío, su práctica es muy incipiente a nivel internacional, aunque en los Estados Unidos ya se utilizan y las mejores estrategias se encuentran en el compendio publicado por el EPA “*Reducing urban heat islands: compendium of strategies. Cool Pavements*”.

El manejo del paisaje en las carreteras es de una importancia significativa, ya que durante un recorrido se aprende a conocer el paisaje y a valorarlo. Según Zoido, la carretera hace paisaje y el paisaje califica el itinerario de quien se desplaza. El reto en España, por ejemplo, es la recuperación de la dimensión paisajística de la movilidad cotidiana y en el correcto tratamiento de la movilidad recreativa con altas intensidades, aunque las políticas en la materia son apenas incipientes.

Suiza por su parte generó en el 2003 un documento denominado “Paisaje 2020” donde se listan los principios rectores en el campo del paisaje. El paisaje requiere una colaboración interdisciplinaria estrecha y un diálogo regular. Se tiene en cuenta no sólo consideraciones científicas, sino también el compromiso de la población con el paisaje. Es por esto que muchas características importantes del paisaje para el hombre no se pueden medir o ser representados en los mapas. Diferentes políticas con impacto territorial deben ser coherentes para permitir una evaluación completa de los intereses teniendo en cuenta también las consecuencias para el hábitat humano, la fauna y la flora.

La Iniciativa Sitios Sustentables (SITES, por sus siglas en inglés) es un esfuerzo interdisciplinario de la Sociedad Americana de Arquitectos Paisajistas, el *Lady Bird Johnson Wildflower Center* de la Universidad de Texas en Austin y el Jardín Botánico de Estados Unidos, para crear directrices nacionales voluntarias y objetivos de referencia para el desarrollo de prácticas sustentables de diseño de la tierra, construcción y mantenimiento. La iniciativa incluye un análisis para paisajes sustentables para los espacios abiertos como parques locales, estatales y nacionales, áreas para la conservación y zonas de protección, y derechos de vía del transporte. Los sitios con edificios incluyendo industrias, comercios y oficinas, complejos militares, aeropuertos, jardines botánicos, paisajes urbanos y plazas, desarrollos residenciales y comerciales y las escuelas públicas y privadas.

La Agencia de transporte de Nueva Zelanda elaboró un estudio para evaluar los escurrimientos del agua pluvial y su manejo, donde de acuerdo al estudio, las escorrentías provenientes de las carreteras en operación representó entre un 40 a 50% de contaminación por metales en los sistemas acuáticos (zinc y cobre) provenientes de los vehículos, aunque se analizaron también los generados por la

carretera (hidrocarburos aromáticos, entre otros). Los estudios se encuentran enmarcados en el programa de manejo del agua pluvial de la agencia, los cuales realizan periódicamente para identificar posibles impactos ambientales.

El uso de energía alternativa durante la operación de las carreteras es muy variada, por ejemplo en los Estados Unidos existen carreteras que captan energía solar mediante celdas instaladas en la carretera y dicha energía suministra la iluminación en las mismas carreteras, particularmente en las intersecciones. En Sudáfrica se instalaron microgeneradores de energía eólica para que alimentaran la iluminación en carretera y las señales electrónicas.

Los sumideros de carbono terrestres cumplen un papel importante en la mitigación del cambio climático dada su capacidad para fijar el carbono atmosférico. Los ecosistemas terrestres y el mar son los principales sumideros de gases de efecto invernadero de la biosfera y absorben principalmente CO₂ de la atmósfera. La fotosíntesis es el principal mecanismo de retención natural de carbono, por lo que cualquier sistema natural que albergue organismos fotosintetizadores puede constituir un sumidero de carbono, por eso los bosques son importantes para esta tarea, así que cualquier proyecto carretero que incluya reforestación con especímenes forestales se considera sustentable. España cuenta con un documento técnico para guiar sobre las técnicas de gestión de los sumideros forestales.

En relación a los pavimentos de concreto, se han realizado diversas investigaciones, como ejemplo se describe una formalizada en Holanda, donde un pavimento adicionado con óxido de titanio convirtió el óxido de nitrógeno en contaminantes químicos menos peligrosos como los nitratos. El pavimento fue denominado "*photocatalytic*". Por su parte la FHWA, en los Estados Unidos, editó un manual para el uso de materiales avanzados en las carreteras, de tal manera que permitan obtener importantes beneficios ambientales, tales como la absorción de CO₂. Los materiales que incluyen son: cementantes, materiales para el concreto hidráulico, aditivos para el asfalto, materiales para el concreto asfáltico, etc.

Es importante la capacitación ambiental entre los participantes en el desarrollo de un proyecto, para mantener la conciencia ambiental en el equipo de trabajo. Un esfuerzo destacado es el de la FHWA a través del documento "Técnicas para la participación en la toma de decisiones en los proyectos de transporte". Este documento contiene un número de actividades potenciales que puedan utilizarse por separado o en combinación para cumplir con la capacitación, así como varias referencias y recursos útiles adicionales.

La integración de la protección de la fauna a los proyectos carreteros es importante para preservar las especies y evitar la morbilidad de las mismas. Estudios realizados en Australia por *Selles et al* describe cómo incluir la protección de la fauna en el diseño de carreteras. En Irlanda, también la Agencia Nacional de

Carreteras cuenta con un esquema de técnicas para proteger a la fauna durante la planeación en las carreteras nacionales.

Tabla 2.4 Matriz de sustentabilidad internacional – Componente ambiental

COMPONENTE DE LA SUSTENTABILIDAD	ETAPA DEL PROYECTO	CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD	América		Asia		Europa					Oceania		África						
			Canadá	Estados Unidos	México	Brasil	China	Japón	Corea del Sur	Alemania	Bélgica	España	Francia	Países Bajos	Reino Unido	Suiza	Irlanda	Australia	Nueva Zelanda	Sudáfrica
MEDIO AMBIENTE	PLANEACIÓN Y DISEÑO	Evaluación del impacto Ambiental	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
		Evaluación ambiental estratégica							X		X		X							
		Fragmentación del hábitat / Conectividad ecológica		X							X	X	X							
		Consideraciones especiales para áreas con alto valor ambiental									X									
		Plan de prevención de la contaminación del agua		X										X						
		Análisis del ciclo de vida	X	X							X	X			X					
		Plan de mitigación de ruido		X							X									
	CONSTRUCCIÓN	Calidad de los escurrimientos superficiales / Prevención de la contaminación del agua		X														X		
		Control de los escurrimientos superficiales		X										X						
		Reducción del consumo de combustibles fósiles		X																
		Restauración del hábitat			X															
		Pavimentos permeables		X																
		Pavimento en frío		X																
		Paisaje / Vistas escénicas		X							X				X					
	OPERACIÓN	Manejo del agua pluvial																	X	
		Uso de energía alterna		X																X
		Sumideros de carbono y óxidos de nitrógeno		X							X		X							
		Capacitación ambiental																		
		Protección de la fauna														X	X			
	TOTAL			2	1 3	2	1	1	1	1	2	2	7	4	2	4	3	1	3	2

La Tabla 2.4 muestra la matriz de sustentabilidad internacional del componente ambiental. La matriz no incluye una búsqueda exhaustiva, sólo enunciativa, a fin de destacar lo más relevante del estado del arte internacional en los temas de sustentabilidad asociados a la planeación, construcción y operación de carreteras, de acuerdo a los criterios descritos en el capítulo 1.

2.5 Componente seguridad

Una Auditoría de Seguridad Vial (ASV) es el examen formal del funcionamiento de la seguridad de una carretera o intersección existente o futura. La ASV realiza estimaciones e informes sobre los posibles problemas de seguridad vial cualitativamente e identifica las oportunidades de mejora de la seguridad para todos los usuarios de la carretera.

La FHWA trabaja con las jurisdicciones estatales y locales y los gobiernos locales para integrar las ASV en el proceso de desarrollo de proyectos para nuevas carreteras e intersecciones, y también promueve la ASV en las carreteras e intersecciones existentes. La mayoría de los Departamentos de Transporte estatales han establecido procesos tradicionales de revisión de la seguridad. Sin embargo, una auditoría de seguridad vial y una revisión de seguridad tradicional son procesos diferentes.

Las Agencias de Transporte de los países que integran el Reino Unido, desarrollaron un manual sobre las auditorías de seguridad para carreteras. El objetivo del manual es asegurar la seguridad en las carreteras durante el proceso de diseño y construcción con la finalidad de reducir el número de accidentes carreteros al mínimo y la severidad de los mismos. La ASV realiza la evaluación de los planes de mejoramiento de la carretera durante el diseño y al final de la construcción (de preferencia antes de que el sistema esté abierto al tránsito) para identificar los posibles problemas de seguridad vial que puedan afectar a cualquier usuario de la carretera y para sugerir medidas para eliminar o mitigar esos problemas. El proceso de auditoría incluye el monitoreo de accidentes durante el funcionamiento o bajo la aplicación de medidas de mejora para identificar los problemas de seguridad vial que pueden ocurrir después de la apertura. Esta etapa de la ASV incluye el análisis e informe de 12 y 36 meses de datos de accidentes de lesiones desde que la carretera comenzó a funcionar.

La Unión Europea tiene también su manual de auditorías de seguridad vial y evaluación del impacto de la seguridad. La ASV es un procedimiento formal para la evaluación independiente de la eficacia de la seguridad potencial y probable de un accidente en un diseño específico para un proyecto de carretera ya sea de nueva construcción o la modificación de un camino existente. La evaluación del impacto de la seguridad vial es un procedimiento formal para la evaluación independiente de los efectos probables de los planes de carreteras o de tránsito propuestos, u otros planes que tienen efectos sustanciales sobre el tránsito rodado, al producirse un accidente en toda la red de carreteras en los que las

condiciones de tráfico pueden ser afectados por los esquemas. Estos dos procedimientos permiten contar con herramientas de ingeniería de seguridad vial y análisis de accidentes que se utilizará para la prevención de accidentes en las carreteras nuevas o modificadas.

La aplicación de ITS se ha generalizado en casi todo el mundo de tal manera que permita proveer seguridad en la operación en las carreteras e incrementar la capacidad de la infraestructura.

Las Señales de Mensaje Variable (VMS, por sus siglas en inglés) son un producto de los ITS, que permite informar al usuario sobre posibles eventualidades que se presenten en el camino para garantizar su seguridad. Estas señales se aplican prácticamente en todo el mundo e incluso alcanzan aspectos de sustentabilidad como el ahorro de energía por el uso de LEDs para la visualización de los mensajes o en algunos ser suministrados por fuentes de energía alternativa.

Otra aplicación de las tecnologías ITS aplicadas en muchas ciudades del mundo son los Sistemas Avanzados para la Gestión del Tránsito (ATMS, por sus siglas en inglés). Los ATMS han demostrado una reducción significativa de las demoras, y de emisiones emitidas a la atmósfera, que adicionalmente pueden traducirse a ahorros económicos para los países.

La Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas, ha editado un reporte sobre ITS para la movilidad sustentable. Los ITS juegan un papel importante en la conformación de las futuras formas de movilidad en el sector del transporte. Se espera que a través del uso de las aplicaciones ITS el transporte sea más eficiente, más seguro y más ambientalmente sustentable. Las enormes potencialidades y beneficios, sin embargo, sólo pueden cosecharse si las soluciones ITS se ponen en marcha internacionalmente armonizándolas tanto como sea posible.

Durante los últimos diez años, los países de todo el mundo han comenzado a emplear un nuevo conjunto de enfoques y tecnologías para enfrentar los desafíos del transporte de superficie. Además, la introducción de las aplicaciones en los países en desarrollo ha contribuido a la mitigación de los muchos problemas de tránsito. De esta manera el Banco Mundial editó una serie de documentos para guiar a los países en desarrollo sobre la toma de decisiones en materia de ITS, incluyendo sus regulaciones y la arquitectura de dichos sistemas, así como un compendio de sus aplicaciones a nivel mundial.

El mantenimiento de la superficie en las carreteras es importante por el ahorro que puede representar en los costos de operación, en la seguridad y en la disminución de la cantidad de emisiones generadas. Un buen estado superficial del camino es un aspecto sustentable del mismo.

En el Reino Unido los diferentes municipios cuentan con programas para el mantenimiento de la superficie del camino, esta práctica es muy usual en muchos

países, el impacto del mantenimiento se ve reducido cuando los recursos son insuficientes para completar los programas de mejoramiento que demandan las vialidades, sin embargo, una mención especial es que además de lo programado cuentan con esquemas especiales para que los usuarios del camino reporten cualquier falla que identifiquen sobre el camino y este reporte puede ser verificado hasta que sea atendido.

En Nueva Zelanda, se cuenta con especificaciones sobre el mantenimiento de las carreteras, que igual que otros países refieren el uso de indicadores como el índice de rugosidad internacional para verificar el estado de un camino que se encuentra bajo mantenimiento. Adicionalmente se encuentran otros parámetros superficiales del pavimento para evaluar su calidad, tales como la textura y la fricción, entre otros.

En la sustentabilidad de una carretera es importante permitir el seguimiento del rendimiento más a fondo, mediante la integración de la calidad de la construcción y datos de rendimiento del pavimento. Medir el desempeño de un pavimento requiere mediciones de la calidad durante la construcción, monitoreo de las condiciones del pavimento, integración de la información a través de sistemas informáticos, entre otros.

La FHWA cuenta con un sistema de monitoreo del desempeño de los pavimentos carreteros. El sistema de la FHWA, proporciona información del alcance, uso, condiciones y desempeño de todas las carreteras del país. El sistema es más detallado para carreteras de altas especificaciones y menos detallado para las de bajas especificaciones. La recolección de datos integra a todos los organismos de carreteras, tanto federales, como estatales, regionales o locales. La base de datos es nacional y cuenta con información muy agregada de todas las carreteras la cual permite realizar las actividades de planificación, de diseño de estrategias y políticas. Dos usos importantes del sistema es contar con información estadística y la elaboración de informes.

La Junta de Transporte y su Programa de Investigación del Departamento de Transporte del estado de Indiana en los Estados Unidos, también desarrolló un reporte para la medición y monitoreo del desempeño de los pavimentos en el estado. El sistema maneja 4 niveles: el primer nivel de retorno incluye los resultados físicos obtenidos a través de la inversión, por ejemplo, los rendimientos físicos contienen mejoras al pavimento y puentes, millas de carriles adicionales y conectividad intermodal; el segundo nivel de retorno incluye mejoras operacionales tangibles, tales como la reducción en el número de accidentes y la reducción de la congestión; el desarrollo económico es el tercer nivel de retorno -la relación entre una red de transporte seguro y eficiente y el progreso económico está bien documentada, los logros físicos y operativos realizados a través de la aplicación del programa de transporte agregan valor a la economía de un estado a través de puestos de trabajo adicionales, aumento de la productividad a través del movimiento eficiente de personas y bienes, y el aumento de los ingresos personales-; por último, el cuarto nivel de retorno abarca externalidades tales

como mejoras en la calidad del aire y reducción del uso de energía a través de la disminución de la congestión.

En México, existen programas similares para el seguimiento del desempeño, aunque no se encuentran claramente documentos en reportes técnicos.

La Tabla 2.5 muestra la matriz de sustentabilidad internacional del componente seguridad, el cual es el de menores criterios que los anteriores. La matriz no incluye una búsqueda exhaustiva, sólo enunciativa, a fin de destacar lo más relevante del estado del arte internacional en los temas de sustentabilidad asociados a la planeación, construcción y operación de carreteras, de acuerdo a los criterios descritos en el capítulo 1.

Tabla 2.5 Matriz de sustentabilidad internacional – Componente seguridad

COMPONENTE DE LA SUSTENTABILIDAD	ETAPA DEL PROYECTO	CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD	América			Europa				Oceanía		
			Canadá	Estados Unidos	México	Alemania	Bélgica	Países Bajos	Reino Unido	Suiza	Australia	Nueva Zelanda
SEGURIDAD	PLANEACIÓN Y DISEÑO	Auditoría de seguridad vial		X			X		X			
		Sistemas inteligentes para el transporte								X		
	OPERACIÓN	Auditoría de seguridad vial		X			X		X			
		Mantenimiento de la superficie carretera							X			X
		Seguimiento del desempeño de pavimentos		X	X							
TOTAL			0	3	0	0	2	0	3	1	0	1

3 Evaluación de la sustentabilidad en carreteras en México

Uno de los objetivos del presente trabajo es identificar el estado que guarda la sustentabilidad aplicada a carreteras en México. Para lograr este diagnóstico se aplicó la herramienta denominada *Benchmarking*.

3.1 Metodología Benchmarking

El *Benchmarking* permite realizar una comparativa de procesos o las mejores prácticas para la realización de un producto. Esta herramienta será útil ya que permite evaluar comparando las mejores prácticas de la sustentabilidad en carreteras en el ámbito internacional y con ello identificar las oportunidades de mejora que puedan ser aplicadas a nuestro país.

No existe un proceso de evaluación comparativa única que haya sido adoptado universalmente. El gran atractivo y la aceptación de esta técnica es que puede ser adaptada a las necesidades de algún proyecto en el cual se requiera evaluar el estado en que se encuentra.

La metodología aplicada en la presente investigación tiene las siguientes etapas:

1. Definición del tema
2. Selección de los criterios de sustentabilidad
3. Selección de los socios identificados con las mejores prácticas en sustentabilidad aplicada a carreteras
4. Determinación de las diferencias entre los criterios de sustentabilidad y la práctica actual en México
5. Resultados del Benchmarking

3.2 Benchmarking sobre sustentabilidad en carreteras

3.2.1 Definición del tema

El tema se acota en evaluar la sustentabilidad de las carreteras en México.

3.2.2 Selección de los criterios de sustentabilidad

Los criterios de sustentabilidad son los identificados en el capítulo 1 de la presente investigación y que se detallaron en las matrices internacionales del capítulo 2 y que son los siguientes:

3.2.2.1 Criterios ambientales

- Evaluación del impacto ambiental
- Evaluación ambiental estratégica
- Fragmentación del hábitat / Conectividad ecológica
- Consideraciones especiales para áreas con alto valor ambiental
- Plan de prevención de la contaminación del agua
- Análisis del ciclo de vida
- Plan de mitigación de ruido
- Calidad de los escurrimientos superficiales / Prevención de la contaminación del agua
- Control de los escurrimientos superficiales
- Reducción del consumo de combustibles fósiles
- Restauración del hábitat
- Pavimentos permeables
- Pavimento en frío
- Paisaje / Vistas escénicas
- Manejo del agua pluvial
- Uso de energía alterna
- Sumideros de carbono y óxidos de nitrógeno (NOx)
- Capacitación ambiental
- Protección de la fauna

3.2.2.2 Criterios económicos

- Análisis del costo del ciclo de vida
- Sistema de gestión de la calidad
- Equilibrio de movimiento de tierras
- Garantía del contratista
- Uso de materiales locales

- Pavimentos de larga duración
- Mejores prácticas para el mantenimiento carretero y la preservación de la infraestructura
- Eficiencia energética

3.2.2.3 Criterios sociales

- Plan de mantenimiento del sitio
- Planeación en el contexto
- Pavimento silencioso
- Contaminación lumínica
- Reducción de emisiones vehiculares
- Movilidad peatonal
- Movilidad para vehículos de alta ocupación
- Movilidad para ciclistas

3.2.2.4 Criterios técnicos

- Diseño geométrico
- Inventario del ciclo de vida
- Plan de control de calidad
- Plan de manejo de residuos
- Análisis hidrológico
- Uso de materiales reciclados
- Sistema de gestión ambiental
- Formación ambiental
- Plan de reciclaje
- Reducción del consumo de combustibles fósiles
- Reducción de emisiones en la pavimentación
- Mezclas asfálticas tibias (WMA)
- Registro del uso del agua en la construcción
- Vegetación nativa
- Reciclaje de pavimentos
- Sistema de gestión de pavimentos

- Preservación de sitios históricos

3.2.2.5 Criterios de seguridad

- Auditoría de seguridad vial
- Sistemas inteligentes para el transporte (ITS)
- Auditoría de seguridad vial / Seguridad Vial
- Mantenimiento de la superficie carretera
- Seguimiento del desempeño de pavimentos

3.2.3 Selección de los socios

Las mejores prácticas identificadas a nivel internacional pertenecen a las instituciones que se listan a continuación y que permitieron realizar la comparativa. El detalle de cada práctica se describió en el apartado 1.6.

- Green Road (University of Washington)
- INVEST (Federal Highway Administration)
- Sustainable Roads (European Road Federation)

3.2.4 Determinación de las diferencias entre los criterios de sustentabilidad y la práctica actual en México

Las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3 muestran las comparativas de los criterios de sustentabilidad identificados en cada una de las mejores prácticas de los socios que han desarrollado metodologías y documentos técnicos sobre carreteras sustentables.

Cada tabla determina los totales de los elementos que cada una de las prácticas revisadas detalla como criterio de sustentabilidad en los diferentes aspectos en los que se clasificaron, ya sean ambientales, sociales, técnicos, económicos, sociales o de seguridad.

Basados en el criterio experto del autor, la última columna de cada tabla muestra si la práctica en México es común o no se realiza, la cual puede ser bajo una base legal (leyes o reglamentos federales), disposiciones oficiales (criterios de las dependencias federales) o bajo un esquema de cumplimiento voluntario pero que su uso es generalizado en el país.

Tabla 3.1 Benchmarking del componente ambiental

COMPONENTE DE LA SUSTENTABILIDAD	ETAPA DEL PROYECTO	CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD	COMPARATIVA DE SUSTENTABILIDAD			
			GREEN ROADS (UNIVERSITY OF WASHINGTON)	INVEST (FHWA)	SUSTAINABLE ROADS (EUROPEAN ROAD FEDERATION)	MÉXICO
MEDIO AMBIENTE	PLANEACIÓN Y DISEÑO	Evaluación del impacto ambiental	X		X	X
		Evaluación ambiental estratégica			X	
		Fragmentación del hábitat / Conectividad ecológica	X	X	X	X
		Consideraciones especiales para áreas con alto valor ambiental			X	X
		Plan de prevención de la contaminación del agua	X			
		Análisis del ciclo de vida	X		X	
		Plan de mitigación de ruido	X	X	X	
	CONSTRUCCIÓN	Calidad de los escurrimientos superficiales / Prevención de la contaminación del agua	X		X	X
		Control de los escurrimientos superficiales	X		X	X
		Reducción del consumo de combustibles fósiles	X	X	X	
		Restauración del hábitat	X	X		X
		Pavimentos permeables	X			
		Pavimento en frío	X			X
		Paisaje / Vistas escénicas	X	X	X	
	OPERACIÓN	Manejo del agua pluvial	X	X	X	X
		Uso de energía alterna	X			
		Sumideros de carbono y óxidos de nitrógeno			X	
		Capacitación ambiental	X	X		
		Protección de la fauna			X	
	TOTAL			15	7	13

Tabla 3.2 Benchmarking del componente económico y social

COMPONENTE DE LA SUSTENTABILIDAD	ETAPA DEL PROYECTO	CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD	COMPARATIVA DE SUSTENTABILIDAD				
			GREEN ROADS (UNIVERSITY OF WASHINGTON)	INVEST (FHWA)	SUSTAINABLE ROADS (EUROPEAN ROAD FEDERATION)	MÉXICO	
ECONOMÍA	PLANEACIÓN Y DISEÑO	Análisis del costo del ciclo de vida	X	X		X	
		Sistema de gestión de la calidad	X				
		Equilibrio de movimiento de tierras	X	X		X	
	CONSTRUCCIÓN	Garantía del contratista	X	X		X	
		Uso de materiales locales	X				
		Pavimentos de larga duración	X	X			
	OPERACIÓN	Mejores prácticas para el mantenimiento carretero y la preservación de la infraestructura			X		
		Eficiencia energética	X	X			
SOCIAL	PLANEACIÓN Y DISEÑO	Plan de mantenimiento del sitio	X				
		Planeación en el contexto	X	X			
	CONSTRUCCIÓN	Pavimento silencioso	X		X		
	OPERACIÓN	Contaminación lumínica	X				
		Reducción de emisiones vehiculares	X				
		Movilidad peatonal	X	X			
		Movilidad para vehículos de alta ocupación	X	X			
		Movilidad para ciclistas	X	X			
	TOTAL			15	9	2	3

Tabla 3.3 Benchmarking del componente técnico y de seguridad

COMPONENTE DE LA SUSTENTABILIDAD	ETAPA DEL PROYECTO	CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD	COMPARATIVA DE SUSTENTABILIDAD			
			GREEN ROADS (UNIVERSITY OF WASHINGTON)	INVEST (FHWA)	SUSTAINABLE ROADS (EUROPEAN ROAD FEDERATION)	MÉXICO
TÉCNICO	PLANEACIÓN Y DISEÑO	Diseño geométrico			X	
		Inventario del ciclo de vida	X			
		Plan de control de calidad	X	X		X
		Plan de manejo de residuos	X	X		X
		Análisis hidrológico	X			X
	CONSTRUCCIÓN	Uso de materiales reciclados	X	X	X	
		Sistema de gestión ambiental	X			
		Formación ambiental	X	X		
		Plan de reciclaje	X			
		Reducción del consumo de combustibles fósiles	X	X		
		Reducción de emisiones en la pavimentación	X	X		
		Mezclas asfálticas tibias (WMA)	X			
		Registro del uso del agua en la construcción	X			
	OPERACIÓN	Vegetación nativa	X	X		X
		Reciclaje de pavimentos	X		X	X
Sistema de gestión de pavimentos		X			X	
SEGURIDAD	PLANEACIÓN Y DISEÑO	Auditoría de seguridad vial	X			
		Sistemas inteligentes para el transporte	X	X	X	X
	OPERACIÓN	Auditoría de seguridad vial / Seguridad Vial	X	X		
		Mantenimiento de la superficie carretera			X	
		Seguimiento del desempeño de pavimentos	X			X
TOTAL			20	10	5	8

3.2.5 Resultados del Benchmarking

La Tabla 3.4 muestra los resultados totales de cada práctica con respecto al total de criterios de sustentabilidad identificados.

Tabla 3.4 Total de criterios de sustentabilidad por socio

CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD		COMPARATIVA DE SUSTENTABILIDAD			
		GREEN ROADS (UNIVERSITY OF WASHINGTON)	INVEST (FHWA)	SUSTAINABLE ROADS (EUROPEAN ROAD FEDERATION)	MÉXICO
TOTAL	57	50	26	20	19
%	100	87.7	45.6	35.1	33.3

Los resultados muestran que la metodología desarrollada por *Green Road* es la que cuenta con un mayor número de criterios de sustentabilidad aplicados a las carreteras.

La práctica en México alcanza apenas un 33.3% de criterios aplicados actualmente con respecto a los 57 conceptos identificados. Sin embargo, con respecto a los criterios definidos en la Unión Europea, el margen de cumplimiento es mayor en México, aunque sólo es en número ya que no hay uniformidad en todos los criterios.

La Figura 2 muestra esquemáticamente el grado de cumplimiento de México y el resto de las prácticas utilizadas para realizar el Benchmarking de los criterios de sustentabilidad para carreteras.

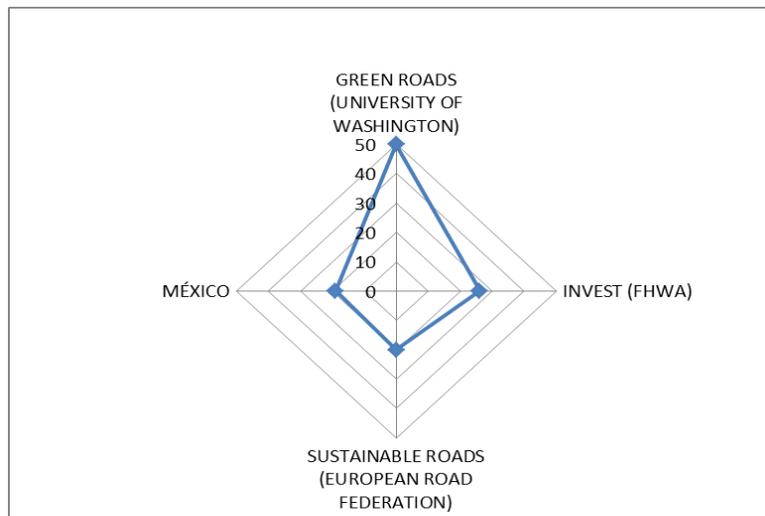


Figura 2. Benchmarking de los criterios de sustentabilidad para carreteras

4 Definición de los criterios de sustentabilidad para carreteras en México

El problema podría radicar en definir el camino a seguir para alcanzar la sustentabilidad en las carreteras en México, la cual está directamente relacionada con las circunstancias particulares del país.

El análisis del entorno nacional juega una parte importante para el diseño de estrategias adecuadas al país, encaminadas a la sustentabilidad de las carreteras.

El proceso de definición de los criterios de sustentabilidad se realizó a través de aplicación de encuestas en dos niveles:

- El primero de ellos aplicado a técnicos expertos que realizan actividades de consultoría en temas afines a la sustentabilidad para carreteras, tales como elaboración de estudios de impacto ambiental. El objetivo en este nivel es conocer la opinión de los especialistas sobre la necesidad para México de implementar cada criterio de sustentabilidad que se describió en los capítulos anteriores y, con ellos, poder tener un primer filtro de aceptación de dichos criterios de sustentabilidad para carreteras.
- El segundo nivel de encuesta fue aplicado a tomadores de decisiones, particularmente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, basados en el mismo formato de encuesta del primer filtro. El objetivo es conocer la opinión de los tomadores de decisiones sobre la factibilidad de poder incluir los criterios de sustentabilidad a los proyectos carreteros.

4.1 Encuesta carreteras sustentables

Con el objeto de determinar los criterios de sustentabilidad se preparó la siguiente encuesta, dirigida a los especialistas del sector, para recabar opiniones sobre lo que podría ser susceptible de implementar en México, basados en una revisión internacional de experiencias en materia de sustentabilidad para carreteras.

En la encuesta, cada criterio fue descrito brevemente a fin de que el lector entendiera el concepto, y la respuesta requerida fue un “sí” o un “no”, adicionalmente se le preguntó si la base del cumplimiento del criterio debería ser bajo un esquema “obligatorio” o “voluntario”.

La encuesta aplicada se encuentra en el anexo 1.

4.2 Resultados de la encuesta

Los resultados de las encuestas se presentan en los dos niveles de aplicación.

4.2.1 Resultados de la encuesta a expertos técnicos

La encuesta fue aplicada a nivel nacional y se recibieron 61 resultados, de los cuales 44 fueron cubiertos al 100% y son las utilizadas para el análisis en este nivel.

Algunos de los estados participantes fueron: Nayarit, Sinaloa, San Luis Potosí, Distrito Federal, Estado de México, Chihuahua, Querétaro, Tabasco, Oaxaca, Jalisco, Hidalgo, etc.

Los resultados fueron los siguientes:

4.2.1.1 Evaluación del impacto ambiental

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
42	2	95.45	4.55	41	1	97.62	2.38



4.2.1.2 Análisis del costo del ciclo de vida

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
41	3	93.18	6.82	39	2	95.12	4.88



4.2.1.3 Inventario del ciclo de vida

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
40	4	90.91	9.09	33	7	82.50	17.50



4.2.1.4 Plan de control de calidad

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
39	5	88.64	11.36	38	1	97.44	2.56



4.2.1.5 Plan de mitigación de ruido

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
39	5	88.64	11.36	37	2	94.87	5.13



4.2.1.6 Plan de manejo de residuos

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
44	0	100.0	0.00	42	2	95.45	4.55



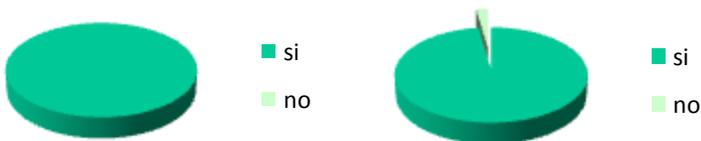
4.2.1.7 Plan de prevención de la contaminación del agua

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
43	1	97.73	2.27	40	3	93.02	6.98



4.2.1.8 Análisis hidrológico

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
44	0	100.0	0.00	43	1	97.73	2.27



4.2.1.9 Sistema de gestión de pavimentos

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
41	3	93.18	6.82	32	9	78.05	21.95



4.2.1.10 Plan de mantenimiento del sitio

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
41	3	93.18	6.82	39	2	95.12	4.88



4.2.1.11 Capacitación ambiental

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
42	2	95.45	4.55	35	7	83.33	16.67



4.2.1.12 Sistema de gestión ambiental

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
43	1	97.73	2.27	38	5	88.37	11.63



4.2.1.13 Control de escurrimientos superficiales

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
44	0	100.0	0.00	41	3	93.18	6.82



4.2.1.14 Calidad de los escurrimientos superficiales

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
42	2	95.45	4.55	36	6	85.71	14.29



4.2.1.15 Manejo de agua pluvial

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
44	0	100.0	0.00	32	12	72.73	27.27



4.2.1.16 Vegetación nativa

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
44	0	100.0	0.00	43	1	97.73	2.27



4.2.1.17 Restauración del hábitat

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
44	0	100.0	0.00	43	1	97.73	2.27



4.2.1.18 Conectividad ecológica

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
42	2	95.45	4.55	41	1	97.62	2.38



4.2.1.19 Contaminación lumínica

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
36	8	81.82	18.18	27	9	75.00	25.00



4.2.1.20 Auditoría de seguridad vial

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
39	5	88.64	11.36	37	2	94.87	5.13



4.2.1.21 Sistemas inteligentes para el transporte

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

40	4	90.91	9.09	29	11	72.50	27.50
----	---	-------	------	----	----	-------	-------



4.2.1.22 Planeación en el contexto

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

43	1	97.73	2.27	35	8	81.40	18.60
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.1.23 Reducción de emisiones vehiculares

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

41	3	93.18	6.82	36	5	87.80	12.20
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.1.24 Movilidad peatonal

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

41	3	93.18	6.82	38	3	92.68	7.32
----	---	-------	------	----	---	-------	------



4.2.1.25 Movilidad para ciclistas

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

40	4	90.91	9.09	36	4	90.00	10.00
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.1.26 Movilidad para vehículos de alta ocupación

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

44	0	100.0	0.00	35	9	79.55	20.45
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.1.27 Vistas escénicas/Paisaje

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

42	2	95.45	4.55	28	14	66.67	33.33
----	---	-------	------	----	----	-------	-------



4.2.1.28 Preservación de sitios históricos

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

44	0	100.0	0.00	37	7	84.09	15.91
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.1.29 Sistema de gestión de la calidad

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

41	3	93.18	6.82	38	3	92.68	7.32
----	---	-------	------	----	---	-------	------



4.2.1.30 Formación ambiental

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

43	1	97.73	2.27	43	0	100.0	0.00
----	---	-------	------	----	---	-------	------



4.2.1.31 Plan de reciclaje

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

43	1	97.73	2.27	40	3	93.02	6.98
----	---	-------	------	----	---	-------	------



4.2.1.32 Reducción del consumo de combustibles fósiles

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

44	0	100.0	0.00	33	11	75.00	25.00
----	---	-------	------	----	----	-------	-------



4.2.1.33 Equipo para la reducción de emisiones

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

43	1	97.73	2.27	38	5	88.37	11.63
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.1.34 Reducción de emisiones en la pavimentación

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

42	2	95.45	4.55	36	6	85.71	14.29
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.1.35 Registro del uso del agua en la construcción

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

41	3	93.18	6.82	38	3	92.68	7.32
----	---	-------	------	----	---	-------	------



4.2.1.36 Garantía del contratista

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

43	1	97.73	2.27	39	4	90.70	9.30
----	---	-------	------	----	---	-------	------



4.2.1.37 Análisis del ciclo de vida

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

41	3	93.18	6.82	29	12	70.73	29.27
----	---	-------	------	----	----	-------	-------



4.2.1.38 Reciclado de pavimentos

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

44	0	100.0	0.00	40	4	90.91	9.09
----	---	-------	------	----	---	-------	------



4.2.1.39 Equilibrio de movimiento de tierras

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

43	1	97.73	2.27	39	4	90.70	9.30
----	---	-------	------	----	---	-------	------



4.2.1.40 Materiales reciclados

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

43	1	97.73	2.27	34	9	79.07	20.93
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.1.41 Uso de materiales locales

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

43	1	97.73	2.27	31	12	72.09	27.91
----	---	-------	------	----	----	-------	-------



4.2.1.42 Eficiencia energética

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

44	0	100.0	0.00	33	11	75.00	25.00
----	---	-------	------	----	----	-------	-------



4.2.1.43 Pavimentos de larga duración

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

41	3	93.18	6.82	34	7	82.93	17.07
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.1.44 Pavimentos permeables

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

43	1	97.73	2.27	31	12	72.09	27.91
----	---	-------	------	----	----	-------	-------



4.2.1.45 Mezclas asfálticas tibias (WMA)

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

41	3	93.18	6.82	33	8	80.49	19.51
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.1.46 Pavimento en frío

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

41	3	93.18	6.82	28	13	68.29	31.71
----	---	-------	------	----	----	-------	-------



4.2.1.47 Pavimento silencioso

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

41	3	93.18	6.82	27	14	65.85	34.15
----	---	-------	------	----	----	-------	-------



4.2.1.48 Seguimiento del desempeño de pavimentos

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
42	2	95.45	4.55	34	8	80.95	19.05



4.2.2 Resultados de la encuesta a tomadores de decisiones

La encuesta fue aplicada a nivel nacional y se recibieron 25 resultados, de los cuales 23 fueron cubiertos al 100% y son los utilizados para el análisis en este nivel.

Algunos de los estados participantes fueron: Nayarit, Sinaloa, Distrito Federal, Chiapas, Sonora, Querétaro, Yucatán, Quintana Roo, Michoacán, Jalisco, Guanajuato, Zacatecas y Nuevo León.

Los resultados fueron los siguientes:

4.2.2.1 Evaluación del impacto ambiental

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
25	0	100.00	0.00	25	0	100.00	0.00



4.2.2.2 Análisis del costo del ciclo de vida

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
24	1	96.00	4.00	20	4	83.33	16.67



4.2.2.3 Inventario del ciclo de vida

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
24	1	96.00	4.00	22	2	91.67	8.33



4.2.2.4 Plan de control de calidad

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
25	0	100.00	0.00	23	2	92.00	8.00



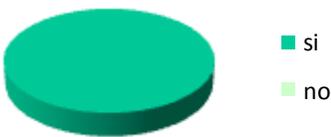
4.2.2.5 Plan de mitigación de ruido

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
23	2	92.00	8.00	20	3	86.96	13.04



4.2.2.6 Plan de manejo de residuos

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
25	0	100.00	0.00	23	2	92.00	8.00



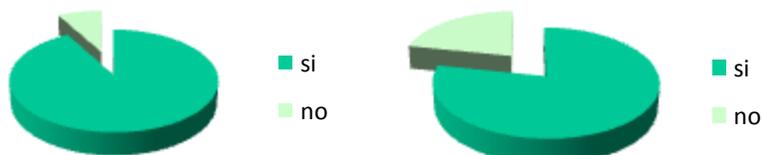
4.2.2.7 Plan de prevención de la contaminación del agua

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
24	1	96.00	4.00	21	3	87.50	12.50



4.2.2.8 Análisis hidrológico

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
23	2	92.00	8.00	18	5	78.26	21.74



4.2.2.9 Sistema de gestión de pavimentos

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
24	1	96.00	4.00	21	3	87.50	12.50



4.2.2.10 Plan de mantenimiento del sitio

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
25	0	100.00	0.00	23	2	92.00	8.00



4.2.2.11 Capacitación ambiental

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
25	0	100.00	0.00	19	6	76.00	24.00



4.2.2.12 Sistema de gestión ambiental

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
24	1	96.00	4.00	21	3	87.50	12.50



4.2.2.13 Control de escurrimientos superficiales

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
24	1	96.00	4.00	18	6	75.00	25.00



4.2.2.14 Calidad de los escurrimientos superficiales

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

21	4	84.00	16.00	15	6	71.43	28.57
----	---	-------	-------	----	---	-------	-------



4.2.2.15 Manejo de agua pluvial

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

21	4	84.00	16.00	13	8	61.90	38.10
----	---	-------	-------	----	---	-------	-------



4.2.2.16 Vegetación nativa

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

25	0	100.00	0.00	23	2	92.00	8.00
----	---	--------	------	----	---	-------	------



4.2.2.17 Restauración del hábitat

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
25	0	100.00	0.00	23	2	92.00	8.00



4.2.2.18 Conectividad ecológica

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
25	0	100.00	0.00	24	1	96.00	4.00



4.2.2.19 Contaminación lumínica

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
20	5	80.00	20.00	15	5	75.00	25.00



4.2.2.20 Auditoría de seguridad vial

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

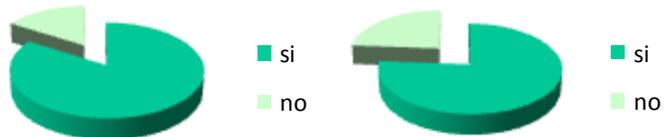
25	0	100.00	0.00	22	3	88.00	12.00
----	---	--------	------	----	---	-------	-------



4.2.2.21 Sistemas inteligentes para el transporte

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

21	4	84.00	16.00	16	5	76.19	23.81
----	---	-------	-------	----	---	-------	-------



4.2.2.22 Planeación en el contexto

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

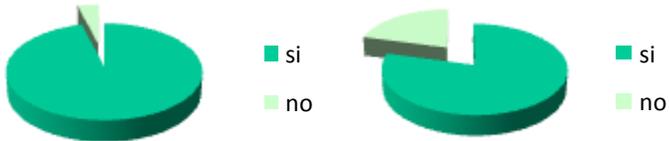
22	3	88.00	12.00	17	5	77.27	22.73
----	---	-------	-------	----	---	-------	-------



4.2.2.23 Reducción de emisiones vehiculares

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

24	1	96.00	4.00	19	5	79.17	20.83
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.2.24 Movilidad peatonal

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

23	2	92.00	8.00	20	3	86.96	13.04
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.2.25 Movilidad para ciclistas

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

23	2	92.00	8.00	18	5	78.26	21.74
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.2.26 Movilidad para vehículos de alta ocupación

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

24	1	96.00	4.00	19	5	79.17	20.83
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.2.27 Vistas panorámicas

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

15	10	60.00	40.00	9	6	60.00	40.00
----	----	-------	-------	---	---	-------	-------



4.2.2.28 Preservación de sitios históricos

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

24	1	96.00	4.00	18	6	75.00	25.00
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.2.29 Sistema de gestión de la calidad

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

23	1	95.83	4.17	16	7	69.57	30.43
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.2.30 Formación ambiental

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

24	0	100.00	0.00	16	8	66.7	33.33
----	---	--------	------	----	---	------	-------



4.2.2.31 Plan de reciclaje

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

23	1	95.83	4.17	18	5	78.26	21.74
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.2.32 Reducción del consumo de combustibles fósiles

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

21	3	87.50	12.50	16	5	76.19	23.81
----	---	-------	-------	----	---	-------	-------



4.2.2.33 Equipo para la reducción de emisiones

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

23	1	95.83	4.17	20	3	86.96	13.04
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.2.34 Reducción de emisiones en la pavimentación

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

20	4	83.33	16.67	18	2	90.00	10.00
----	---	-------	-------	----	---	-------	-------



4.2.2.35 Registro del uso del agua en la construcción

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

22	2	91.67	8.33	19	3	86.36	13.64
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



4.2.2.36 Garantía del contratista

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

24	0	100.00	0.00	24	0	100.00	0.00
----	---	--------	------	----	---	--------	------



4.2.2.37 Análisis del ciclo de vida

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

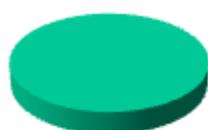
20	3	80.00	12.00	13	7	65.00	35.00
----	---	-------	-------	----	---	-------	-------



4.2.2.38 Reciclado de pavimentos

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

23	0	100.00	0.00	19	4	82.61	17.39
----	---	--------	------	----	---	-------	-------



■ si
■ no



■ si
■ no

4.2.2.39 Equilibrio de movimiento de tierras

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

22	1	95.65	4.35	17	5	77.27	22.73
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



■ si
■ no



■ si
■ no

4.2.2.40 Materiales reciclados

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no

22	1	95.65	4.35	17	5	77.27	22.73
----	---	-------	------	----	---	-------	-------



■ si
■ no



■ si
■ no

4.2.2.41 Uso de materiales locales

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
19	4	82.61	17.39	16	3	84.21	15.79



4.2.2.42 Eficiencia energética

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
23	0	100.00	0.00	20	3	86.96	13.04



4.2.2.43 Pavimentos de larga duración

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
21	2	91.30	8.70	12	9	57.14	42.86



4.2.2.44 Pavimentos permeables

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
16	7	69.57	30.43	8	8	50.00	50.00



4.2.2.45 Mezclas asfálticas tibias (WMA)

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
20	3	86.96	13.04	8	12	40.00	60.00



4.2.2.46 Pavimento en frío

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
20	3	86.96	13.04	7	13	35.00	65.00



4.2.2.47 Pavimento silencioso

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
22	1	95.65	4.35	13	9	59.09	40.91



4.2.2.48 Seguimiento del desempeño de pavimentos

Participación				Carácter Obligatorio			
Número		%		Número		%	
si	no	si	no	si	no	si	no
22	1	95.65	4.35	19	3	86.36	13.64



4.3 Discusión de resultados

En los resultados de la encuesta aplicada a los expertos técnicos de los 48 criterios encuestados, todos ellos fueron aprobados con amplia mayoría para que sean criterios de sustentabilidad para las carreteras en México. En el aspecto del tipo de cumplimiento, sólo tres aspectos fueron designados como de cumplimiento voluntario (pavimentos en frío, pavimentos silenciosos y las vistas escénicas/paisaje), aunque en todos los casos, la mayoría de las respuestas especificaron que el cumplimiento debería ser obligatorio.

En los resultados de la encuesta aplicada a los tomadores de decisiones de los 48 criterios consultados, todos fueron aceptados como criterios de sustentabilidad a aplicarse a las carreteras en México. Del carácter del criterio sólo uno fue definido como voluntario, y todos los demás serían obligatorios, aunque los menos aceptados de los votados son: análisis del ciclo de vida, calidad de los escurrimientos superficiales, pavimentos permeables, manejo del agua pluvial, sistema de gestión de la calidad, pavimentos de larga duración, vistas escénicas/paisaje, pavimentos silenciosos, contaminación lumínica, formación ambiental y mezclas asfálticas tibias (WMA).

La Tabla 4.1 muestra en los resultados de las encuestas, en dónde se generaron promedios para determinar los criterios de sustentabilidad.

Tabla 4.1 Resultados de encuestas de sustentabilidad por nivel

CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD	RESULTADOS				Promedio
	EXPERTOS		DECISORES		
	No.	Ca...	No.	Ca...	
Evaluación del impacto ambiental	95.4	97.6	100	100	98.3
Evaluación ambiental estratégica	NE	NE	NE	NE	NE
Fragmentación del hábitat / Conectividad ecológica	95.4	97.6	100	96	97.3
Consideraciones especiales para áreas con alto valor ambiental	NE	NE	NE	NE	NE
Plan de prevención de la contaminación del agua	97.7	93	96	87.5	93.6
Análisis del ciclo de vida	93.2	70.7	86.9	65	79
Plan de mitigación de ruido	88.6	94.9	92	86.9	90.6
Calidad de los escurrimientos superficiales / Prevención de la contaminación del agua	95.4	85.7	84	71.4	84.1
Control de los escurrimientos superficiales	100	93.2	96	75	91.1
Restauración del hábitat	100	97.7	100	92	97.4
Pavimentos permeables	97.7	72	69.6	50	72.3
Pavimento en frío	93.2	68.3	86.9	35	70.9
Paisaje / Vistas escénicas	95.45	66.67	60	56.2	69.6
Manejo del agua pluvial	100	72.7	84	61.9	79.7
Uso de energía alterna	100	75	87.5	76.2	84.7
Sumideros de carbono y óxidos de nitrógeno	NE	NE	NE	NE	NE
Capacitación ambiental	95.4	83.3	100	76	88.7
Protección de la fauna	NE	NE	NE	NE	NE
Análisis del costo del ciclo de vida	93.2	95.1	96	83.3	91.9

Sistema de gestión de la calidad	93.2	92.7	95.8	69.6	87.8
Equilibrio de movimiento de tierras	97.7	90.7	95.6	77.3	90.3
Garantía del contratista	97.7	90.7	100	100	97.1
Uso de materiales locales	97.7	72.1	82.6	84.2	84.2
Pavimentos de larga duración	93.2	82.9	91.3	57.1	81.1
Mejores prácticas para el mantenimiento carretero y la preservación de la infraestructura	NE	NE	NE	NE	NE
Eficiencia energética	100	75	100	86.9	90.5
Plan de mantenimiento del sitio	93.2	95.1	100	92	95.1
Planeación en el contexto	97.7	81.4	88	77.3	86.1
Pavimento silencioso	93.2	65.8	95.6	59.1	78.4
Contaminación lumínica	81.82	75	80	75	78
Reducción de emisiones vehiculares	93.2	87.8	96	79.2	89.1
Movilidad peatonal	93.2	92.7	92	86.9	91.2
Movilidad para vehículos de alta ocupación	100	79.6	96	79.2	88.7
Movilidad para ciclistas	90.1	90	92	78.3	87.6
Diseño geométrico	NE	NE	NE	NE	NE
Inventario del ciclo de vida	90.1	82.5	96	91.7	90.1
Plan de control de calidad	88.6	97.4	100	92	94.5
Plan de manejo de residuos	100	95.4	100	92	96.9
Análisis hidrológico	100	97.7	92	78.3	92
Uso de materiales reciclados	97.7	79.1	95.7	77.3	87.5
Sistema de gestión ambiental	97.7	88.4	96	87.5	92.4
Formación ambiental	97.7	100	100	66.7	91.1
Plan de reciclaje	97.73	93.02	95.8	78.3	91.2
Reducción del consumo de combustibles fósiles	100	75	87.5	76.2	84.7
Reducción de emisiones en la pavimentación	95.4	85.7	83.3	90	88.6
Mezclas asfálticas tibias (WMA)	93.2	80.5	86.9	40	75.2
Registro del uso del agua en la construcción	93.2	92.7	91.7	86.4	91
Vegetación nativa	100	97.7	100	92	97.4
Reciclaje de pavimentos	100	90.9	100	82.6	93.4
Sistema de gestión de pavimentos	93.2	78	96	87.5	88.7
Preservación de sitios históricos	100	84.09	96	75	88.8
Auditoría de seguridad vial	88.6	94.9	100	88	92.9
Sistemas inteligentes para el transporte	90.9	72.5	84	76.2	80.9
Mantenimiento de la superficie carretera	NE	NE	NE	NE	NE
Seguimiento del desempeño de pavimentos	95.4	80.9	95.6	86.4	89.6

NE=No encuestado

Con estos resultados se definirán los criterios de sustentabilidad para carreteras, basados en el criterio experto de los especialistas encuestados y de los tomadores de decisiones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

4.4 Criterios de sustentabilidad para carreteras en México

Los criterios se definieron de acuerdo a los aspectos identificados y que fueron evaluados mediante las encuestas aplicadas a los técnicos especialistas y a los tomadores de decisiones.

Los resultados se promediaron para obtener el grado de aceptación de cada uno de los criterios, y el esquema sobre el cual se quiere que sean aplicados, dando mayor peso a la base legal, la cual fue incluida a los promedios, de tal manera que aspectos que fueron menos aceptados que otros pudieran integrar los criterios seleccionados para las carreteras en México.

Se aplicó un formato condicional a las celdas para visualizar claramente los resultados de tal manera que los valores promediados por debajo de un 80% fueran eliminados para este estudio, aunque en un futuro pudieran ser reincorporados.

La evaluación condicional se muestra en la tabla 4.2, donde la última columna define los criterios que fueron aceptados.

Tabla 4.2 Criterios de sustentabilidad para carreteras en México

CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD	RESULTADOS				Promedio	Evaluación condicional	Criterios para México
	EXPERTOS		DECISORES				
	No.	Ca...	No.	Ca...			
Evaluación del impacto ambiental	95.4	97.6	100	100	98.3	98.25	Sí
Evaluación ambiental estratégica	NE	NE	NE	NE	NE	NE	No
Fragmentación del hábitat / Conectividad ecológica	95.4	97.6	100	96	97.3	97.25	Sí
Consideraciones especiales para áreas con alto valor ambiental	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Sí
Plan de prevención de la contaminación del agua	97.7	93	96	87.5	93.6	93.55	Sí
Análisis del ciclo de vida	93.2	70.7	86.9	65	79	78.95	No
Plan de mitigación de ruido	88.6	94.9	92	86.9	90.6	90.6	Sí
Calidad de los escurrimientos superficiales / Prevención de la contaminación del agua	95.4	85.7	84	71.4	84.1	84.125	Sí
Control de los escurrimientos superficiales	100	93.2	96	75	91.1	91.05	Sí
Restauración del hábitat	100	97.7	100	92	97.4	97.425	Sí
Pavimentos permeables	97.7	72	69.6	50	72.3	72.325	No
Pavimento en frío	93.2	68.3	86.9	35	70.9	70.85	No
Paisaje / Vistas escénicas	95.45	66.67	60	56.2	69.6	69.58	No
Manejo del agua pluvial	100	72.7	84	61.9	79.7	79.65	Sí
Uso de energía alterna	100	75	87.5	76.2	84.7	84.675	Sí
Sumideros de carbono y óxidos de nitrógeno	NE	NE	NE	NE	NE	NE	No
Capacitación ambiental	95.4	83.3	100	76	88.7	88.675	Sí
Protección de la fauna	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Sí
Análisis del costo del ciclo de vida	93.2	95.1	96	83.3	91.9	91.9	Sí
Sistema de gestión de la calidad	93.2	92.7	95.8	69.6	87.8	87.825	Sí

Equilibrio de movimiento de tierras	97.7	90.7	95.6	77.3	90.3	90.325	Sí
Garantía del contratista	97.7	90.7	100	100	97.1	97.1	Sí
Uso de materiales locales	97.7	72.1	82.6	84.2	84.2	84.15	Sí
Pavimentos de larga duración	93.2	82.9	91.3	57.1	81.1	81.125	Sí
Mejores prácticas para el mantenimiento carretero y la preservación de la infraestructura	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Sí
Eficiencia energética	100	75	100	86.9	90.5	90.475	Sí
Plan de mantenimiento del sitio	93.2	95.1	100	92	95.1	95.075	Sí
Planeación en el contexto	97.7	81.4	88	77.3	86.1	86.1	Sí
Pavimento silencioso	93.2	65.8	95.6	59.1	78.4	78.425	No
Contaminación lumínica	81.82	75	80	75	78	77.955	No
Reducción de emisiones vehiculares	93.2	87.8	96	79.2	89.1	89.05	Sí
Movilidad peatonal	93.2	92.7	92	86.9	91.2	91.2	Sí
Movilidad para vehículos de alta ocupación	100	79.6	96	79.2	88.7	88.7	Sí*
Movilidad para ciclistas	90.1	90	92	78.3	87.6	87.6	Sí*
Diseño geométrico	NE	NE	NE	NE	NE	NE	Sí
Inventario del ciclo de vida	90.1	82.5	96	91.7	90.1	90.075	Sí
Plan de control de calidad	88.6	97.4	100	92	94.5	94.5	Sí
Plan de manejo de residuos	100	95.4	100	92	96.9	96.85	Sí
Análisis hidrológico	100	97.7	92	78.3	92	92	Sí
Uso de materiales reciclados	97.7	79.1	95.7	77.3	87.5	87.45	Sí
Sistema de gestión ambiental	97.7	88.4	96	87.5	92.4	92.4	Sí
Formación ambiental	97.7	100	100	66.7	91.1	91.1	Sí
Plan de reciclaje	97.73	93.02	95.8	78.3	91.2	91.2125	Sí
Reducción del consumo de combustibles fósiles	100	75	87.5	76.2	84.7	84.675	Sí
Reducción de emisiones en la pavimentación	95.4	85.7	83.3	90	88.6	88.6	Sí
Mezclas asfálticas tibias (WMA)	93.2	80.5	86.9	40	75.2	75.15	No
Registro del uso del agua en la construcción	93.2	92.7	91.7	86.4	91	91	Sí
Vegetación nativa	100	97.7	100	92	97.4	97.425	Sí
Reciclaje de pavimentos	100	90.9	100	82.6	93.4	93.375	Sí
Sistema de gestión de pavimentos	93.2	78	96	87.5	88.7	88.675	Sí
Preservación de sitios históricos	100	84.09	96	75	88.8	88.7725	Sí
Auditoría de seguridad vial	88.6	94.9	100	88	92.9	92.875	Sí
Sistemas inteligentes para el transporte	90.9	72.5	84	76.2	80.9	80.9	No
Mantenimiento de la superficie carretera	NE	NE	NE	NE	NE	NE	No
Seguimiento del desempeño de pavimentos	95.4	80.9	95.6	86.4	89.6	89.575	Sí

NE=No encuestado

*Aplica sólo para carreteras urbanas

Los criterios de sustentabilidad para carreteras deberán ser integrados en una siguiente fase a un plan o programa estratégico del sector para dar seguimiento a la incorporación de la sustentabilidad a las carreteras en México.

4.5 Plan estratégico de carreteras sustentables

El plan estratégico para carreteras sustentables en México debe ser elaborado en una segunda fase de esta investigación, sin embargo, se describirán algunas ideas clave para el futuro plan o programa según se defina en el sector transportes.

La primera parte del plan deberá definir los objetivos de sustentabilidad para el transporte, particularmente para las carreteras, estos objetivos deben ser específicos. Algunos de los objetivos sociales y ambientales pueden ser los siguientes:

- Evaluar el impacto ambiental en los proyectos carreteros.
- Reducir el consumo de energía fósil.
- Proteger la biodiversidad en los corredores carreteros.
- Reducir los impactos en los recursos acuáticos y su impacto en su sistema.
- Mejorar la calidad del aire local.
- Reducir los niveles de ruido provenientes del transporte en las zonas suburbanas.
- Preservar los sitios históricos.
- Reducir las emisiones de GEI provenientes del sector transporte.
- Mejorar el paisaje y la convivencia carretera-ciudad.
- Reciclaje/Reuso de los pavimentos.

La segunda parte deberá integrar las directrices y líneas de actuación, que incluya acciones concretas para dar cumplimiento a los objetivos. Como ejemplo, los proyectos de infraestructura carretera que se deseen construir en México deberán contar con un estudio de impacto ambiental, el cual haya sido evaluado por las autoridades ambientales y se cuente con la autorización correspondiente.

El plan podrá contar con factores que auxilien a la toma de decisiones, tales como impuestos especiales, por ejemplo, en el Reino Unido se realiza un impuesto especial cuando en la construcción de carreteras se utiliza material fuera del sitio de obra, de esta manera se incentiva al uso de materiales locales y a la aplicación de nuevas tecnologías para mejorar los suelos locales para ser utilizados en la construcción de caminos.

Herramientas como el análisis de ciclo de vida en los proyectos serán útiles para la toma de decisiones, donde las autoridades contarán con la información necesaria para comparar proyectos carreteros previos a ser construidos,

identificados los impactos ambientales, los beneficios sociales y los costos de la obra y su correspondiente financiación a corto y largo plazo.

El plan tendrá que establecer también un proceso planificado continuo, basado en objetivos y su calendarización para su seguimiento.

Probablemente será necesario adecuar las políticas públicas y los marcos regulatorios para asegurar el cumplimiento del programa de carreteras sustentables.

5 Conclusiones

La idea de incluir la sustentabilidad en planes y programas en los diferentes sectores de la administración pública es una tarea necesaria en los países en desarrollo para responder a los retos internacionales en materia de desarrollo sustentable.

La sustentabilidad debe influir en las políticas públicas de crecimiento económico para evitar los impactos negativos en el componente ambiental, y sus repercusiones en los aspectos sociales y económicos. La tarea no resulta sencilla dado que los efectos que degradan el medio ambiente provienen de actividades no ambientales de la economía, tales como la industria.

La idea al implementar estrategias de sustentabilidad es contrarrestar aquellas tendencias insostenibles, pero este proceso se considera que debe ser gradual, aunque el inicio debe ser de inmediato.

Por eso fue fundamental la identificación de los criterios de sustentabilidad, subrayando las áreas clave o los temas que mayor valor aportarán a la integración al transporte carretero y su compatibilización con el medio ambiente, la sociedad y la economía, que además permita la generación de políticas sectoriales y una rápida actuación de parte de los tomadores de decisiones.

Estos criterios identificados por sí solos no pueden ser implementados para obtener su máximo potencial. Para ello se requiere la definición de mecanismos para el seguimiento y revisión de la sustentabilidad en la planificación, que incluirá el método o procedimiento para evaluar los componentes socio-económicos y medioambientales de los proyectos carreteros.

Este procedimiento debe estar en un plan estratégico de acción para la sustentabilidad en carreteras, que permita mover el desarrollo de infraestructura en un marco más sustentable, cuidando los aspectos más importantes en los que se evaluaron los criterios de sustentabilidad en esta investigación: técnico, social, ambiental, económico y seguridad.

Las autoridades deben asumir la responsabilidad de mover el desarrollo carretero a un ámbito sustentable, para que la planeación, construcción y conservación de carreteras se dirija a través de políticas públicas hacia un desarrollo sustentable.

Contar con un plan o programa de carreteras sustentables para México es una tarea prioritaria, donde los ingenieros de carreteras y los tomadores de decisiones en el sector transporte, tendrán el reto de concebir dicho plan y la implementación y seguimiento del mismo.

Esta investigación provee información para conocer detalladamente los criterios ambientales más aplicados en el ámbito internacional en materia de sustentabilidad para carreteras, la cual permitió definir a través de técnicas y encuestas los criterios susceptibles a ser implementados en México.

El siguiente paso será desarrollar un programa para que la sustentabilidad sea aplicada a las carreteras en México a través de un proceso documentado, donde se establezcan acciones e indicadores para medir el progreso de implementación.

Conviene también en un futuro desarrollar una herramienta que permita a cada proyecto carretero, identificar en qué nivel de cumplimiento de la sustentabilidad se encuentra.

Finalmente, se espera que la presente investigación sea un referente en español para entender la sustentabilidad aplicada a las carreteras y cómo los criterios pueden ser definidos para cada país en función de la experiencia y la factibilidad de poder ser incorporados a las políticas nacionales.

Bibliografía

American Association of State Highway and Transportation Officials. *Guide for high-occupancy vehicle (HOV) facilities*. Washington, Estados Unidos (Octubre, 2004)

American Association of State Highway and Transportation Officials. *Guide for the planning, design and operation of bicycle facilities*. Estados Unidos (Febrero, 2010)

American Association of State Highway and Transportation Officials. *Guide for the planning, design and operation of pedestrian facilities*. Estados Unidos (Julio, 2004)

Asociación Española de la Carretera. *Revista Carreteras. Integración Ambiental*. No. 150. Madrid, España. (2006)

Asociación Mundial de la Carretera. *Promoting optimal use of local materials*. París, Francia (2007)

California Department of Transportation. *Vol. 2 Cultural Resources*. California, Estados Unidos (Enero, 2014)

Cement Association of Canada. *A Life Cycle Perspective on Concrete and Asphalt Roadways*. Canadá (Septiembre, 2006)

Cinzano, Pierantonio. *Roadpollution: a software to evaluate and understand light pollution from road lighting*. Thiene, Italia (año no disponible)

Consortium on Green Design and Manufacturing, University of California. *Pavement Life-cycle Assessment Tool for Environmental and Economic Effects. PaLATE v.2.0* Berkeley, Estados Unidos (2003)

Department of Transport Minnesota. *Best practices handbook for roadside vegetation management*. Estados Unidos (2008)

East-West Gateway Council of Governments. *Highway runoff and water quality impacts*. San Luis, Estados Unidos (Agosto, 2000)

Edwards, Paul. *Recycling and secondary materials in highway construction*. Chartered Institution of Highways & Transportation. Vol. 10 Reino Unido (2003)

Environmental Protection Agency. *Erosion, Sediment and Runoff Control for Roads and Highways*. Washington, Estados Unidos (Diciembre, 2005)

Environmental Protection Agency. *Field Evaluation of Permeable Pavements for Stormwater Management*. Washington, Estados Unidos (Octubre, 2000)

Environmental Protection Agency. *Reducing urban heat islands: compendium of strategies. Cool Pavements*. Washington, Estados Unidos (Junio, 2005)

Environmental Protection Agency. *Using MOVES for estimating state and local inventories of On-Road greenhouse gas emissions and energy consumption*. Estados Unidos (Noviembre, 2012)

European Asphalt Pavement Association. *Sustainable roads. Long-Life Asphalt Pavements*. Bruselas, Bélgica (Junio, 2007)

European Commision. *Road transport: Reducing CO2 emissions from vehicles. Policys*. (http://ec.europa.eu/clima/policias/transport/vehicles/index_en.htm) (2013)

European Co-operation in the field of Scientific and Technical Research. *COST 341. Fauna y Tráfico. Manual europeo para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones*. Versión al español por el Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. (2003)

European Transport Safety Council. *Road safety audit and safety impact assessment*. Bruselas, Bélgica (Agosto, 1997)

European Union Road Federation. *Sustanaible roads and optimal mobility*. Bruselas, Bélgica. (Octubre, 2009)

Federación Española de Municipios y Provincias. *Red española de ciudades por el clima. Los sumideros de carbono a nivel local*. España (2011)

Federal Highway Administration. *Avanced high-performance materiales for highway applications. A report on the state of technology*. Washington, EUA. (Octubre, 2010)

Federal Highway Administration. *Construction Noise Handbook*. Washington, EUA. (Agosto, 2006)

Federal Highway Administration. *Highway Hydrology. Second Edition*. Estados Unidos (Octubre, 2002)

Federal Highway Administration. *Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Tool. INVEST Version 1.0*. Washington, EUA. (Octubre, 2012)

Federal Highway Administration. *Pedestrian Safety Guide and Countermeasure Selection System*. Estados Unidos (Septiembre, 2004)

Federal Highway Administration. *Public involvement techniques for transportation decision-making*. Estados Unidos (Diciembre, 1996)

Federal Highway Administration. *Roadside Use of Native Plants*. Estados Unidos (año no disponible)

Federal Highway Administration. *Roadway Construction Noise Model*. Washington, EUA. (Febrero, 2006)

Goh, Kai Chen; Yang, Jay. *Developing a life-cycle costing analysis model for sustainability enhancement in road infrastructure project*. Queensland University of Technology, Brisbane, Queensland. Australia (Marzo, 2009)

Herefordshire Council. *Highway Maintenance Plan*. Herefordshire, Reino Unido (Abril, 2007)

Iniciativa Sitios Sustentables. *The Case for Sustainable Landscapes*. Estados Unidos (2009)

International Road Federation. *Innovative practices for greener roads*. Ginebra, Suiza (2009)

Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité. *Système d'Evaluation de Variantes Environnementales V2.0* París, Francia. (Septiembre, 2013)

Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité. *ECOcompareur Routes Construction Entretien V2.0* París, Francia. (Abril, 2013)

Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité. *L'éco-compareur de variantes routières V 1.1* Paris, Francia. (Septiembre, 2013)

Institute for road safety research. SWOV Fact sheet. Edge strips on rural access roads. Países Bajos (Febrero, 2013)

International Organization for Standardization. ISO 14040 Standar. Suiza (2006)

International Road Dynamics. IRD News. Saskatoon, Canadá (Mayo, 2010)

Martec Recycling Corporation. *Carreteras sostenibles*. Vancouver, Canadá (año no disponible)

McNab, Derek J.; Lynch, Michael; Young. Paul. *Auditing of water use on construction sites. Phase I*. Waste & Resources Action Programme (WRAP). Reino Unido (Julio, 2011)

Ministry of Works, Transport & Communications. *Methods and Procedures for Prospecting for Road Construction Materials*. Gaborone, Botswana (Diciembre, 2000)

National Cooperative Highway Research Program. A guide to best practices for achieving context sensitive solutions. Report 480. Washington, Estados Unidos (2002)

National Cooperative Highway Research Program. *Best practices in performance measurement for highway maintenance and preservation*. Estados Unidos (Marzo, 2012)

National Cooperative Highway Research Program. *Research Results Digest 365: Sustainable pavement maintenance practices*. Estados Unidos (Diciembre, 2011)

National Road Authority. *Ecological surveying techniques for protected flora and fauna during the planning of national road schemes*. Dublin, Irlanda (2008)

National Rural Roads Development Agency. *Quality Assurance Handbook for Rural Roads. Volumen I. Quality Management System and Quality Control Requirements*. Nueva Delhi, India. (Mayo, 2007)

Office federal de l'environnement des forets et du paysage. *Paysage 2020. Principios directeurs*. Suiza (2003)

Oregon Department of Transportation. Quality Assurance Guidebooks. Oregon, Estados Unidos (fecha de edición no disponible)

Organización de las Naciones Unidas. Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible. Johannesburgo, Sudáfrica (Septiembre, 2002)

Organización de las Naciones Unidas. *Declaración de Estocolmo sobre el Medio Ambiente Humano*. Estocolmo, Suecia. (Junio, 1972)

Organización de las Naciones Unidas. *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Río de Janeiro, Brasil. (Junio, 1992)

Organización de las Naciones Unidas. *El futuro que queremos*. Río de Janeiro, Brasil. (Julio, 2012)

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. *Guidelines: Environmentally Sustainable Transport. Futures, strategies and best practices*. Viena, Austria. (Octubre, 2000)

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. *Report on the OECD Conference Environmentally Sustainable Transport (EST): Futures, Strategies and Best practices*. Viena, Austria. (Febrero, 2002)

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. *Policy Instruments for Achieving Environmentally Sustainable Transport*. París, Francia. (2002)

Pierri, Naína. Historia del concepto de desarrollo sustentable. Uruguay. (2001)

Rojas Orozco, Cornelio. El desarrollo sustentable: un nuevo paradigma para la administración pública. Instituto Nacional de Administración Pública A.C. México, DF. (2003)

Route One Publishing LTD. *Sustainability for roads infraestructura*. Londres, Inglaterra. (Diciembre, 2010)

Royal Institute of Technology. *Road Construction and Maintenance. Pavement Quality Control/Quality Assurance*. Estocolmo, Suecia (Mayo, 2013)

Ruediger, William; DiGiorgio, Monique. *Safe Passage. A user's guide to developing effective highway crossings for carnivores and other wildlife*. Wildlife Consulting Resources and Southern Rockies Ecosystem Project. Estados Unidos. (2007)

Sachs, Ignacy. *Environnement et styles de développement*. In: *Annales, Économies, Sociétés, Civilisations*. París, Francia. (1974)

Schroeder, Robin L. *The Use of Recycled Materials in Highway Construction. Public Road*. Vol. 58 · No. 2. Estados Unidos (Julio, 2011)

Scottish Environment Protection Agency. *Pollution prevention and environmental management*. Escocia (2006)

Selles, Amelia; O'Hare, May; Jones, Darryl Noel; Veage, Lee-Anne. *Integrating fauna protection into road design*. Institute of Public Works Engineering Australia. Australia (2008)

Sustainable Transport Coalition of Western Australia. *Policy: Bicycle Transport*. Australia (Julio, 2003)

Tony, Wong; Breen, Peter; Lloyd, Sara. *Water sensitive road design - Design options for improving stormwater quality of road runoff*. Cooperative research centre for catchment hydrology. Australia (Agosto, 2000)

Treleaven, Lyle; Pulles, Bert; Bilawchuk, Steven; Donovan, Hugh. *Asphalt rubber. The quiet pavement?*. Alberta, Canadá. (2006)

United Nations. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oslo, Noruega. (Marzo, 1987)

University of Washington. *Greeroads Manual v1.0*. Washington. Estados Unidos de América (2010)

VicRoads. *Integrated Water Management Guidelines*. Victoria, Australia (Junio, 2013)

Young, David; Urwin, Neil; Ireland, Tracy. *Maintenance Plan "Old Great North Road"*. Victoria, Australia (Marzo, 2007)

Washington State Department of Transportation. *Pedestrian facilities guidebook. Incorporating Pedestrians Into Washington's Transportation System*. Washington, Estados Unidos (Septiembre, 1997)

Wilmot, Tom D.; Wilmot, Stuart D. *Strategies for sustainable roads*. 21th. ARRB Conference. Australia (Mayo, 2003)

WWF Climate Change and Energy Program. *Road transportation emissions reduction strategies*. Canad (2012)

Anexo 1. Encuesta carreteras sustentables



El Instituto Mexicano del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro y el Comité Técnico Nacional en Impacto Ambiental de la Asociación Mexicana en Ingeniería de Vías Terrestres A.C., se encuentran realizando un estudio mediante el cual se puedan determinar los criterios de sustentabilidad para las carreteras en México que permitan instituir políticas en los tres pilares de la sustentabilidad.

Con el objeto de determinar los criterios de sustentabilidad se ha preparado la siguiente encuesta, dirigida a los especialistas del sector, para recabar opiniones sobre lo que podría ser susceptible de implementar en México, basados en una revisión internacional de experiencias en materia de sustentabilidad para carreteras.

DEFINICIONES

Sustentabilidad.

El desarrollo sustentable se definió como "aquel que satisface las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades".

Greenroads define sustentabilidad como un sistema que refleja la capacidad para que éste soporte la leyes naturales y los requerimientos humanos, la definición contiene elementos como ecología, equidad y economía.

Carretera sustentable.

La Federación Europea de Carreteras (ERF, por sus siglas en inglés) define a las carreteras sustentables como aquellas que son eficaces y eficientemente planeadas, diseñadas, construidas, modernizadas y conservadas, a través de políticas integradas con respecto al medio ambiente y conservan el beneficio socio-económico esperado en términos de movilidad y seguridad.

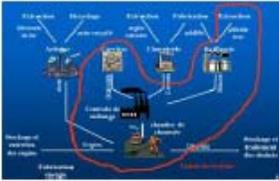
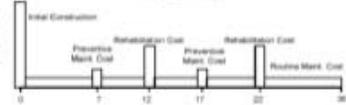
Bibliografía

European Union Road Federation. Sustainable roads and optimal mobility. Brusélas, Bélgica. [Octubre 2009]

United Nations. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Oslo, Noruega. [Marzo 1987]

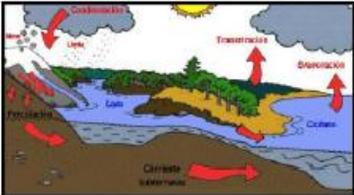
University of Washington, & CH2M HILL. Greenroads, manual V.1.0 (2010)

	si	no
<p>1 Proceso de evaluación del impacto ambiental</p> <p>El proceso de evaluación del impacto ambiental es un método de toma de decisiones sobre el cual la autoridad ambiental autoriza la construcción de un nuevo proyecto carretero, mediante el involucramiento de los diferentes sectores. La SEMARNAT provee una guía para el desarrollo de las Manifestaciones de Impacto Ambiental, documento mediante el cual se evalúan los impactos y beneficios del proyecto.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>2 Análisis del costo del ciclo de vida</p> <p>El análisis del costo del ciclo de vida es una herramienta que permite evaluar el costo total de un pavimento, incluyendo el costo inicial, los costos de mantenimiento y rehabilitación, y los costos de los usuarios durante la vida útil del proyecto. La utilización de esta herramienta contribuye en la sustentabilidad de las carreteras porque permite una toma de decisiones sobre el costo total del pavimento.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>3 Inventario del ciclo de vida</p> <p>El inventario de ciclo de vida es una herramienta que permite analizar y cuantificar los impactos ambientales en el proceso de construcción y mantenimiento de una carretera. Su análisis se realiza mediante software especializado que modelan las etapas del ciclo de vida de un producto (materia prima, producción, uso, fin de su vida, tratamiento, reciclado y disposición final), para la obtención de los consumos de energía y emisiones a la atmósfera. La aplicación de esta herramienta permite seleccionar procedimiento o equipos que minimizan el impacto ambiental.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>4 Plan de control de calidad</p> <p>El plan de control de calidad, es un instrumento que permite controlar y mejorar la calidad, en cualquier proceso constructivo de una carretera, realizando inspecciones, que determinan cuando se deben tomar acciones correctivas y cómo se van efectuar. Su elaboración se concibe, con base a las especificaciones técnicas vigentes, tales como, control de calidad de los materiales, métodos de trabajo, etc. Los procedimientos que integran el plan de control de calidad, se conciben antes que comience la construcción.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>5 Plan de mitigación de ruido</p> <p>Contar con un plan de mitigación de ruido, permite soluciones para reducir el impacto sonoro, que se genera en las diferentes etapas de una carretera a través del monitoreo de los niveles de ruido que se producen por la operación de los equipos motorizados y las actividades que realizan de construcción. Estos monitoreos se deben amplificar en la etapa de operación y conservación de la carretera, para el control de los decibeles permitidos para la salud física y la biodiversidad.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>6 Plan de manejo de residuos</p> <p>El Plan de manejo de residuos es un programa de prevención de la contaminación en la etapa de construcción de carreteras, ocasionada principalmente por la demolición y movimientos de tierra, así como por los trabajadores de la obra y los residuos de la maquinaria. Su planificación se integra en la contabilidad y gestión de los materiales, que permite la identificación, unidad de medida y tratamiento para su almacenamiento y manejo (como material peligroso o residuo); permitiendo el proceso de reciclaje y reutilización, que reduce costos y el fomento de prácticas para la reducción y/o eliminación de los residuos sin afectación al hábitat.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>7 Plan de prevención de la contaminación del agua</p> <p>El Plan de prevención de la contaminación, es un instrumento que permite reducir la contaminación del agua y sus efectos asociados a las actividades de construcción, protegiendo la escorrentía de aguas pluviales de la erosión y sedimentación. La protección se realiza con base a la topografía, para detectar las posibles áreas de almacenamientos de residuos y otros materiales, que contaminan el agua superficial, y la planificación de estrategias que permitan prevenir la contaminación como la Iniciativa para Lugares Sostenibles (2009), brindando soluciones, como: siembra temporal y permanente, trampas para sedimentos, control derrames de equipos, sistemas de infiltración, entre otras.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



8 Análisis hidrológico si no

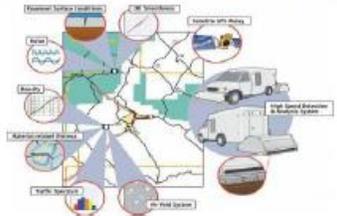
El análisis hidrológico se realiza con el objetivo de mantener y optimizar la gestión e integración de cuencas para el aprovechamiento de aguas pluviales dentro del derecho de vía. Desarrollando sistemas que permiten la reutilización, infiltración, evotranspiración y tratamiento de escorrentías, en instalaciones de uso para carreteras, que brindan beneficios estéticos, ambientales, mejora de la calidad del agua, retención de carbono a través de la vegetación, recarga de los acuíferos; elementos que propician un equilibrio sustentable.



9 Sistema de gestión de pavimentos si no

La gestión de pavimentos es una herramienta* de criterios para la toma de decisiones, que permite evaluar las condiciones del pavimento y sus variables a ejecutar en el proceso de conservación y rehabilitación, brindando una elección optima, que permite desarrollar pavimentos que duran más y funcionan mejor, reduciendo los costos en su ciclo de vida y la reducción en uso de los recursos naturales y el consumo de energía, que determinan el mejor momento para la conservación.

*Software especializado, agencias especializadas o acciones manuales.



10 Plan de mantenimiento del sitio si no

El plan de mantenimiento del sitio permite realizar un seguimiento de las actividades de mantenimiento, para su monitoreo y control durante la operación, que ayudan a conservar la calidad ambiental y la estética de la carretera (paisaje), mejorando la eficiencia en costos durante la vida útil prevista. Incluye actividades de revegetación, recolección de residuos sólidos, mantenimiento del pavimento y de los dispositivos de control, entre otras actividades.



11 Capacitación ambiental si no

La capacitación ambiental promueve la conciencia de los usuarios y operadores de los servicios y actividades de una carretera, con programas permanentes de educación que fomentan la sustentabilidad ambiental y la seguridad, a los usuarios y personal, satisfaciendo los alcances del proyecto y el cumplimiento ambiental.

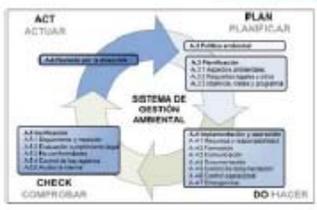
Permitiendo a los usuarios la extensión de toma decisiones, encaminadas a la sustentabilidad en las actividades de su vida diaria; y a los ejecutores en el uso de energías, transporte y gestión de las carreteras.



1 Sistema de gestión ambiental si no

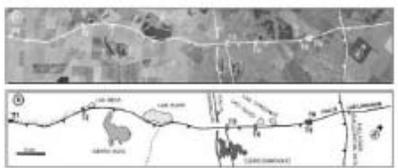
Un sistema de gestión ambiental es una herramienta de gestión que proporciona un marco de enfoque integral y estratégico para el medio ambiente, integrado por un conjunto de procesos y prácticas que permiten a las empresas constructoras reducir sus impactos ambientales y aumentar su eficiencia operativa.

La gestión ambiental cumple con los requisitos de la Organización Internacional de Normalización (ISO) 14000, que permite implementar una política ambiental con acciones preventivas y correctivas, y procedimientos de emergencia, que contribuyen al desarrollo sustentable en las carreteras.



2 Control de escurrimientos superficiales si no

El control de escurrimientos, es una medida que permite diseñar un desarrollo hidrológico en el derecho de vía, para un eficiente aprovechamiento y control del agua pluvial, través de modelaciones de las condiciones hidrológicas, donde se determinan los volúmenes de los escurrimientos y ubicación, tiempos de concentración y eventos extraordinarios, para definir las variables de diseño, afin de mejorar la erosión del suelo, inestabilidad de taludes, erosión en canales, cambios en la trayectoria de los escurrimientos (arroyos), e inundaciones; logrando la conservación de la vegetación nativa y la capacidad de filtración en suelo.



3 Calidad de los escurrimientos superficiales si no

La calidad en escurrimientos, es un instrumento de monitoreo y prevención de la contaminación del agua, a través de una gestión de calidad del agua pluvial captada en el derecho de vía y la superficie de rodamiento (pavimento), durante la operación de la carretera.

El monitoreo de la calidad, permite conocer la presencia de contaminantes en la escorrentía, tales como metales pesados, hidrocarburos y agentes patógenos, que varían en función de la composición del tránsito y el entorno ambiental; y son controlados hasta su total eliminación, con técnicas de mitigación, establecidas en los planes de respuesta a derrames y sedimentos, principalmente desarrollados con base a la normativa de la calidad del agua, y que resultan favorables para la recarga de los acuíferos, ríos y arroyos, permitiendo un entorno sustentable.



4 Análisis del costo del manejo de aguas pluviales si no

El análisis de costo del manejo de aguas pluviales, es una evaluación costo-beneficio para la toma de decisiones en la gestión de la calidad, basados en los costos del ciclo de vida, proporcionando mejores prácticas y técnicas para el manejo de escurrimientos en el derecho de vía y la superficie de rodamiento.



5 Vegetación nativa si no

La vegetación nativa, promueve un sistema de vegetación sustentable que contribuye a un menor uso de agua, reducción de la erosión y evitar el uso de especies con una mejor capacidad de supervivencia, ya que están adaptadas al medio ambiente local; y contribuyen a la reducción de costos por demanda de mantenimiento.

La implementación de la vegetación nativa mejora la calidad del aire y el agua, así como también regula el clima, el agua, la erosión, las plagas y peligros naturales, al igual que fomenta la polinización, entre otros beneficios ambientales.



6 Restauración del hábitat si no

La Restauración del hábitat es un proceso que permite renovar y restaurar el área degradada o dañada por los procesos constructivos de la carretera.

Mejorar la integridad biológica requiere del uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica para detallar la zona de daño, y realizar la fase de planificación que permite mejorar el área del hábitat, y monitorear las especies con bioindicadores, que proporcionan información necesaria para un seguimiento ambiental.



7 Conectividad ecológica

La conectividad ecológica, es un plan de acciones con el único propósito de reintegrar el paisaje fragmentado, sin interrumpir la movilidad en las carreteras y la seguridad de los usuarios.

Facilitar accesos para la fauna y flora, con ecosistemas artificiales, como son los pasos de fauna que tiene una interacción independiente a la carretera, ayudan a reducir los impactos negativos (efecto barrera) y a propiciar la vinculación de los organismos entre sí y con su medio ambiente (procesos ecológicos); permitiendo la estabilidad del equilibrio ecológico en los ecosistemas, que genera la conservación de los recursos no renovables y la sustentabilidad en el medio.

**8 Contaminación lumínica**

La contaminación lumínica, es la degradación del hábitat por emisión de luz artificial, que influye negativamente en una amplia diversidad de especies (fauna y flora), con alteraciones en su comportamiento reproductivo; y ha reducido seriamente el valor estético del cielo nocturno.

La iluminación de las carreteras es un requisito importante para un entorno de conducción nocturna segura, la cual se debe realizar con luminarias que proporcionen una iluminación uniforme y de caída libre, para reducción del reflejo, este mismo se puede disminuir con la utilización de sellos, que permiten proteger y restaurar el medio ambiente por la noche y el patrimonio de los cielos oscuro.



<p>1 Auditoría de seguridad vial</p> <p>La auditoría de seguridad vial es un proceso de revisión supervisado por un equipo independiente a los operadores de la carretera, que evalúa las actividades y los resultados, de la operación de la carretera en términos de operación segura.</p> <p>En carretera realizar auditorías de seguridad vial, permiten evaluar la seguridad antes de que esté abierta al público, así como localizar los puntos de conflicto en su operación, permitiendo reducir los accidentes viales y sus efectos negativos, que tienen un impacto en la sociedad por sus costos, además de ser una de las principales causas de mortalidad.</p>	<p style="text-align: right;">sí no</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> 
<p>2 Sistemas inteligentes para el transporte</p> <p>Los sistemas inteligentes para el transporte son aplicaciones para la infraestructura y la operación vehicular que utilizan tecnologías inteligentes y conceptos de ingeniería en sistemas para desarrollar y mejorar los sistemas de transporte, teniendo por objetivo proporcionar servicios innovadores relacionados con los diferentes modos de transporte y la gestión del tránsito, brindando información y seguridad al usuario.</p> <p>Satisfacer las necesidades de los usuarios con la implementación de los sistemas inteligentes de transporte beneficia a los sectores económicos y sociales, fomentando un desarrollo sustentable.</p>	<p style="text-align: right;">sí no</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> 
<p>3 Planeación en el contexto</p> <p>El diseño sensible al contexto es un enfoque interdisciplinario que cubre las necesidades del transporte y determina alternativas para una efectiva toma de decisiones en un diseño inteligente, que involucra la adaptación al entorno, afín de preservar y mejorar los recursos estéticos, históricos y del medio ambiente, brindando una planificación que ofrece al usuario instalaciones para bicicletas, peatones y sistemas de tránsito, que mejoran la seguridad y movilidad en carreteras de tipo urbanas.</p>	<p style="text-align: right;">sí no</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> 
<p>4 Reducción de emisiones vehiculares</p> <p>La reducción de emisiones vehiculares, es una herramienta que permite calcular la huella de carbono en una carretera, con la aplicación de software para modelar el tránsito vehicular, y con ello diseñar estrategias que permitan ofertar un transporte sustentable, activo y multimodal.</p> <p>Reducir las emisiones generadas en carreteras con el monitoreo de operativos móviles, mejora la calidad del aire y la salud humana, así mismo permite establecer políticas para la reducción de emisiones regionales de gases de efecto invernadero y la creación de corredores urbanos para disolución de éstos mismos.</p>	<p style="text-align: right;">sí no</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> 
<p>5 Movilidad peatonal</p> <p>La infraestructura peatonal son instalaciones que promueven el desplazamiento peatonal dentro de un sistema de transporte, tales como banquetas y pasos peatonales (a nivel o desnivel), que brindan comodidad y seguridad a los peatones, y contribuyen a la atracción de realizar viajes a pie, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.</p> <p>Mejorar los accesos e instalaciones peatonales convence a los usuarios a cambiar su modo de viajar, respondiendo favorablemente a componentes de sustentabilidad, tales como ecología, equidad y economía.</p>	<p style="text-align: right;">sí no</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> 
<p>6 Movilidad para ciclistas</p> <p>La movilidad para ciclistas requiere instalaciones diseñadas para su circulación (ciclovía o ciclopista) en el derecho de vía de una carretera y contribuyen a la reducción de accidentes y colisiones con vehículos, asimismo promueven un medio de transporte limpio y activo, que mejora la salud de los usuarios. Otros beneficios que genera la ciclovía es la reducción de congestamiento vehicular y desplazamientos ordenados entre ciclistas y peatones que permiten una mejor movilidad.</p>	<p style="text-align: right;">sí no</p> <p style="text-align: right;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> 

7 Movilidad para vehículos de alta ocupación

si	no
----	----

Un carril de vehículos de alta ocupación, hace referencia a la medida aplicada especialmente en autopistas, que consiste en destinar un carril de la vialidad para el tránsito de vehículos con más de un ocupante (conductor y al menos un pasero). Actualmente partiendo de este criterio se han establecido carriles para transporte público con autobuses que trasladan un gran número de personas y en un menor número de unidades, mejorando la operación vehicular con solo utilizar el carril derecho de la vía, y la calidad del aire, asimismo reduce los tiempos y costos de traslado en los usuarios.



si	no
----	----

8 Vistas panorámicas

Las vistas panorámicas, son elementos que promueven el paisaje, brindando una vista agradable a la carretera, que permite el desarrollo de planes de gestión de corredores, afín de que los usuarios cuenten con accesos e instalaciones que les permita realizar recorridos en bicicletas y a pie, sin deteriorar o agravar el hábitat. Asignar áreas como miradores o vistas paisajísticas para estacionar los vehículos y observar el paisaje, permite la creación de carreteras turísticas, que fomentan la conservación del hábitat y la difusión cultural y recreativa.



si	no
----	----

9 Preservación de sitios históricos

La preservación de los sitios históricos y promoción de los valores culturales en diversos espacios de una carretera, se realiza incorporando elementos (monumentos y obras de arte) de carácter histórico y cultural, que promueven la integración al arte, y mejoran la apariencia de los proyectos carreteros, brindando oportunidad de promoción a los servicios de información histórica y cultural con accesos a sitios de patrimonios de la nación, como parques, parques históricos, monumentos, entre otros.



1 Sistema de gestión de la calidad

si no

Un sistema de gestión de la calidad, es una herramienta que permite expresar una estructura organizada, procesos y recursos necesarios para la gestión de una organización con base a los requisitos de ISO 9000. Las empresas constructoras certificadas en calidad, mejoran los procesos de construcción de carreteras, ya que cuentan con políticas, manuales y listados de procedimientos enfocados a la calidad, que brindan una satisfacción al cuidado del medio ambiente y a la seguridad de usuarios de la carretera.



si no

2 Formación Ambiental

La formación ambiental es un requisito que el personal de las empresas constructoras deben cumplir, con el objetivo de generar conciencia y soluciones pertinentes a los problemas ambientales, así mismo proporciona los conocimientos necesarios al personal para identificarlos. Reducir al mínimo el impacto ambiental en carreteras, es una tarea primordial que se logra con el apoyo de un personal responsable y capacitado, al cuidado del medio ambiente; acciones que permiten una interconexión con el desarrollo sustentable.



si no

3 Plan de reciclaje

Un plan para el reciclaje es una estrategia que permite asignar áreas especializadas como vertederos, para almacenamiento de residuos relacionados con la construcción de carreteras, y estos puedan ser reutilizados y/o tratados para su eliminación, minimizando su cantidad. Fomentar el reciclaje en los proyectos carreteros, tiene grandes beneficios ambientales en todas las fases del ciclo de vida de los materiales, ya que permite la reducción de emisiones que contribuyen al calentamiento global y a la conservación del medio ambiente con buenas prácticas ambientales.



si no

4 Reducción del consumo de combustibles fósiles

La reducción del consumo de combustibles fósiles es una estrategia que permite reducir la demanda de estos para los vehículos y equipos, con el uso de mezclas de biocarburos o biocombustibles. Reducir el consumo global de combustibles fósiles en la flota de equipos de construcción para carretera, ofrece beneficios para la salud y el medio ambiente, asimismo en la calidad del aire se reduce la presencia de dióxido de carbono que propicia el calentamiento global y el cambio climático.



si no

5 Equipo para la reducción de emisiones

Un equipo de reducción de emisiones atmosféricas, es una solución que permite la operación de maquinaria de construcción sin deteriorar la calidad del aire, mejorando las condiciones del motor y escape, con filtros que permiten el uso de diesel mezclado con biocombustibles en el motor, y la reducción de emisiones en el escape. Otro aspecto a regular es el cumplimiento de las normativas de emisiones de los vehículos que trabaja en la obra. Reducir las emisiones atmosféricas durante el proceso de construcción de una carretera, beneficia la relación costo-beneficios en la operación de maquinaria, asimismo la salud de operarios, promoviendo la conservación del medio ambiente.



si no

6 Reducción de emisiones en la pavimentación

La reducción de emisiones en el proceso de pavimentación es una estrategia que permite analizar las técnicas de pavimentación y sus variables como maquinaria y temperatura, afin de seleccionar la más favorable a la minimización de emisiones de sustancias volátiles que perjudican la salud de los trabajadores y el medio ambiente. Los análisis de pavimentación se apoyan de los resultados del ciclo de vida de los materiales para pavimento, y de las normas para la salud.



7 Registro del uso del agua en la construcción

si no

El Seguimiento de uso del agua, es una herramienta que permite registrar y estimar su uso total durante el proceso de construcción principalmente, y mantenimiento de una carretera; garantizando su protección de acuerdo a la normatividad vigente.

Los registros se deben complementar con datos que permiten garantizar la salud y la seguridad laboral, como los lugares y fuentes de abastecimiento, potabilización del agua, actividad que requiere el uso y si esta debe tener algún tratamiento, entre otras.

**8 Garantía del contratista**

si no

La garantía del contratista, es un instrumento que permite incorporar la calidad en el proceso de construcción de carreteras, a través del uso de garantías en los materiales, mano de obra y la rentabilidad a largo plazo, por parte del contratista.

Los términos de garantías en carreteras se establecen por acuerdo de la dependencia responsable y el contratista, que determinan las políticas de garantías con base a los periodos de ejecución y acción correctiva.



1 Análisis del ciclo de vida si no

El análisis del ciclo de vida es una técnica que consiste en evaluar los impactos ambientales ocasionados en alguna de las etapas de los materiales implementados, para desarrollar inventarios que permiten identificar los impactos potenciales asociados a los insumos de energía, emisiones a la atmósfera y agua, y el agotamiento de recursos naturales.

La compilación de una evaluación del ciclo de vida se antecede del proceso de evaluación ambiental, análisis de costo de ciclo de vida e inventarios del ciclo de vida, y se realiza bajo los estatutos de la normativa ISO 14040:2006.



2 Reciclado de pavimentos si no

El reciclado o recuperación de pavimentos es una técnica empleada en la etapa de mantenimiento de la superficie de rodamiento, que permite reducir los costos del ciclo de vida y los impactos ambientales, mediante la recuperación de material que integra la estructura de pavimento en un proceso de disgregación, para estar ser reutilizado en una nueva estructura, mediante un proceso de mejoramiento con aditivos o incorporación de nuevos materiales.



3 Equilibrio de movimiento de tierras si no

El equilibrio de movimientos de tierras permite reducir los viajes de acarreo, en distancia y número de vehículos, bajo una estrategia de equilibrio que establece que el volumen de corte sea igual al volumen de terraplén, esto asume que el material de corte de un área sea adecuado para uso de relleno en otra área del proyecto, aplicando técnicas de mejoramiento de suelos en casos donde no se cumpla con las especificaciones del diseño, con la implementación de aditivos, cal, cemento, geomallas, emulsiones de asfalto, entre otros, que brindan mayor estabilidad al suelo.



4 Materiales reciclados si no

El uso de materiales reciclados, es una estrategia que permite reducir los impactos ambientales y el costo de ciclo de vida en el proceso de construcción, a través del reúso. El manejo de materiales reciclados requiere la aplicación de herramientas, que nos permitan contabilizar la cantidad de almacenamiento, uso y desecho, a fin de desarrollar planes que fomenten un mayor ciclo de vida en los materiales, como parte del desarrollo sustentable en carreteras.



5 Uso de materiales locales si no

Los materiales locales son un elemento básico que permite a los constructores implementar estrategias en un radio de área definida, que ofrecen una gama de beneficios palpables en los análisis de costo-beneficio y reducción de impactos ambientales, al promover su uso se disminuye el número de maquinaria y acarreos de material, y longitudes, lo que permite reducir la cantidad de emisiones asociadas al transporte y el consumo de energía; recalando que el material puede ser modificado con técnicas de mejoramiento en caso de no cumplir con lo establecido en el diseño.



6 Eficiencia energética si no

La eficiencia energética, es una estrategia que reduce la cantidad de energía requerida para proporcionar los servicios de alumbrado en carreteras, permitiendo minimizar los costos de energía, que representan un ahorro en los costos de mantenimiento, así mismo ayuda a controlar las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación lumínica.

Los sistemas de iluminación deben cumplir con los estándares de normatividad, y con diseños adecuados para el proyecto, a fin de brindar seguridad para usuarios (conductores, peatones y ciclistas).



1 Pavimentos de larga duración

si no

Un pavimento de larga duración es aquel en el que no se produce un deterioro significativo en las capas de terracerías y de estructura del mismo, asimismo la capa de rodamiento debe cumplir con un mantenimiento oportuno, para brindar una duración de al menos 35 años. Su aplicación, se constituye en evaluar las capas del pavimento con la prueba de CRB (California Bearing Ratio) "Valor de soporte california", que permite establecer valores que propicien hasta 60 años de vida útil de acuerdo al tipo de sección y tránsito esperado, favoreciendo a la minimización de los costos del ciclo de vida, ya que se reduce el proceso de rehabilitación y mantenimiento, aunque se debe tomar en cuenta que al principio los costos iniciales son mayores.



2 Pavimentos permeables

si no

Un pavimento permeable promueve la conservación y calidad de las aguas pluviales, que escurren sobre éste, con la implementación de planes de manejo que permiten desarrollar técnicas estructurales a través del uso de materiales porosos en las capas de base y subbase. El diseño estructural de un pavimento permeable, ofrece una gama de beneficios favorables al medio ambiente como reducción de la erosión y contaminación de las aguas subterráneas, entre otros, pero también cuenta con pequeños factores que imposibilitan su aplicación en todos los proyectos carreteros, uno de estos es que no es adecuado para altos volúmenes de tránsito, sin embargo ante este escenario se puede implementar en el área de acotamiento (hombros), peatones y ciclistas.



3 Mezclas asfálticas tibias (WMA)

si no

Las mezclas asfálticas en caliente se fabrican y se extienden a altas temperaturas que superan la ambiental, ocasionando un gran número de emisiones a la atmósfera que contribuyen al calentamiento global, lluvia ácida y la formación de smog, en todo su ciclo de vida. Acciones sustentables plantean es disminuir la temperatura a mezclas asfálticas tibias las cuales permiten reducir el uso de combustibles fósiles en su elaboración y disminuir su temperatura de colocación con aditivos permitidos a fin de mejorar la salud de los trabajadores, asimismo se logra conservar el medio ambiente, con la reducción del uso de energía y costos por su rendimiento al ser reutilizado en obras de mantenimiento de la carpeta asfáltica.

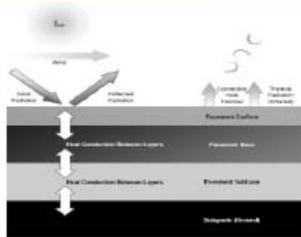


4 Pavimento en frío

si no

La técnica de pavimento en frío permite implementar estrategias sustentables que reducen la reflexión solar con el uso de materiales de color claro, y mejorar las temperaturas con la implementación de materiales porosos que permiten el enfriamiento al fluir el aire y el agua en la capa de rodamiento, propiciando el aislamiento del efecto de isla de calor urbano que deteriora al medio ambiente y la salud. Otro de los criterios que se deben tomar en cuenta es el albedo* producido en los diferentes tipos de pavimento.

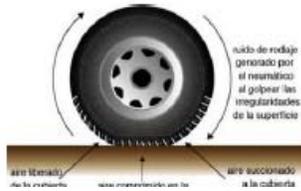
*Albedo es el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma.



5 Pavimento silencioso

si no

Un pavimento silencioso permite reducir el ruido ocasionado por el contacto neumático-pavimento a través de técnicas que controlan y evalúan su textura, para brindar beneficios que minimizan la contaminación acústica en el entorno y mejoran la salud de las personas. Otros esfuerzos de mitigación del ruido en carreteras generado por vehículos que involucran el claxon y los motores, son controladas con la aplicación de muros aislantes (barreras antiruido), entre otras alternativas que deben ser analizadas en el proceso de revisión ambiental al elaborar el plan de mitigación de ruido, con la finalidad de complementar la respuesta del pavimento silencioso.





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/>