



Certificación ISO 9001:2008 ‡

REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE LAS METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE ECOEFICIENCIA EN PROCESOS PRODUCTIVOS DEL SECTOR TRANSPORTE

María Guadalupe López Domínguez
Juan Fernando Mendoza Sánchez
Rodolfo Téllez Gutiérrez

**Publicación Técnica No. 351
Sanfandila, Qro, 2011**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Revisión del estado del arte sobre las metodologías
para la evaluación de ecoeficiencia en procesos
productivos del Sector Transporte**

Publicación Técnica No. 351
Sanfandila, Qro, 2011

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte, por la MC María Guadalupe López Domínguez y el MC Juan Fernando Mendoza Sánchez, investigadores del Grupo de Impacto Ambiental, de la Coordinación de Infraestructura.

Se agradece la colaboración del el MC Rodolfo Téllez Gutiérrez, Coordinador de Infraestructura.

Índice

Resumen		v
Abstract		vii
Resumen	Ejecutivo	ix
Introducción		1
Capítulo 1.	Generalidades de la ecoeficiencia	3
Capítulo 2.	Herramientas para la ecoeficiencia	11
Capítulo 3.	Casos de estudio	25
Capítulo 4.	Conclusiones	43
Bibliografía		45

Resumen

La presente investigación es una revisión del estado actual de metodologías de ecoeficiencia empleadas en el Sector Transporte, para el análisis de los procesos productivos o la evaluación de proyectos; incluyendo variables ambientales, tales como las emisiones de gases de efecto invernadero.

En este documento se describen las principales metodologías de ecoeficiencia de manera general y se incluyen casos de estudio sobre proyectos a nivel internacional donde se han empleado técnicas de ecoeficiencia para la valoración ambiental sobre análisis de ciclo de vida, comparación sobre metodología en mezclas asfálticas, aplicación de herramientas informáticas y sobre la mejora de mantenimiento superficial de caminos; buscando la reducción en el consumo de energía, extracción de materiales y principalmente la reducción de gases de efecto invernadero emitidas (equivalente de dióxido de carbono).

Abstract

This investigation is a review of the current state of eco-efficiency methodologies used in the Transport Sector for the analysis of production processes or evaluation of projects, including environmental variables, such as emissions of greenhouse gases.

This paper describes the main methodologies of eco-efficiency in general view, and includes a chapter with the description of case studies on international projects which have been used for the environmental assessment using life cycle analysis, comparing asphalt mixtures, using software tools and, improves on road surface maintenance, main to reduce energy consumption, extraction of new materials and reducing greenhouse gases (carbon dioxide equivalent).

Resumen ejecutivo

La ecoeficiencia surge a raíz de las políticas medioambientales a nivel mundial, junto a nuevos conceptos que tienen el principal objetivo de reducir los impactos ambientales negativos de los procesos productivos.

Las herramientas en las que se basa la ecoeficiencia son técnicas concretas que permiten obtener y combinar información, para tomar decisiones sobre cambios en la operación de una organización, sin poner en riesgo atributos igual de importantes como lo son la calidad. Se clasifican de acuerdo con su propósito. Actualmente las metodologías para la evaluación de la ecoeficiencia en los procesos del Sector Transporte pueden llevarse a cabo en distintas maneras, desde el análisis de un proceso de la obtención de un producto (mezcla asfáltica en caliente) o de un proyecto.

Se presentan cuatro casos de estudio donde se ha empleado diferentes metodologías de ecoeficiencia, para el análisis del impacto ambiental en el Sector. El primer caso muestra el análisis de ciclo de vida en la construcción de caminos en España, para la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), donde se ejemplifica el uso de esta herramienta en un análisis comparativo de los impactos tanto en la producción como en la puesta en obra de un proyecto de construcción para terraplenes en carreteras. Para el análisis de emisiones de GEI, el indicador de equivalentes de dióxido carbono (Kg de CO₂ eq). Se compara la sustitución de materiales cotejando el empleo de materiales hallados sobre el trazo del camino contra materiales procedentes de un banco. También el mejoramiento del trazo empleando cal apagada contra el empleo de estabilizadores sintéticos (S-EST I) con base en las emisiones que generan en el transporte, producción y extracción de estos materiales. En este caso, la alternativa de estabilización *in situ* produce un impacto ambiental hasta seis veces mayor que la utilización de préstamo de materiales, si se estabiliza con cal apagada; y hasta cuatro veces más, si se estabiliza con cemento, sobre lo que ha GEI se refiere.

El segundo caso de estudio es de Canadá, mostramos la implementación de estrategias energéticas y de reducción de GEI; este es un caso donde se evalúan dos planes de mantenimiento en la administración de una carretera. Se compara el plan “tradicional” que se lleva a cabo en este país de un periodo de catorce años, para mantener el estado superficial del pavimento dentro de los estándares requeridos en su legislación, se propone que los periodos de mantenimiento se realicen en ciclos de siete años en lugar de catorce, esto basado en la relación que tiene la rugosidad y el consumo energético, para evitar emisiones de GEI derivados de la quema de este combustible. El consumo de combustible resulta significativamente incrementado dado el estado superficial de la carretera,

determinado por el índice de rugosidad internacional (IRI). Este análisis que involucra IRI, costos de combustible, tránsito (TDPA) y planeación en el mantenimiento se llevó a cabo por modelación con el Highway Development Management (HDM-4). En este caso, el llevar a IRI mayores a 3.5 una red de 2.150 Km, en ciclos de siete años y no de catorce, como se hace actualmente, lleva a ahorros anuales del 0,2% en el consumo de combustible; en el caso de Canadá ha llegado a ahorrar 66 000 000 litros de combustible, lo que se traduce en la no emisión de 200 000 toneladas de CO₂. Por el lado económico, los costos de mantenimiento se incrementan en \$124 000 000 USD; sin embargo la mejora en los caminos reduce el mantenimiento en los vehículos en 420 millones de dólares (partes, llantas y mano de obra); beneficio que va de manera directa a los propietarios de vehículos. Adicionalmente, la mejora del IRI lleva a decrementos en los índices de accidentes en carreteras, en lesiones y mortalidad en los caminos.

El tercer caso es la comparación de la evaluación ambiental de una mezcla caliente y una tibia de asfalto, en procesos a escala industrial mediante el análisis de ciclo de vida. Se consideraron los impactos simultáneos de la utilidad de los procesos involucrados para las mezclas de asfalto calientes (HMA) (160°C) y las mezclas tibias (WMA) (<100°C). Los resultados comparativos obtenidos se hicieron sobre la energía (en Joules) empleada y los GEI (en kg de CO₂ eq.) generados, de los dos métodos de asfalto HMA y WMA; se consideraron los mismos flujos de materiales y condiciones de transporte iguales (distancia de 40km); las cantidades, origen de los agregados y del asfalto son iguales para ambos casos, teniendo como fuente de energía la misma planta industrial y equipo empleado para los trabajos sobre el camino. Bajo este análisis, existen ahorros cerca del 47% en energía y 44% en GEI si se utiliza WMA en lugar de HMA, en la pavimentación.

En el cuarto caso es tratado el tema de las calculadoras de GEI en la huella de carbono y su aplicación en la construcción de carreteras. Se empleó la calculadora de GEI para la evaluación armonizada y normalizada de las emisiones de gases de efecto invernadero, para carreteras CHANGER, en la evaluación de un proyecto de ampliación en India. Las mejoras tienen expectativas para durar doce años en un tramo de 110 Km, con especificaciones de sub-base granular (GSB), mezcla húmeda (WMM) y espesores variantes en el pavimento, mejoras de drenaje; una carga de pasajeros esperada de 137.816.047, y una carga de 77.120.411 toneladas. Considerando las distintas etapas involucradas en el proyecto (ampliación del derecho de vía, remoción de material, construcción de sub-base granular (GSB) y las opciones de asfalto elegidas (mezcla húmeda - WMM- mezcla asfáltica) y los trabajos en concreto para distintas las partes en lo largo del tramo; se obtienen las emisiones en CO₂ eq generadas en este proyecto de ampliación que en suma son de cerca del 52.083 toneladas de CO₂ eq. Podemos concluir que la práctica actual debe considerar todos los impactos ambientales e integrarlos al proceso de construcción, mantenimiento y operación de los proyectos carreteros para visualizar las medidas de mitigación en estos.

Las evaluaciones sobre el ahorro energético, mejoras de mantenimiento, sustitución de materiales, análisis de emisiones generadas por actividades dentro de un proyecto carretero, implementar mejoras en los diseños de pavimentos, el optar por prácticas ambientalmente más amigables, rediseño, evaluaciones comparativas para materiales o métodos, o un sencillo análisis sobre las actividades adjuntas a un proceso principal como un conjunto de este son evidencia de la contribución del sector hacia un desarrollo sustentable.

El análisis de los proyectos que actualmente se desarrollan a nivel mundial, empleando herramientas informáticas para las evaluaciones ambientales, está ayudando a generar bases de datos y a ajustar la metodología de ecoeficiencia para ser más precisa en el cálculo de emisiones, gastos y generación de índices ambientales. Existe aún un gran campo de mejora para dichas herramientas; sin embargo, lo generado a la fecha representa un gran avance en materia ambiental.

Sin dejar de ser eficientes en otros aspectos igualmente importantes, como lo son la calidad de ingeniería y la seguridad vial, el Sector Transporte está en la tendencia mundial de ser cada vez más eficiente, sostenible y más seguro gracias al desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías ambientales.

Esperamos que el presente trabajo coadyuve a la generación de investigaciones referidas a los análisis de ecoeficiencia en procesos productivos del sector transporte y en análisis de proyectos, con la finalidad de encaminar esfuerzos a la sustentabilidad ambiental.

Introducción

La ecoeficiencia es una estrategia del tipo empresarial que busca elevar el desempeño de los procesos productivos de cualquier empresa, minimizando sus impactos ambientales.

La instrumentación de metodologías de ecoeficiencia requiere de práctica en los procesos por intervenir, y una gran cantidad de información para el análisis detallados de una cadena productiva.

El presente trabajo muestra un panorama de la ecoeficiencia y cómo esta herramienta ayuda a los procesos productivos en la mejora de su desempeño y en la minimización de sus impactos, los cuales son detallados en el capítulo 1.

El capítulo 2 describe las diferentes técnicas utilizadas para la ecoeficiencia, destacando los ecobalances, los análisis de ciclo de vida, los ecomapas y las cadenas de valor; cada una de ellas representa una oportunidad útil para analizar diversos procesos productivos e identificar las oportunidades de mejora en ellos, considerando los beneficios ambientales derivados.

Para mostrar los resultados del uso de algunas de las herramientas, en el capítulo 3 mostramos algunos casos de estudios donde se han analizado los consumos energéticos y mediante comparaciones con otras alternativas de construcción los ahorros de emisiones esperados. Los casos son específicos para carreteras, ya sea operación o construcción. También incluimos el uso de una herramienta informática para la estimación de consumos energéticos en los diferentes procesos constructivos de carretera y las diferentes técnicas, a manera de identificar la forma más ecológica de construir una carretera.

Los resultados de los casos de estudios permitieron hacer una serie de comentarios a manera de conclusiones, donde destaca la importancia de conocer con detalle el proceso que queremos analizar. También comentamos que la evaluación de la ecoeficiencia en los procesos del Sector Transporte pueden llevarse a cabo en distintas maneras: desde la aplicación de prácticas enfocadas al ahorro energético, rediseño, evaluaciones comparativas para materiales o métodos, mejoras de mantenimiento; o un sencillo análisis sobre las actividades adjuntas a un proceso principal como un conjunto de este.

Es importante considerar todos los impactos ambientales e integrarlos al proceso de construcción, mantenimiento y operación de los proyectos carreteros que

ayudan a visualizar medidas de mitigación en estos ya que en el análisis de un proceso aislado pueden llegar a omitirse impactos importantes.

Esperamos que el presente trabajo refleje la tendencia de las metodologías de ecoeficiencia aplicadas al sector transporte y las bondades que representan para la reducción de los impactos ambientales que generan.

1 Generalidades de la ecoeficiencia

El impacto ambiental es una consecuencia directa e indirecta derivada de la actividad humana, principalmente. Estas alteraciones al medio ambiente han traído consigo efectos mayormente negativos, sobre todo cuando se rebasa el equilibrio en los ecosistemas. Por ello es necesario el establecimiento de políticas ambientales orientadas a la protección del medio ambiente.

En años recientes se han realizado una serie de tratados y acuerdos a favor de la reducción de los impactos ambientales generados por el hombre, el más conocido es el de la Conferencia de las Naciones Unidas de Río de Janeiro sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1992 (Biasco, 2002) donde surge el acuerdo internacional más importante conocido como el Protocolo de Kyoto; el cual busca el compromiso de gobierno, empresas, organizaciones no gubernamentales y la comunidad científica para la reducción de emisiones que contribuyen al cambio climático.

Este compromiso se comienza a ver reflejado de manera paulatina, en el sector productivo, en acciones y medidas a favor del medioambiente; así como en la evaluación del impacto de sus procesos, servicios y productos que realizan. Uno de estos pasos es la implementación de Sistemas de Gestión Ambiental (SGA), los cuales son un conjunto de acciones y medidas que debemos tomar en cuenta para cumplir con la legislación vigente en materia ambiental y reducir los impactos al mismo (Heras, 2006).

La utilización de herramientas de gestión para identificar en los procesos productivos los impactos ambientales y valorarlos a través del análisis del ciclo de vida ha cobrado especial importancia. Uno de los conceptos que se utilizan es la ecoeficiencia.

1.1 La ecoeficiencia.

En general, la ecoeficiencia es una metodología que toma en cuenta y analiza todos los impactos ambientales que se tienen en un proceso, un producto o un servicio a lo largo de su ciclo de vida; con el objetivo de identificar aquellos que sean negativos e implementar estrategias encaminadas a su reducción. El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo (WBCSD, por sus siglas en inglés) define la ecoeficiencia como el “proporcionar bienes y servicios a un precio competitivo que satisfaga las necesidades humanas y la calidad de vida, al tiempo que reduzca progresivamente el impacto ambiental y la intensidad de la utilización de recursos a lo largo del ciclo de vida, hasta un nivel compatible con la capacidad de carga estimada del planeta”. Este concepto está completamente ligado a lo que

conocemos como sustentabilidad; ya que ambos tienen como objetivos principales el crecimiento económico, bienestar social y ambiental.

De esta manera, el sector productivo contribuye mayormente al desarrollo sustentable, obteniendo beneficios en sus actividades productivas y generando a la vez competitividad ambiental. Podemos definir la competitividad ambiental de una empresa o sector como la adopción en los procesos y actividades, de prácticas para reducir el consumo de materias primas y minimización de la contaminación generada sustituyendo o modificando sus procesos por otros más amigables al ambiente, sin dejar de ser económicamente eficientes.

De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la ecoeficiencia se define como “una aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada a los procesos productivos, los productos y los servicios para reducir los riesgos relevantes a los humanos y el medio ambiente”. Esta definición incluye los procesos productivos de una empresa y no solo a los productos y servicios como un resultado final en el proceso, y le da un carácter preventivo, a diferencia de las tecnologías “final de tubo”, ya que estas últimas son una práctica que solamente busca la implementación de tecnologías y tratamientos para los residuos, descargas, emisiones y contaminantes una vez que ya han sido generados; en cambio, la ecoeficiencia opta por el dejar de producir contaminantes a controlarlos una vez producidos.

En una definición menos conceptual, podemos entender a la ecoeficiencia como la relación que existe entre un producto, proceso o servicio y la sumatoria de los impactos ambientales que genera a lo largo de su ciclo de vida:

$$\text{Ecoeficiencia} = \frac{\text{Valor del producto o servicio}}{\text{Impacto ambiental}}$$

Dentro de los beneficios directos que produce implementar metodologías de ecoeficiencia dentro de una empresa es el “producir más con menos”; es decir, gestionar eficientemente los recursos o procesos de producción para que la empresa reduzca residuos (volumen y toxicidad), consumos energéticos, riesgos e incumplimiento de leyes y reglamentos en materia ambiental; así como mejorar el aprovechamiento de materia prima y recursos por medio de mejoras continuas.

El ecodiseño redefine a un producto hacia criterios ambientales, valorando el impacto que genera a lo largo de toda su vida útil y no útil; esto es desde la obtención de materias primas, uso de recursos energéticos, procesos de fabricación, uso, mantenimiento y -por último- su disposición final (reciclado o reutilización). Por todo lo que implica, el ecodiseño va más allá de solo acciones

correctivas o mejoras; involucra mayores retos en la tecnología y hace su implementación algo poco recurrido en los métodos de ecoeficiencia.

1.1.1 Ventajas de la ecoeficiencia

La ecoeficiencia promueve la implementación de conocimientos para sustituir el uso de una mayor cantidad de materiales que terminarán generando un mayor número de desperdicios. Como parte de la sustentabilidad que fomenta, apunta a trabajar en ciclos de producción cerrados; es decir, que los residuos puedan ser reintegrados a los sistemas naturales de los que fueron extraídos o que se vuelvan un recurso intermedio para la fabricación de otro producto.

Actualmente, junto con el incremento en la concientización de los problemas ambientales a un nivel global en la población, la demanda de productos y servicios se están volcando a bienes duraderos y que sean ambientalmente menos impactantes o que tenga esta ventaja competitiva sobre otros que no lo son. A esto último, el desarrollo de nuevas tecnologías y productos más duraderos y funcionales agregan valor a los productos y servicios de las empresas.

Desde un punto de vista económico, la WBCSD manifiesta que la ecoeficiencia busca en cierta manera a ayudar a los países desarrollados a crecer en forma cualitativa y no cuantitativa; al ofrecer servicios y funciones con más valor, minimizando los residuos y el consumo de energía. Para los países en vías de desarrollo, busca fomentar su crecimiento cualitativo y cuantitativo con el ahorro de recursos.

Actualmente son pocas empresas las que han incorporado consideraciones al medio ambiente en sus servicios o productos; y las que lo han hecho, ha sido por circunstancias que las han obligado a tenerlo en cuenta, cuando las situaciones requieren ya acciones correctivas; las que en la mayoría de los casos se dan de manera apresurada, y sin la integración de actividades preventivas o de una gestión ambiental.

Aunque este sigue siendo el enfoque de muchas empresas en los aspectos ambientales, la tendencia es que se incorpore una sensibilidad ambiental por medio de las ventajas que tiene el reducir los impactos ambientales en la generación de bienes y servicios; persiguiendo soluciones integrales y rentables que ofrezcan al mismo tiempo una buena expectativa económica mediante la innovación (Muys, 1997).

Esta es una de las principales ventajas generales de un SGA integral que incorpora prácticas ecoeficientes sobre otras medidas como las mencionadas de "final de tubo". Por ejemplo, la implementación de medidas preventivas para procesos más eficientes en el uso de recursos puede generar (en corto y largo

plazo) beneficios que se reflejarán en una rentabilidad mayor (Figura 1.1) [SEMARNAT, 2008].

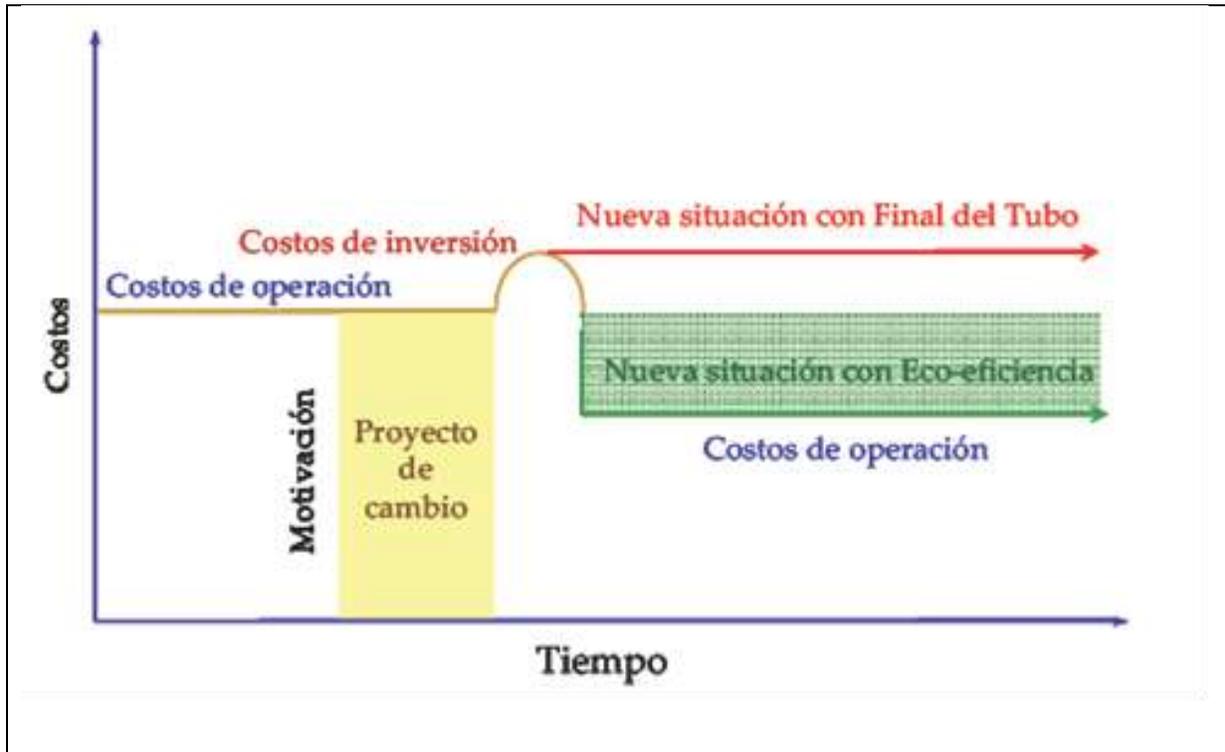


Figura 1.1 Diferencias entre costos de operación entre alternativas de ecoeficiencia y medidas tradicionales.

Fuente: SEMARNAT, 2008

El implementar alternativas de ecoeficiencia puede ser por motivaciones internas (iniciativa para cambio de imagen) o externas (autoridades, presión por quejas, exigencia de algún cliente, etc.) de la empresa. Las acciones tomadas como “final de tubo” generan un costo fijo para la contención de la situación una vez generado el daño o contaminación. En cambio, las consideradas en el contexto de ecoeficiencia reducen los costos y generan ahorros, ya que buscan la eficiencia de procesos, minimizando desperdicios y evitando contaminación.

La competitividad ambiental es uno de los mayores beneficios que se obtienen al incorporar estos factores a sus procesos, beneficios tales como:

- Proyección en el mercado (nacional o internacional) de contar con productos de mínimo impacto ambiental.
- Desarrollar estrategias para la reducción de costos en el consumo de recursos y energía.
- Prevención de demandas o contingencias ambientales a futuro.
- Mejora de las relaciones con el entorno social y del ambiente de trabajo

También existen beneficios por la prevención de problemas y riesgos:

- Exigencias en materia de legislación ambiental.
- Incremento de costos por infracciones o impuestos ambientales, multas, etc.
- Riesgos como accidentes de trabajo que resulten en cierre o paro de la empresa.
- Barreras para la exportación o comercialización de productos por contar con estándares ambientales arriba de los nacionales.
- La preferencia de los clientes y consumidores de servicio hacia productos “más verdes” o ambientalmente amigables.

De esta manera, la aplicación de la ecoeficiencia se da en diferentes niveles como parte de la estrategia integral de la empresa; y, dependiendo el nivel en el que se aplique, se genera el tipo de beneficio; podemos aplicar como medidas preventivas en un proceso conocido, en productos, o en los servicios que se emplean o se prestan. Las estrategias pueden ser aplicadas de manera previa o posterior al SGA, para la internalización de los aspectos ambientales de la empresa y englobarlos en las actividades principales y que no sean tratados como aspectos independientes, sino como soluciones globales e integrales.

1.2 El ecoposicionamiento

El ecoposicionamiento de una empresa es su postura con respecto a su entorno e impacto ambiental, y forma parte de las ventajas de la ecoeficiencia. Las razones que llevan a buscar este posicionamiento son principalmente cuestiones políticas, requerimientos legales, demanda de los clientes, competencia y ética empresarial, entorno social, trabajadores; entre otros factores. El ecoposicionamiento busca introducir a la empresa políticas ambientales a través de aspectos de calidad, ahorro, proyección de imagen, oportunidades de negocio y, consideraciones de tipo ético y social [Ludevid, 2000].

Para tener este posicionamiento, debemos contar con valoraciones ambientales para detectar y evaluar las actividades que generan los mayores impactos ambientales y analizar las posibles soluciones técnicas; también debemos tener la valoración económica de los costos y beneficios que conlleva el aplicar las soluciones a las que llegan.

Estos análisis se logran con las diferentes herramientas que se manejan para la ecoeficiencia, de las cuales hablaremos en el siguiente capítulo.

1.2.1 Estrategias ambientales

Una vez que la empresa busca su ecoposicionamiento, procede a la planificación de su estrategia para la gestión ambiental; la cuál surgirá de las tendencias y

demandas ambientales del entorno. La estrategia debe incluir las regulaciones obligatorias y voluntarias (legislación vigente y normas de cumplimiento voluntario), presiones y requerimientos de clientes o competidores, así como las áreas de oportunidades (ahorros, productos o servicios nuevos).

Un análisis de la situación interna de la organización de la empresa respecto al medio ambiente ayuda a detectar los impactos ambientales y ventajas competitivas [Guía, 2000]. Ambos análisis dan la fotografía de la situación dentro y fuera de la empresa, y definen la estrategia ambiental por llevar a cabo.

La estrategia ambiental de la empresa consiste básicamente en establecer los mecanismos para aprovechar los puntos fuertes y las oportunidades procurando reducir, en lo posible, los impactos negativos de las debilidades internas o las amenazas del entorno [Ludevid, 2000], derivadas de los análisis realizados en específico para la detección de estos.

1.3 La ecoeficiencia y su relación con el desarrollo sustentable

El desarrollo sustentable (o sostenible) fue definido, por primera vez, como: "el desarrollo que responde a las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras" [Brutland, 1987], siendo el desarrollo del beneficio económico y social sin el deterioro del medio ambiente ni de los recursos naturales de los cuáles dependen las actividades humanas y el desarrollo del presente y del futuro.

Existen una serie de principios básicos aceptados internacionalmente que conforman el modelo del desarrollo sustentable: el derecho a una vida saludable, el derecho de aprovechar los recursos naturales ordenadamente, la cooperación internacional, la prevención, la erradicación de la pobreza; entre varios otros. Los conceptos en los cuales se mueve este desarrollo son el de las "necesidades" de los seres humanos y el de las "limitaciones" de la capacidad del medio para responder a las primeras en condiciones actuales y en un futuro [Guía, 2000].

Dentro de los sistemas productivos, la satisfacción de necesidades y la relación que tienen con la limitación del medio para cumplirlas es considerada un elemento de primer orden en el diseño de estrategias ambientales de las empresas.

Como hemos mencionado, la ecoeficiencia es una estrategia que aplicada permite alcanzar el objetivo general del desarrollo sustentable.

Existen otras herramientas como la producción más limpia y los sistemas de prevención de la contaminación; como describiremos en el capítulo siguiente, la ecoeficiencia es una estrategia ambiental con carácter preventivo y de integración, enfocada hacia procesos productivos, productos y servicios; para reducir costos,

mejorar prácticas administrativas y de operación, incentivar innovaciones tecnológicas y reducir los riesgos relevantes al ser humano y al medio ambiente, a través de una serie de herramientas aplicables a diferentes necesidades y objetivos por implementar en una empresa o sector para el mejoramiento de los recursos, beneficios económicos y minimización de impactos ambientales.

2 Herramientas de ecoeficiencia

Las herramientas de la ecoeficiencia son técnicas concretas que permiten obtener y combinar información, para tomar decisiones sobre cambios en la operación de una organización. Se clasifican de acuerdo con el propósito de su aplicación y de la información que proporcionan, algunas de ellas son aplicadas de manera sistemática o secuencial; es decir, la aplicación de unas darán información para el desarrollo de otras [SEMARNAT, 2008]. En este capítulo, describimos las herramientas más importantes de la ecoeficiencia, sus generalidades y aplicaciones específicas; mientras que en el capítulo 3 se presentan casos de la implementación de estas herramientas en el sector transporte, así como las metodologías empleadas.

La aplicación de la estrategia ambiental depende de las particularidades de la empresa y del proceso. La identificación de estas, determinará la herramienta relacionada a la etapa; es decir, si es de planeación, implementación, revisión o de mejora (continua), en las prácticas y tecnologías de la empresa (Figura 2.1).

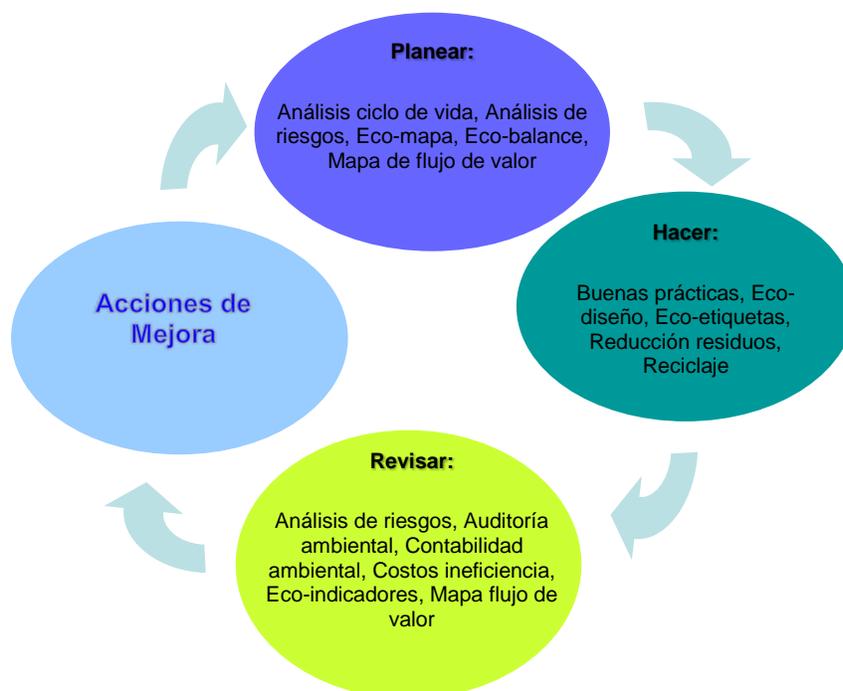


Figura 2.1 Ciclo de Mejora Continua

Fuente: SEMARNAT, 2008

La ecoeficiencia busca implementar acciones y opciones concretas que contribuyan a la competitividad de la empresa, las cuales dependerán de sus particularidades. La identificación de estas particularidades se logra a través de la aplicación de técnicas concretas que nos den información para la toma de decisiones sobre cambios en la operación de una organización.

Las herramientas son los instrumentos para definir el estado ambiental y económico del producto o proceso, del cual podemos establecer los objetivos de las alternativas preventivas a instrumentar. Ya que las herramientas son aplicadas con diferentes objetivos y funcionan a diferentes niveles, algunas son utilizadas en la planeación, implementación, evaluación o en la revisión de las opciones preventivas. Todas estas herramientas integrarán la estructura básica del sistema de gestión ambiental.

Estas herramientas pueden clasificarse en tres grupos principales para facilitar su aplicación; se clasifican según:

- Su función: de acuerdo con el objetivo que buscamos alcanzar, relacionado con el ciclo de la gestión medioambiental:
 - a) apoyo a la gestión de la empresa,
 - b) diagnóstico ambiental de procesos y productos,
 - c) priorización de temas o
 - d) mejoramiento de productos o procesos.
- Tema de análisis: estas pueden ser enfocadas:
 - a) al entorno,
 - b) a la totalidad del desempeño de la empresa,
 - c) a la cadena de producción,
 - d) al proceso y
 - e) al producto.
- Tipo de resultados:
 - a) Cuantitativas, que pueden ser de datos absolutos o relativos y
 - b) las cualitativas, que solo identifican el impacto pero no lo cuantifican.

Esta clasificación ayuda a conocer cómo y bajo qué condiciones podemos emplear una herramienta.

A continuación describimos cada una de estas.

2.1 Análisis del ciclo de vida

Dada la consideración que el impacto ambiental de un producto inicia desde la extracción de las materias primas que intervienen en su proceso de producción, pasando por varias transformaciones en el fabricante, envasador y distribuidor para finalmente llegar a un consumidor; una vez consumido, este producto se convierte en un residuo que debe gestionarse adecuadamente. Así, se busca que el impacto generado de los productos generados sea reducido de manera integral, reduciendo sus propios consumos y emisiones, considerando los impactos que

también generan los proveedores, distribuidores y consumidores; dado a que incluye la disposición que se dé a los residuos una vez consumido los productos.

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una herramienta que hace posible evaluar el impacto ambiental de un producto, proceso o actividad a través de la identificación de flujos de energía y materiales, evaluar su consumo, emisiones generadas y la valoración de las posibles mejoras al medio ambiente. El análisis abarca el ciclo de vida completo; es decir, desde la producción de materias primas, fabricación, transporte, distribución, uso, reuso, mantenimiento, reciclado de materiales y disposición final o confinamiento [Stripple, 2001]. El ACV permite estudiar los subsistemas que interactúan en un sistema más complejo de una manera simplificada, haciéndolo una de las herramientas más importantes para la toma de decisiones en materia medioambiental; sin embargo, por el alcance que tiene, no las analiza a detalle, para ello nos basamos en otras herramientas de la ecoeficiencia.

Busca integrar los impactos ambientales desde el origen de un producto hasta su destino final después de su uso; el ACV no es un concepto nuevo, ya que surge desde la armonización internacional y estandarización de metodologías (ISO); contiene el mismo marco aunque hay una diferencia entre la terminología, métodos y principios empleados, es la base de los trabajos que se están realizando con base en esta estructura. El ACV es la técnica para identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. Es la recopilación y evaluación sistemática de procedimientos, entradas y salidas en materia y energía, y de los impactos ambientales potenciales atribuibles de manera directa al desempeño de los productos a lo largo de su vida útil y no útil [Astrup et al., 1998]. Esta cadena es conocida también como “desde la cuna a la tumba”.

El ACV es un instrumento que permite analizar los aspectos ambientales de un producto o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida, objetivamente; desde la obtención de la materias primas, pasando por su producción y posterior vida útil, hasta su muerte como residuo, incluyendo los procesos de transporte y otros que estén relacionados con ello. Esta valoración permite tomar las decisiones adecuadas en función de la finalidad con la que se aplica. El ACV es empleado en el diseño ecológico para productos y servicios, para la elaboración de los criterios por cumplir para las etiquetas ecológicas, como fuente de información para la implantación de sistemas de gestión ambiental.

Este análisis es muy útil en estudios comparativos entre productos análogos (diferente origen o composición y misma función) y en casos donde requerimos obtener información sobre el comportamiento ambiental de un producto o servicio. Básicamente los estudios del ACV constan de cuatro fases:

1. Definición de objetivos y alcance, especialmente la unidad funcional y sus límites

2. Inventario (recopilación de la entradas y salidas relevantes de un sistema)
3. Evaluación de impactos de estas entradas y salidas
4. Interpretación de resultados

Para su desarrollo existen manuales metodológicos, guías, bases de datos y software para cuantificar el impacto de cada uno de los aspectos ambientales como: Simapro, Team, Eco-it, Ecoscan, entre otros. [Remmen, 2007].

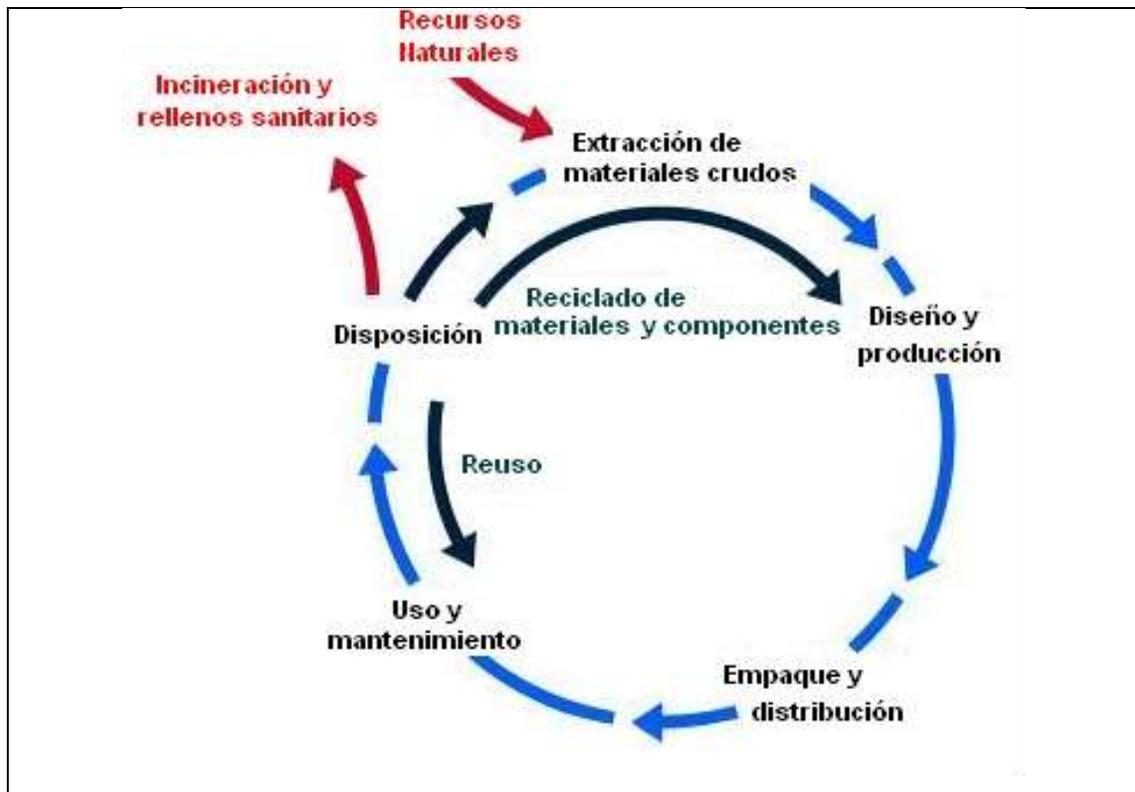


Figura 2.2 Ciclo de vida (sistema) de un producto y las etapas que lo componen.

Fuente: Modificado del original de Remmen, 2007.

La Figura 2.2 describe el ciclo de vida de un producto (algunas veces conocido también como sistema), el cual típicamente comienza en la extracción de materiales de los recursos naturales, como la explotación y generación de energía, forman parte del ciclo. Las demás partes que la componen son el diseño y producción, el empaque y distribución, el uso del producto y el mantenimiento, y en su disposición la posibilidad de su reuso o de reciclado (total o parcial).

2.2 Análisis de riesgo

El análisis de riesgo (AR) se refiere a la identificación de situaciones que presenten contingencias; no sólo en la producción, sino también en la comunidad o nicho donde es utilizado un producto o servicio [SEMARNAT, 2008]. El análisis surge de la gestión de los riesgos ambientales y de su posibilidad de que ocurran, calculando su magnitud y efectos sobre el medio ambiente; como por ejemplo la explosión en instalaciones químicas, derrame de materiales, etc. Dentro de la empresa, el AR debe incluir las fases de desarrollo, desde su inicio e instalación hasta su desmantelamiento; este análisis multidisciplinario debe incluir la toxicología, la epidemiología, la ingeniería, la psicología, la higiene industrial, la seguridad ocupacional, la seguridad industrial y la evaluación del impacto ambiental, entre otras [Peña, 2001], así como la elaboración de planes de emergencia (interiores y exteriores) casos de emergencia y capacitación del personal; entre otras cosas.

El AR es una herramienta completamente preventiva; donde, a través del diagnóstico y de la priorización de ocurrencia, califica cualitativa y cuantitativamente las actividades dentro del funcionamiento de la empresa. Para hacer un buen uso de los resultados de la evaluación del AR, buscamos puntos específicos para lograr el análisis [Universidad de Arizona, 2001]:

- La introducción o el descubrimiento de una sustancia en el ambiente
- La exposición ocupacional a una sustancia o radiación
- Contaminación del aire, tanto en espacios interiores como en el ambiente exterior
- Disposición de residuos peligrosos
- Producción, manejo y transporte de sustancias tóxicas

Para la identificación de riesgos se realiza un listado de los factores encontrados en la empresa, evaluando el riesgo por presentarse, su recurrencia, severidad y la probabilidad a afectar la salud humana o el medio ambiente; la evaluación individual puede ser por la percepción exclusiva del riesgo o el costo - beneficio de la actividad que lo implica. Una base inicial y recomendada es partir de la legislativa ambiental para la que aplica las actividades de la empresa, un adicional a esto es la responsabilidad civil ambiental contenida en las políticas ambientales de la empresa.

El suministro de información y la comunicación son la principal base de esta herramienta, lo que hace que su éxito sea garantizado por un sistema de información efectivo. Un complemento de esta herramienta son las auditorías ambientales.

2.3 Ecomapa

El ecomapa es la visualización de la realidad física de las actividades y los impactos ambientales involucrados en la empresa, que serán analizados. Esta es una de las herramientas más sencillas y de fácil aplicación que pueden aplicarse por medio del uso de figuras para la identificación de prácticas y problemas. Por su función, los ecomapas son herramientas de diagnóstico que integramos a los procesos individuales como un todo, y aun sus resultados son de tipo cualitativo; una de las ventajas de su uso es que cualquiera puede usarlo como apoyo a su trabajo y entrenamiento, sin necesidad de utilizar procedimientos complicados; lo que facilita su aplicación [SEMARNAT, 2008].

Un ecomapa consta de varias "capas" de acuerdo con el tema de interés, y después se traslapan en un mapa integral para la identificación de todas las entradas y salidas, y sus peligros potenciales; los que una vez localizados, pueden ayudar a elaborar mapas más específicos para cada caso. De acuerdo con el recurso, los ecomapas generalmente son:

Mapa del vecindario: sitúa a la empresa en su contexto rural o urbano, y su actividad productiva. Los aspectos claves son la interacción de la empresa con sus vecinos, el uso del suelo (de acuerdo con lo reglamentado), la generación de tráfico debido a la actividad de la empresa y la situación general de la compañía en la vecindad; aparte de identificar los puntos de conflicto con la comunidad, en caso de que existan.

Mapa de agua: se identifican todos los puntos de consumo y descarga; procesos donde se contamina y con qué, accidentes, desperdicios, malas prácticas, así como ahorros potenciales; también podemos identificar potenciales contaminaciones por almacenamientos o áreas inadecuadas.

Mapa de residuos: muestra el manejo de los materiales y dónde se generan residuos, así como las alternativas de prevención y minimización; son identificadas las áreas de almacenamiento de materias primas, almacenamientos temporales, lugares de disposición, dirección de los flujos, tipo de residuos y subproductos, así como la cantidad de los generados.

Mapa de energía: consumos de energía en los procesos, sitios de iluminación excesiva, pérdida de calor, maquinaria con exceso de capacidad y requerimientos energéticos especiales, conexiones defectuosas y emisiones por uso de energía; así como generación de la misma en caso de existirla. Se describen también los tipos y la cantidad de energía que se consume en las instalaciones.

Otros: dependiendo de los puntos críticos de la empresa, podemos realizar mapas de ruido, calidad del aire, entre otros.

Debemos emplear símbolos con un significado claro, para diferenciar las diferentes situaciones dentro de la planta. Una vez elaborado el ecomapa con la información de los procesos, debemos diseñar un programa de trabajo en donde sean planteadas las soluciones a los problemas detectados. Sobre todo en las revisiones ambientales, el ecomapa ayuda a tener una idea inicial de las prioridades ambientales de la empresa.

La figura 2.3 muestra un ecomapa realizado para las instalaciones del Instituto Mexicano del Transporte, para el análisis de puntos críticos con respecto a energía eléctrica, agua, agua tratada, uso de energéticos (gasolina, diesel, gas LP), consumibles de oficinas, residuos peligrosos y no peligrosos.

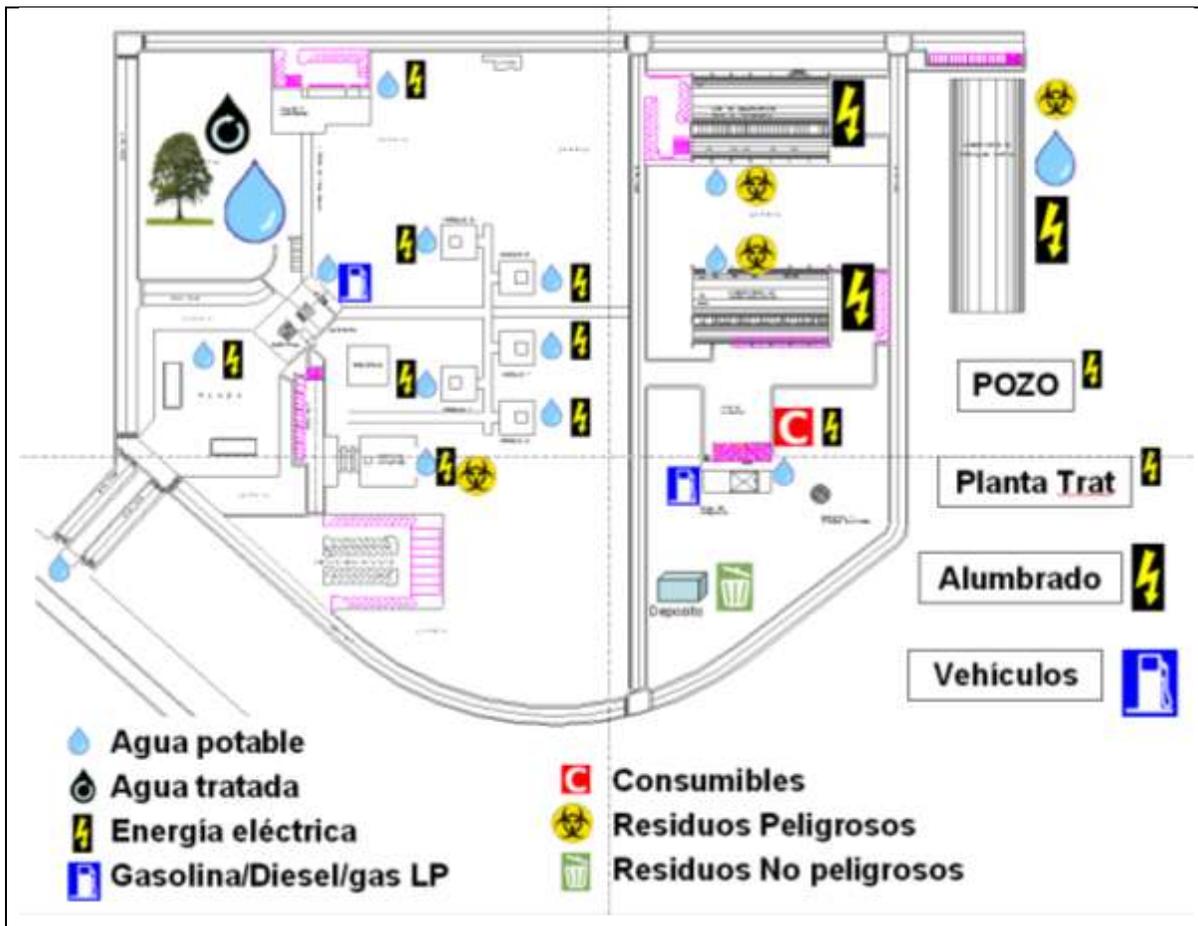


Figura 2.3 Eco-mapa del Instituto Mexicano del Transporte.

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Dentro de la evaluación de estrategias para la ecoeficiencia, reducción de costos y administración ambiental esta el balance de entradas y salidas de energía y recursos en un proceso o ciclo de producción, dando seguimiento a cada aspecto para identificar ahorros, desperdicios o mejoras.

2.4 Ecobalance

Un ecobalance se refiere al consumo de energía, recursos y la contaminación causada por el ciclo de producción de determinado producto; por ejemplo un pavimento asfáltico.

El ecobalance requiere la recopilación y organización de datos para la identificación de las áreas que necesitan una mejora en su desempeño ambiental. El ecobalance está estrechamente ligado al ecomapa, ya que se basa en los flujos de recursos, materias primas, productos, subproductos y residuos hacia el exterior e interior de los procesos durante un cierto período.

A diferencia del ecomapa, el ecobalance va sobre un proceso u operación unitaria del ciclo productivo, como caja negra, y determina lo que entra y lo que sale de esta. Primeramente, hay que identificar y evaluar los aspectos ambientales de las materias y energía, y –segundo- los aspectos relacionados de manera indirecta con el ciclo productivo.

Para el desarrollo de un ecobalance, requerimos información específica de:

- Materia prima: cantidades, tipos de materiales, propiedades, etc.
- Energía: cantidades consumidas y tipo de energía utilizada
- Aditivos: materiales necesarios para el proceso de transformación pero que no forman parte del producto final
- Residuos sólidos: cantidades y los diferentes tipos
- Residuos líquidos: cantidades, concentraciones y diferentes tipos de vertimientos, así como distinción entre soluciones y suspensiones
- Residuos de gases: cantidades y tipos de emisiones
- Producto terminado: identificación del producto principal del proceso

La información requerida debe provenir de fuentes confiables para que los resultados del eco-balance se encuentren bien sustentados.

2.5 Mapa de cadena de valor

El ecomapa y el ecobalance ayudan en el análisis de entradas y salidas en un proceso, pero existen casos en los cuales es necesario conocer el comportamiento de un solo material o sustancia en su paso por diferentes procesos. Los mapas de cadena de valor son análisis donde verificamos el flujo de sustancias o de materiales y la información que tienen en una planta industrial o en un conjunto de empresas vinculadas en una cadena de producción.

Esta herramienta busca reducir los costos asociados que están relacionados con aspectos como la sobreproducción, el mantenimiento de inventarios, los tiempos de espera, el transporte, defectos o fallas de calidad, reprocesamiento y movimientos innecesarios; todos ellos originan además residuos y desperdicios. Existen actividades que agregan valor al producto y otras que no, como lo son los tiempos de espera en las líneas, almacenamientos, etc.

Uno de los primeros pasos del mapa de flujo de valor es identificar estas actividades mediante un recorrido de planta, en donde incluimos actividades que muchas veces no están dentro de las hojas de proceso. Con esta información son analizadas las mejoras para reducción de tiempos y así reducir movimientos innecesarios en los procesos de producción o entrega de productos. Una vez identificados, son incluidos en un nuevo mapa “a futuro” y tomados como un objetivo por alcanzar para generar planes de acción para los cambios de las operaciones en la empresa. Cuando este nuevo estado de mejora es alcanzando, trabajamos en un nuevo mapa a futuro, con sus respectivos planes de acción para lograr la mejora continua dentro de la empresa y los procesos.

2.6 Ecodiseño

El ecodiseño puede ser definido como la “integración de los aspectos medioambientales en el diseño del producto con la finalidad de mejorar su comportamiento medioambiental a lo largo de todo su ciclo de vida” [C.E., 2005]. Consiste en incorporar criterios ambientales durante el diseño y desarrollo de productos y servicios, también tomamos en cuenta otros criterios igual de importantes como los relativos a la calidad, legislación, costos, funcionalidad, durabilidad, estética, salud y seguridad. Los productos ecodiseñados tienden a un mejor comportamiento ambiental y una calidad al menos tan buena como su equivalente en el mercado.

Esta herramienta adopta una visión integradora de la relación entre los productos y servicios y el medio ambiente, a través del ciclo de vida de los productos [SEMARNAT, 2008], se caracteriza por la reducción de los materiales utilizados, la fácil identificación de sus componentes para un posterior reciclaje, el empleo de materiales fáciles de limpiar, reparar y reutilizar; la eliminación o mínimo uso de materiales tóxicos, la eficiencia en el uso de energía y recursos, y la aceptación y reutilización total o parcial del producto en la etapa final de su ciclo de vida por parte de la empresa.

En resumen, es la incorporación de los aspectos ambientales en la etapa de definir el diseño de un producto, reduciendo la carga ambiental asociada al ciclo del producto.

Un producto ecodiseñado integra acciones de prevención y minimización de los impactos ambientales asociados al producto en la etapa de diseño o rediseño y lleva acciones orientadas a la mejora ambiental del producto, en la etapa inicial de diseño; por medio de su función, selección de materiales menos impactantes, aplicación de procesos alternativos, mejora en el transporte y en el uso y la minimización de los impactos en la etapa final de tratamiento.

El ecodiseño se caracteriza por la reducción de los componentes y de materiales utilizados, la fácil identificación de los diferentes componentes para facilitar su posterior reciclaje, la utilización de materiales fáciles de limpiar, reparar y reutilizar; la eliminación de los materiales más tóxicos asociados al producto, la ecoeficiencia en el uso de energía y recursos y la aceptación y reutilización total o parcial del producto en la etapa final de su ciclo de vida, por parte de la empresa.

Además de los aspectos mencionados, un producto ecodiseñado debe incluir la satisfacción del consumidor utilizando la menor cantidad posible de materia y energía para obtener las máximas prestaciones y una mayor reducción de su impacto ambiental. En resumen, las líneas básicas del diseño con criterios ambientales son el orientar el diseño hacia el reciclaje y la reutilización, facilitar el desmontaje y el desarme; reducir, simplificar y estandarizar los materiales, su identificación y, por último, productos reutilizables.

2.7 Benchmarking

El benchmarking es una herramienta de mejora basada en la continua identificación, entendimiento y adaptación de las prácticas y procesos más destacados que existen dentro y fuera de una empresa. El benchmarking se realiza generalmente a nivel empresarial, ya que los procesos empresariales son básicamente los mismos de un sector a otro. Implica la comparación de ciertas prácticas, tomando parámetros medibles y comparables entre empresas o compañías cuyo rendimiento ha sido destacado en estos. El desarrollo del benchmarking es un trabajo de acción repetida y continúa, que involucra la respuesta en conjunto y común de otras organizaciones, para conseguir resultados comparables. Aunque nace para la competitividad empresarial a finales de los años setenta [UPDCE, 2006], las herramientas de ecoeficiencia se enfocan actualmente a procesos y actividades que pueden tener mejoras y adaptaciones para reducir el impacto de estos dentro de una empresa o actividad.

En general, se basa -como otras herramientas- en el ciclo de mejora continua de Deming: planear, ejecutar, verificar y actuar [UPDCE, 2006]; proceso que lo asegura como una actividad continua, no como un proceso con inicio y fin. Al inicio de este capítulo -en la fig. 2.1- describimos el ciclo de mejora continua, mientras que la fig. 2.4 muestra el ciclo de mejora continua, más las etapas del benchmarking, las cuales son la observación y la adaptación.

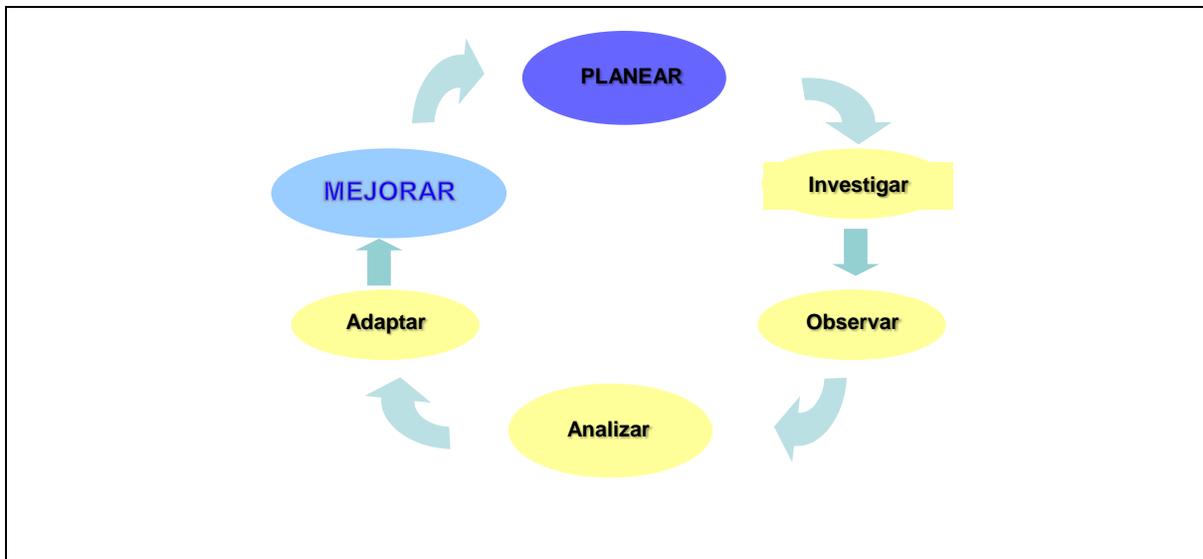


Figura 2.4 Ciclo de benchmarking basado en el ciclo de mejora continua.

Fuente: UPDCE, 2006.

El planificar es el primer paso, ya que es donde se definen objetivos, los fines y la documentación de procesos propios; los cuales involucran la reducción de los impactos ambientales, ahorro de materiales, reducción de contaminantes y uso de recursos en la producción. Investigar es encontrar aquellas organizaciones y empresas con procesos aplicables mejores y más eficientes, así como recopilación de fuentes de información y los métodos para la recolección de datos por usar, como casos de estudio donde se han aplicado otras herramientas de ecoeficiencia que han tenido éxito.

La observación es el análisis de la información obtenida en la investigación, y es donde se lleva a cabo la toma de acciones por implementar para mejorar el proceso ambiental de la empresa. El adaptar es la etapa en donde se involucra a todo el personal sobre los fines de la herramienta del benchmarking, para hacer efectiva la implementación de los cambios para la mejora. Y finalmente, mejorar es la última etapa del ciclo que debe ser aplicada a todos los niveles de la organización y marcar la mejora continua para obtener los beneficios esperados y planteados al inicio del ciclo.

2.8 Producción Limpia

Las buenas prácticas son el primer paso para la integración de sistemas ambientales en las empresas. Son un conjunto ordenado de propuestas y políticas ambientales que no involucran mayor esfuerzo o costos en su implementación, o modificaciones en sus procesos o sistemas de gestión ya existentes; en virtud de reducir el impacto ambiental de esta [Guía, 2000]. Las prácticas dentro de la empresa pueden ser para: área de oficinas, procesos productivos, almacenaje de productos, generación y gestión de los residuos, etc.; para hacerlas más específicas a cada área y hacer más eficientes los procedimientos.

La Producción Limpia (PL) se liga estrechamente a las buenas prácticas, ya que involucra la aplicación continua de estrategias integradas para la prevención de los impactos ambientales en los procesos, productos y servicios; con el objetivo de reducir riesgos para los seres humanos y para el medio ambiente, incrementar la competitividad de la empresa y garantizar su viabilidad económica. Es una nueva forma de enfocar los procesos de producción en el marco del desarrollo sostenible.

La PL permite:

- El ahorro de materias primas, agua y energía
- La eliminación, reducción o sustitución de materias peligrosas
- La reducción de cantidad y peligrosidad de los residuos, y las emisiones contaminantes

La manera de implementar la PL es sistemáticamente, a través de un sistema de gestión que involucre a toda la empresa. Los sistemas de gestión de la calidad y ambientales son un buen acercamiento. Estos sistemas ayudan a gestionar la actuación ambiental de la empresa.

En México, la PL inicia como en conjunto con los trabajos para la reducción de la contaminación en el 2000 y para el 2001 se adjunta al Plan de Desarrollo Nacional con las políticas de Producción Más Limpia [Román, 2006]. El objetivo de la PL es la elaboración y promoción de una política nacional que privilegie la prevención de la contaminación en la fuente, así como el ahorro de recursos por parte del Estado, del sector productivo y del sector social.

Uno de los objetivos es su promoción como herramienta para mejorar la competitividad, el cambio de las prácticas empresariales hacia la prevención de la contaminación; buscando estimular inversiones nuevas y más eficientes y crear incentivos para un buen desempeño ambiental y eficiencia industrial. Así como, premiar los logros industriales ambientales y las prácticas positivas, minimizando las mitigaciones en técnicas de “final de tubo”.

2.9 Auditorías ambientales

La Auditoría Ambiental (AA) es un instrumento de gestión que comprende una evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva de la eficacia de la organización; el sistema de gestión y procedimientos destinados a la protección del medio ambiente [Guía, 2000]. Tiene como función principal revisar todos los procesos involucrados en una empresa, buscando como resultado principal la optimización de estos, específicamente en el área ambiental, y con base en los parámetros establecidos por los estudios y análisis previamente hechos.

Un objetivo principal es el cumplimiento de la regulación ambiental en los niveles local, regional y nacional; y los estándares y políticas que la empresa se haya fijado. Cuando una auditoría se ha realizado, la empresa tiene capacidad para implantar mejoras para la ecoeficiencia, basadas en las conclusiones de la auditoría [SEMARNAT, 2008].

Los pasos básicos de una auditoría son la recolección de información ambiental, la evaluación de esta información y el establecimiento de conclusiones que incluyan la identificación de aspectos que deban ser mejorados. Se requiere de un equipo auditor objetivo, competente y preparado -con procedimientos definidos y documentación de todo el proceso- así como de sistemas de verificación, además del compromiso de la dirección de la empresa.

Las auditorías ambientales pueden ser clasificadas según los objetivos que las originan y el desarrollo de la empresa. En el Tabla 2.1 se muestran algunos de los principales tipos de auditoría [Manual, 1998].

Tabla 2.1 Tipos de auditorías ambientales

Tipo de auditoría ambiental	Descripción
Externa	La realiza un equipo de auditores orgánicamente desvinculados de la empresa e independientes a esta. Permite una gran objetividad de resultados.
Interna	El equipo auditor forma parte de la empresa. Permite establecer un sistema de control interno de menor costo, aunque no es tan objetivo como una auditoría externa.
Preliminar o de diagnóstico	Identificación en forma primaria de los principales aspectos e impactos ambientales, medidas de mejoramiento y mitigación, planteando el primer paso para el plan de mejoramiento y sistema de gestión ambiental.
De verificación	Que la empresa cumpla con la legislación ambiental vigente y acuerdos que regulan el límite permisible de descargas al ambiente. Este es el tipo más común de

	auditoría.
De sistema de gestión ambiental (SGA)	Evalúa los SGA implementados en una empresa (verificaciones de cumplimientos de procedimientos).
De riesgos ambientales (RA)	Identifica los RA en procesos y procedimientos; accidentes que puedan causar impactos ambientales considerables, pérdidas económicas y daños a la salud, esta auditoría es de alta rentabilidad.
De residuos	Identifica y cuantifica las líneas residuales, evalúa las prácticas para manejo y control de los residuos, y los costos asociados a estos. Busca la reducción de fuentes de generación y una mejor gestión.
De procesos	Verifica los niveles de eficiencia con que operan los procesos de transformación.
Energética	Evalúa la eficiencia del uso de recursos energéticos de la empresa, comparando la eficiencia teórica con la real, identificando mejoras potenciales en los sistemas. Identifica y cuantifica el uso de recursos energéticos.

Particularmente en México, las auditorías ambientales son llevadas a cabo por un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), que instrumenta la política ambiental establecida en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) llevando a cabo auditorías de tipo externo para la verificación del cumplimiento ambiental.

En general, la AA se enfoca en identificar los problemas principales de la empresa, para lograr un mejor desempeño. Cuando los problemas más significativos han sido resueltos, se concentra en la verificación del cumplimiento de los estándares ambientales en el desarrollo de los procesos y en la implantación de un sistema de gestión ambiental exitoso.

3 Casos de estudios de ecoeficiencia

Como describimos en el capítulo anterior, existen varias herramientas que, de acuerdo con los objetivos particulares que se persiguen o los procesos involucrados, pueden ser implementados como estrategia ambiental para alcanzar las metas de ecoeficiencia fijadas.

En este aspecto, el Sector Transporte -a nivel mundial- ha buscado la implantación de varias de estas herramientas con diferentes resultados y beneficios; los cuales, por su éxito y experiencia, son presentados y analizados a continuación.

3.1 Análisis de ciclo de vida en la construcción de caminos para la reducción de gases de efecto invernadero

Cuando se realiza un análisis para la comparación de procedimientos constructivos de infraestructura carretera en el cálculo de la magnitud sobre los impactos ambientales asociados, debemos considerar tanto los impactos de producción como los de su puesta en obra. Es crucial la consideración de todos los impactos producidos por cualquiera de los procesos involucrados en la obtención del producto; que pueden ser desde la sustitución de materiales, modificación de trazos, nuevas secciones o estructuras alternativas.

Para contar con todos estos componentes, ponemos en práctica estas herramientas de ecoeficiencia, con los objetivos de obtener los impactos producidos en la obtención de materias primas de la obra, el transporte, los sistemas de producción y la conjunción de ambos (Figura 3.1).

El análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debe ser trabajado a través de múltiples variables, con indicadores; el más conocido y utilizado es el indicador de equivalentes de dióxido carbono (Kg de CO₂ eq). Este se emplea principalmente como una aproximación sofisticada para acercarse a valores alternativos que involucran varios modos de producción empleados en las herramientas, como lo es el análisis de ciclo de vida y conteo para GEI.

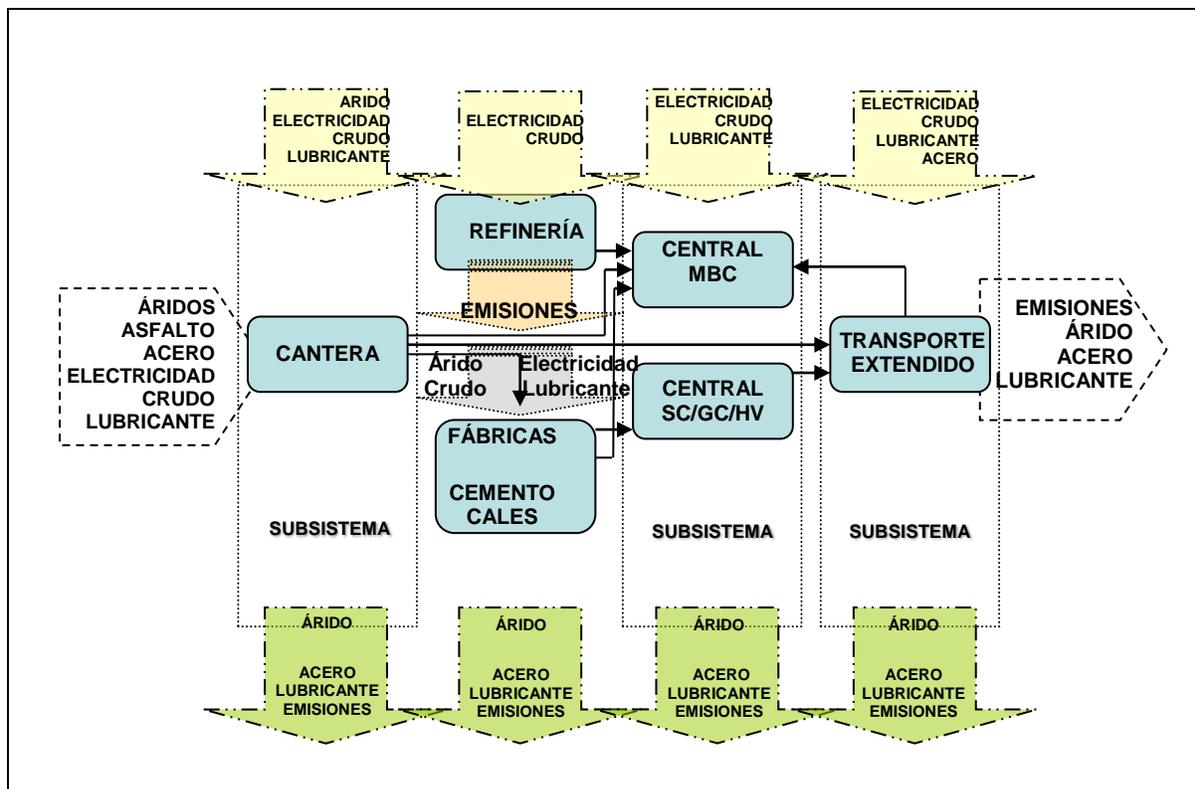


Figura 3.1 Diagrama de flujo empleado en el Análisis de Ciclo de Vida en la construcción de caminos

Fuente: Ortiz-Ripoll, 2005.

Los equivalentes de CO₂ planteados por la Agencia de Protección Ambiental de Estado Unidos (EPA), proporcionan una referencia para la evaluación de gases de efecto invernadero (GEI) para un tiempo de referencia de cien años, los cuales muestra la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Equivalente de CO₂ de los GEI.

Elemento	Potencial de calentamiento global (GWP)
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
HFC	140-11,700
SF ₄	24

El ACV recopila las emisiones totales, incluyendo emisiones en subsistemas para que el subsistema principal no tenga mayores emisiones a costa de otros. Los valores parciales a veces pueden llevar a concluir que una opción es viable si no se consideran todas las variables implicadas; un caso es el préstamo de materiales contra la utilización de estabilizadores *in situ*.

En la construcción de la carpeta en carreteras podemos comparar las siguientes prácticas, las cuales son estructuralmente equivalentes:

- sustitución de materiales hallados sobre el trazo del camino, del tipo suelo tolerable y en 45 cm de espesor, por materiales procedentes de un banco a 10 Km de distancia del tipo suelo seleccionado, y a esa distancia pueden ser depositados los materiales sobrantes
- se propone mejorar los suelos del trazo en una profundidad de 25 cm, incorporando 3% de cal apagado, en un caso, y en el otro emplear cemento, para obtener suelo estabilizado S-EST I para evitar adicionar materiales externos y transportar sobrantes

Hacer un análisis comparativo en términos de emisiones de CO₂ equivalente considerando los impactos por extracción de materiales y la disposición de residuos. Stripple, en su guía del ACV en caminos [Stripple, 2001], proporciona datos para valorar las emisiones unitarias de maquinaria y vehículos necesarios para la construcción de caminos (Tabla 3.2).

Tabla 3.2 Emisiones unitarias de maquinaria y vehículos.

EQUIPO	UD	CO ₂	CN ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
Estabilizadora WIRTGEN 2500	Hora	3.47E+2	2.20E-4	7.03E-3	3.49E+2
Dosificador WIRTGEN WM 400	Hora	6.02E+1	3.81E-5	1.22E-3	6.06E+1
Moto niveladora CAT 14G	Hora	1.16E+2	7.33E-5	2.35E-3	1.17E+2
Compactador STA 2000 D	Hora	1.45E+2	9.15E-5	2.93E-3	1.45E+2
Tractor con cuba de riego	Hora	6.31E+1	4.00E-5	1.28E-3	6.35E+1
Pala cargadora VOLVO LI80 E	Hora	6.31E+1	4.00E-5	1.28E-3	6.35E+1
Retroexcavadora LIEBHERR 944	Hora	1.10E+2	6.99E-5	2.24E-3	1.11E+2
Compactador CORINSA CC 2135	Hora	1.09E+2	6.93E-5	2.22E-3	1.10E+2
Camión IVECO AT440S43T/P	Km	1.84E+0	1.17E-6	3.73E-5	1.85E+0

También debemos considerar las emisiones generadas en la producción de materia prima como la cal y el cemento, ya que los hornos donde se produce la cal alcanzan temperaturas de hasta 1000°C y se consumen considerables cantidades de combustible para la descarbonación de la roca caliza y obtener el óxido de calcio, que posteriormente es hidratado para obtener la cal apagada. Las

emisiones de CO₂ que generan las cementeras y plantas de cal contribuyen significativamente al aumento en la concentración de GEI en la atmósfera.

La Tabla 3.3 muestra valores típicos para la producción de estas materias valorados en el ciclo de vida del cemento y la cal. En la Tabla 3.4 aparecen la comparación entre las actividades y las emisiones que se generan en la utilización de estas opciones (usar banco de materiales, o la estabilización de suelo con cal y con cemento).

Tabla 3.3. Emisiones en la producción de cemento y cal hidratada.

MATERIAL	CO₂ (Kg/Ton)	CH₄ (Kg/Ton)	N₂O (Kg/Ton)	CO₂ eq (Kg/Ton)
Cemento	8,06E+2	5,46E-5	1,64E-4	806,0
Cal apagada	1,54E+3	1,03E-5	0,00	1.540,0

Tabla 3.4. Comparación de emisiones de CO₂ eq de explanada con materiales de préstamo, estabilización con cemento y estabilización con cal por m².

EQUIPO	Kg CO₂ CON MATERIAL DE PRÉSTAMO	Kg CO₂ CON ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO	Kg CO₂ CON ESTABILIZACIÓN CON CAL
Estabilizadora WIRTGEN 2500	-	349,0	1,750
Dosificador WIRTGEN WM 400	-	60,6	0,300
Moto niveladora CAT 14G	1,170	117,0	0,590
Compactador STA 2000 D	1,450	145,0	0,730
Tractor con cuba de riego	0,635	63,5	0,320
Pala cargadora VOLVO LI80 E	0,445	-	-
Retroexcavadora LIEBHERR 944	0,777	-	-
Compactador CORINSA CC 2135	-	110,0	0,550
Camión IVECO AT440S43T/P	3,246	-	-
Cemento	-	806,0	-
Cal apagado	-	-	107,640
TOTAL Kg eq CO₂ por m³ explanada	7,733	59,850	111,880
TOTAL Kg eq CO₂ por m² explanada	3,910	15,300	23,218

De la tabla comparativa, podemos concluir que la alternativa de estabilización *in situ*, en términos de emisiones de GEI, produce un impacto ambiental hasta seis veces mayor que la utilización de préstamo de materiales, si es estabilizada con cal apagada, y hasta cuatro veces más, si utilizamos la estabilización con

cemento. Este tipo de análisis nos lleva a ver todos los impactos que no son considerados de una manera primaria, el aprovechamiento de materiales sobre el camino pueden ser alternativas que antes se habían descartado por la consideración exclusiva de la extracción o transporte.

3.2 Implementación de estrategias energéticas y de reducción de GEI

En Canadá, la energía consumida y los GEI emitidos debido a la construcción de una carretera y su mantenimiento se aproximan al 0,5 por ciento de la energía utilizada y las GEI emitidas debido a treinta años de tránsito [Chappat, 2003]. Para lograr reducir el consumo de energéticos fósiles, y por lo tanto sus emisiones, tenemos que buscar el empleo de estrategias de ecoeficiencia. Este caso está basado en estrategias implementadas en Canadá en el Sector Transporte, para la reducción en el consumo de energía y por lo tanto de emisiones de gases de efecto invernadero, basados en mejoras del estado superficial de caminos.

Las estrategias pueden aplicarse en los automóviles y camiones, buscando la mejora de estos en ingeniería de motores, mejores hábitos de manejo, y desarrollo de nuevos sistemas motores como lo son vehículos híbridos o eléctricos. Otra estrategia es reducir la resistencia de la rodadura de las llantas de los vehículos, mejorando el estado superficial (rugosidad) de los caminos.

La relación de la rugosidad y el consumo energético ha sido incluida en el análisis de herramientas de modelación como el Highway Development Management (HDM-4) [Archondo, 1994], donde fue encontrada la relación existente de los costos de operación y la rugosidad de los caminos, en una evaluación donde el consumo de combustible se veía significativamente incrementado dado el estado superficial; en este caso, dado por el índice de rugosidad internacional IRI (Figura 3.2).

El Sistema Nacional de Carreteras en Canadá establece como “buenas” condiciones de IRI menores a 2,5; entre 2,5 a 3,5 como “aceptables”, y menores a 3,5 como “malas” o “pobres”, [CNHS, 2009].

Dentro del HDM-4 se ha desarrollado una función del IRI con respecto al tiempo, cuyas variables incluyen -aparte de coeficientes ambientales y factores de calibración- la edad del pavimento en años, el número de ejes equivalentes al año y una función de ajuste estructural de tensión al camino. De lo que obtuvimos:

$$\Delta(\text{IRI}) = 0,0499e^{0.0849*EDAD} \quad \text{IRI} = 0,9595e^{0.0662*EDAD}$$

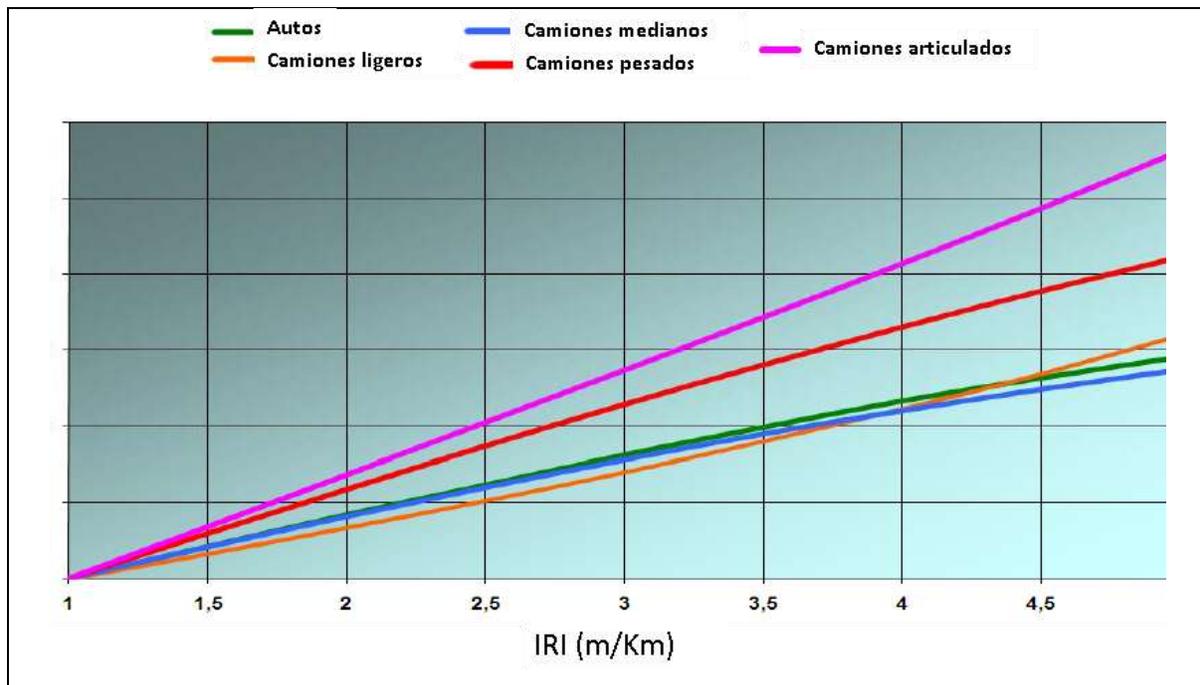


Figura 3.2 Relación consumo de combustible comparado con la rugosidad (IRI).

Fuente: Dorchies, 2009.

Donde IRI es el índice de rugosidad internacional y EDAD es el número de años que tiene la carpeta asfáltica.

En un camino nuevo, el mantenimiento para la calidad de conducción en la carretera se da por el mantenimiento de rutina (sellado de grietas) y el recubrimiento de asfalto de manera periódica (intermitentemente). En Norteamérica, este mantenimiento se da a los catorce años de edad con un IRI aproximado de 2,5. En un escenario donde el mantenimiento se realiza a los siete años, con un deterioro de IRI aproximado de 1,5, en lugar de esperar hasta los catorce años y el IRI de 2,5, podemos observar una reducción de consumo de combustible debido a este cambio en el mantenimiento.

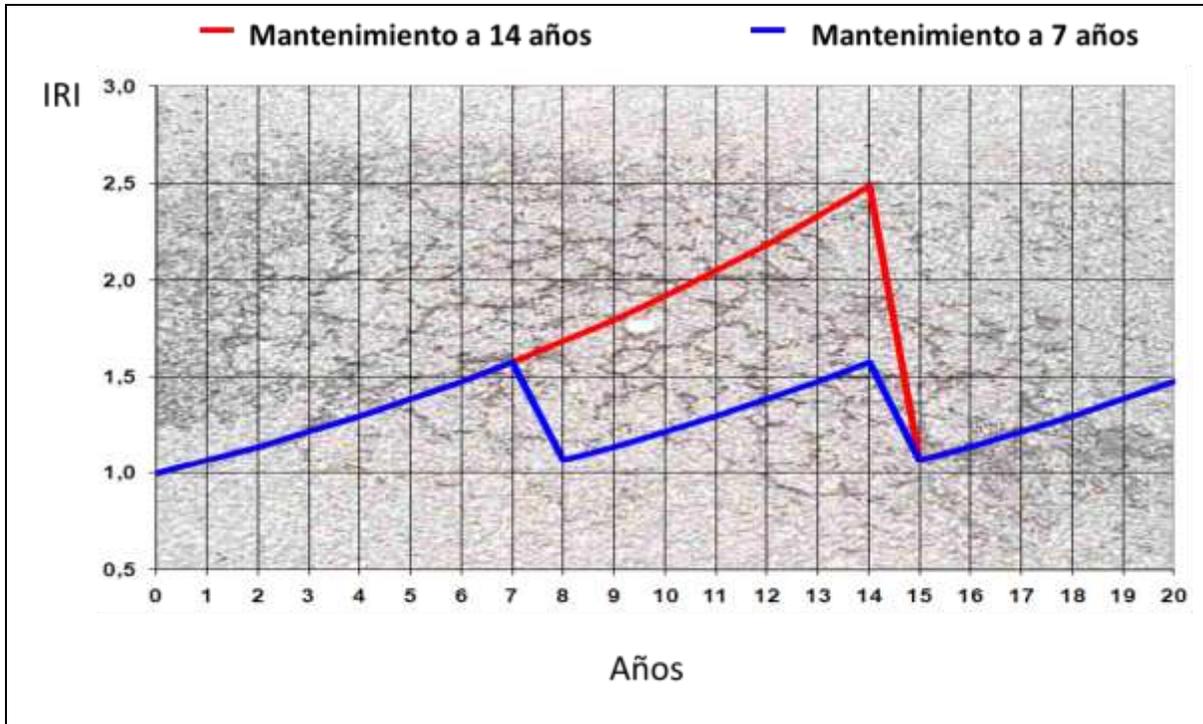


Figura 3.3 Variación de IRI para un ciclo de mantenimiento de siete y un ciclo de catorce años.

Fuente: Dorchies, 2009.

Sin considerar incrementos significativos en la flota vehicular en los catorce años, el consumo anual de combustible de los años ocho al catorce será diferente para los escenarios de mantenimiento a los siete y a los catorce años (Tabla 3.5).

Teniendo en cuenta que para un TDPA el consumo de combustible en catorce años es de 66.941 litros, ahorrar 36,46 litros, significa 0,326% de combustible. Estos litros se convierten a 580 Kg de CO₂ eq, para lo que un TDPA de 10.000 se convierten en 5.803 ton de CO₂ eq, 11.605, para uno de 20.000, y así subsecuentemente. Las herramientas informáticas desarrolladas actualmente para el cálculo de huellas de carbono, como lo es Ecologiciel de Colas en Francia, son de ayuda para conocer estas equivalencias de dióxido de carbono en proyectos carreteros.

Tabla 3.5 Incrementos en el consumo de combustible para un escenario a catorce años.

Año	Incremento en el consumo de combustible en un escenario de catorce años (%)	Incremento en litros de un TDPA
8	0,5483	26,22
9	0,5803	27,75
10	0,6138	29,35
11	0,6488	31,02
12	0,6853	32,77
13	0,7232	34,58
14	0,7625	36,46
Total		218,14

El costo para un mantenimiento típico donde el recubrimiento es de 40 mm de espesor en asfalto de mezcla en caliente (HMA) es de \$8.00 USD por metro cuadrado o \$59,200 USD por kilómetro. Y los metros cuadrados en promedio por un carril de 100 km de largo es de 370.000 m². Teniendo estos costos y el equivalente en emisiones de CO₂ por m² asfaltado con HMA, y si consideramos las superficies de una carretera en número de carriles, podemos comparar el consumo de energía para un mantenimiento a los siete contra a los catorce años, y los ahorros asociados a la mejora del IRI (Tabla 3.6) y podemos ver los ahorros totales en un mantenimiento a los siete años (Tabla 3.7).

Tabla 3.6 Comparación en ahorros energéticos y de emisiones en un escenario de mantenimiento y mejora de IRI a siete y un escenario a catorce años.

TDPA	Energía ahorrada en MJ por una mejora en el IRI entre un escenario de siete y 14 años	Energía usada en MJ por recubrimiento a los siete años en un escenario de siete años	Balance de energía ahorrada en MJ	Energía ahorrada (%) en catorce años en combustible no consumido
10 000	79 406 225	51 356 000	28 047 225	0,113%
20 000	158 806 450	51 356 000	107 450 450	0,216%
30 000	238 209 675	77 034 000	161 175 675	0,216%
60 000	476 419 349	102 712 000	373 707 349	0,250%

120 000 000	952 838 698	154 068 000	798 770 698	0,273%
-------------	-------------	-------------	-------------	--------

Tabla 3.7 Ahorros netos en un escenario de mantenimiento para siete años.

Km de carretera	TDPA promedio	Millones de vehículos por km/año	Consumo de combustible en millones de litros	Porcentaje de combustible ahorrado en un escenario de mantenimiento para 7 años	Combustible ahorrado en millones de litros.
29 993	21 193	232 011	30 393	0,216%	65.650

El resumen de la Tabla 3.7 muestra que en un ahorro anual del 0.2% en el consumo de combustible, se evita consumir 66 000 000 litros de combustible; lo que podemos traducir a no emitir 200 000 toneladas de GEI (CO₂ eq).

Por el lado económico, un ciclo de siete años en el mantenimiento de 2.150 km de carreteras incrementa en promedio \$124,000,000 USD el programa de mantenimiento anual para este rubro; sin embargo, una mejora en los caminos reduce el mantenimiento en los vehículos en \$32 USD por año en Canadá. Esto último representa un ahorro de 420 millones de dólares en mantenimiento de vehículos, partes, llantas y mano de obra; beneficio que va directamente a los propietarios de vehículos.

Además de los beneficios económicos y ambientales, la mejora del IRI en caminos conlleva a decrementos en los índices de accidentes en carreteras, en lesiones y mortalidad.

3.3 Comparación de la evaluación ambiental de una mezcla caliente y una tibia de asfalto en procesos a escala industrial utilizando el ACV

La metodología, los resultados reportados y los costos de financiamiento son factores decisivos en el empleo de nuevos materiales en pavimentos; así como en los nuevos procesos aplicados para reducir los impactos ambientales involucrados en los trabajos de carreteras.

En una comparación sobre el empleo de mezclas calientes o tibias, el enfoque es multidimensional; es decir, se toman muchos más aspectos que solo los energéticos y los procesos de mezcla en las plantas de asfaltos, sino que también

debemos considerar simultáneamente varios impactos ambientales considerando la utilidad de los procesos, y el acercamiento a la solución para las mezclas de asfalto calientes (HMA) (160°C) y las mezclas tibias (WMA) (<100°C) (Jullien y col., 2009).

Para generar un dato refinado local sobre la comparación entre mezclas de asfalto, delimitamos el sistema ambiental considerando igual cantidad y origen de agregados y de asfalto, la misma planta industrial como fuente de energía y equipo empleado.

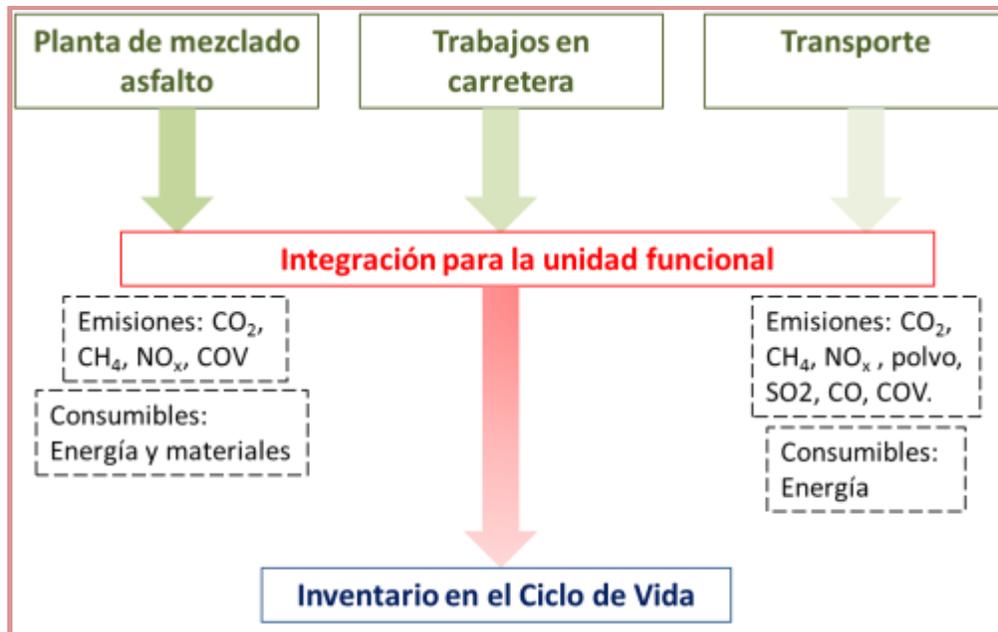


Figura 3.4 Flujo del inventario

Fuente: Jullien et al., 2009

Para evaluar y categorizar el impacto de las HMA y WMA, empleamos una herramienta informática para la comparación de construcción y mantenimiento a los caminos a través del método de módulos, llamado ECORCE. Este módulo ha sido desarrollado por el Laboratorio Central de Puentes y Caminos (LCPC) en Francia, como parte de la metodología del análisis global de los procesos de Ingeniería Civil de carreteras y es utilizado para las evaluaciones en el ACV. Esta herramienta calcula una serie de indicadores de presión ambiental para la construcción y mantenimiento de un pavimento durante su vida útil.

Los requerimientos de entrada son datos sobre el proyecto como estructuras, fórmulas, tipo de mantenimiento, método de aplicación y adjunto a esto; las posibles operaciones en el desmantelamiento una vez llegado su ciclo de vida útil. Este enfoque ayuda a definir el sistema ambiental desarrollado a este y todos los proyectos de estudio evaluados a través de la herramienta con base en las

cantidades de los materiales necesarios. Estos cálculos se refieren a bases de datos ambientales disponibles públicamente, a datos bibliográficos o generados de la propia investigación del LCPC; que es quien desarrolla esta herramienta (Ventura y col., 2009).

Los flujos del inventario generado se traducen en indicadores de presión ambiental; con la finalidad de proporcionar un conjunto de datos, objetivos y cuantitativos sobre la evaluación del impacto potencial ambiental de un proyecto de carretera. Este indicador está compuesto de un coeficiente de asignación del flujo, un coeficiente de contribución de este y la masa (cantidad).

$$I^j = \sum \alpha_i^j C_i^j m_i$$

Donde I es la categorización del impacto j , α es el coeficiente de asignación del flujo i del impacto de categoría j , C es el coeficiente de contribución del flujo i , del impacto de categoría j , y m es la masa del flujo i .

Las Figuras 3.5 y 3.6 muestran los resultados comparativos obtenidos para Energía (en Joules) y para GEI (kg de CO₂ eq.) de los dos métodos de asfalto (HMA y WMA), con los mismos flujos de materiales y condiciones de transporte iguales (distancia de 40km); las cantidades, origen de los agregados y del asfalto se suponen iguales para ambos casos, teniendo como fuente de energía la misma planta industrial y equipo empleado para los trabajos sobre el camino.

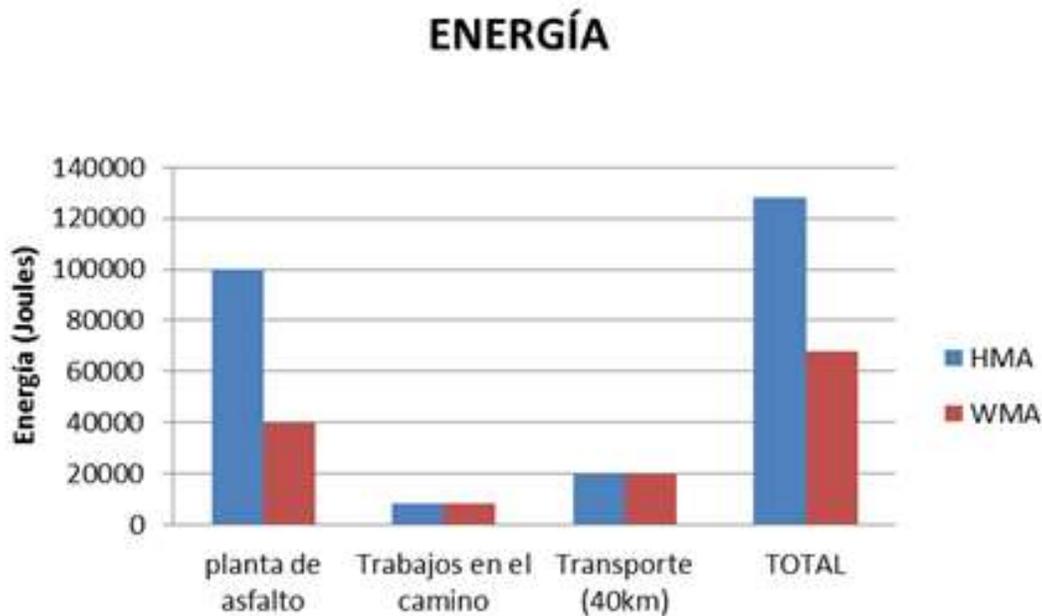


Figura 3.5 Energía consumida por HMA y WMA

Fuente: Modificado de Jullien et al., 2009

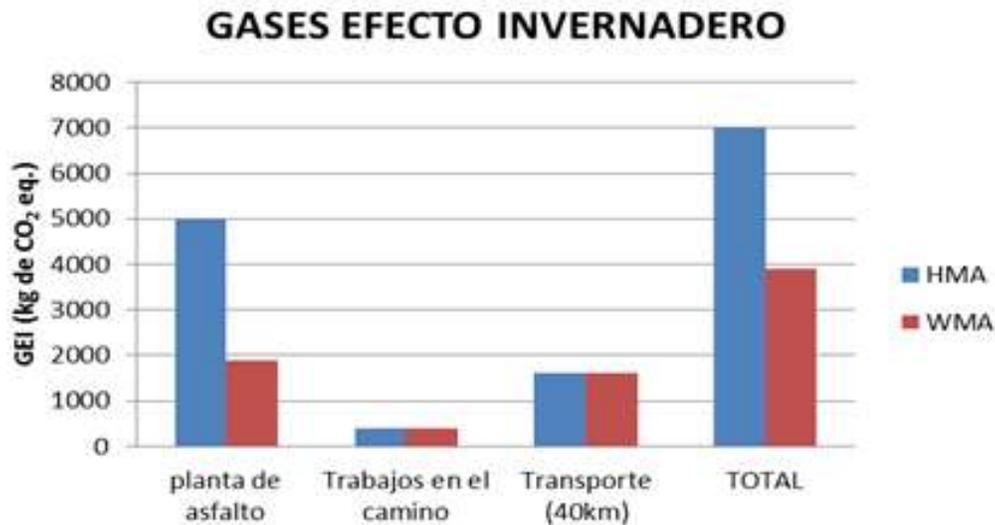


Figura 3.6 GEI emitidos por HMA y WMA

Fuente: Modificado de Jullien et al., 2009

Los datos obtenidos nos proporcionan una justificación para el cambio de metodología sobre aplicar mezcla de asfalto en caliente (HMA) (160°C) a la utilización de mezclas de asfalto en tibio (WMA) (<100°C) para la pavimentación de proyectos en carreteras, lo que nos muestra ahorros cerca del 47% en energía y 44% en GEI, ambos en planta.

Este tipo de evaluación, aunque útiles en la toma de decisiones sobre parámetros ambientales en los proyectos viales, aún tienen áreas de oportunidades de mejora en salud ambiental como lo es la determinación de toxicidad y ecotoxicidad, así como la inclusión de aditivos para las mezclas que no pueden ser incluidas en la herramienta de evaluación ya que se carece de datos.

3.4 Calculadora de GEI en la huella de carbono en la construcción de carreteras.

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

Uno de estos modelos es la calculadora de GEI para la evaluación armonizada y normalizada de las emisiones de gases de efecto invernadero para carreteras CHARGER (por sus siglas en inglés: *Calculator for Harmonised Assessment and Normalisation of Greenhouse-gas Emissions for Roads*), desarrollada por la Federación Internacional de Carreteras (*International Road Federation, IRF*) [IRF, 2009].

CHARGER permite la evaluación y monitoreo de GEI en varias etapas de los procesos de la construcción de carreteras y caminos. El principal objetivo de este modelo de calculadora es lograr beneficios tangibles a largo plazo, para la mejora del ambiente global y contribuir proactivamente a la dinámica del desarrollo de políticas para el desarrollo sustentable en la infraestructura carretera. Busca facilitar el detalle ambiental de proyectos, proveer bases para el análisis comparativo de varias técnicas y materiales empleados en la construcción; optimizar la construcción de caminos con esquemas de abastecimientos *in situ*, abastecimientos de materiales, locación y modo de transporte de los insumos (Figura 3.7) [Zammataro, 2011].

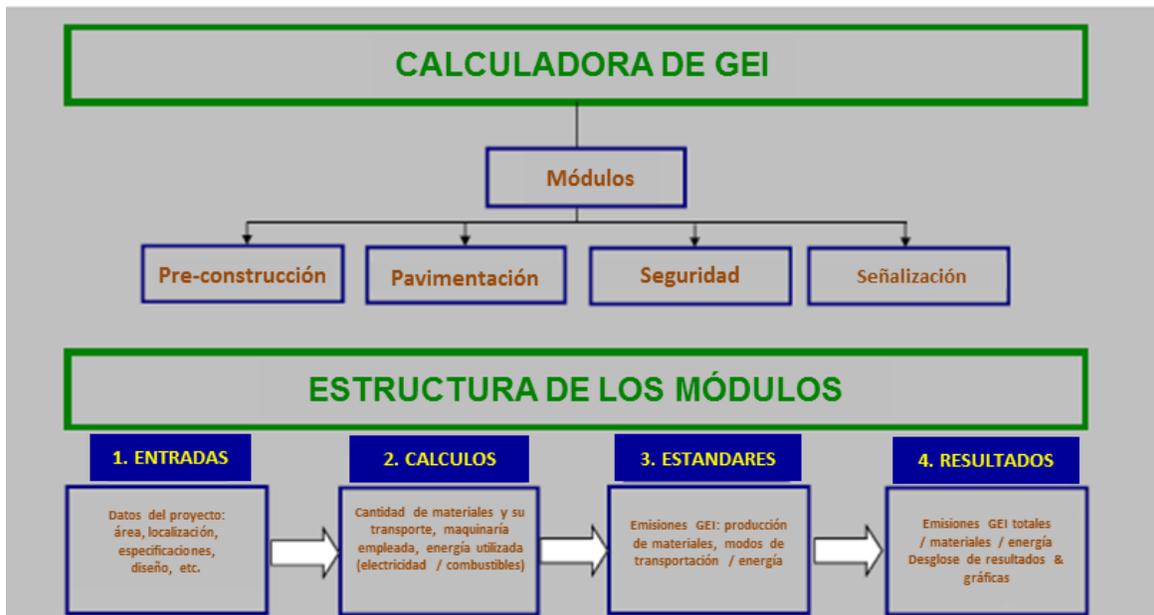


Figura 3.7 Esquema general del CHARGER en el cálculo de GEI

Fuente: IRF, 2009.

Un análisis de impacto ambiental fue realizado en el CHARGER para un proyecto de ampliación de 119 kilómetros, de uno a dos carriles de 1,5 m por sentido, con un acotamiento de 1 m en cada lado, en una zona de clima semiárido; el proyecto no cuenta con cruces de agua prioritarios, tampoco hay estructuras como puentes o pasos a desnivel. Cerca de 13 kilómetros atraviesan una reserva forestal. Debido al incremento en el ancho del camino, existen requerimientos legales y permisos para la liberación del derecho de vía [Nanda et al., 2011].

Las mejoras tienen expectativas para durar doce años, con una subbase granular (GSB) de 200 mm, 250 mm de mezcla húmeda (WMM) y un espesor que va de los 70 a los 90 mm, entre el nuevo pavimento y reforzando el existente con una capa de concreto (BC) de 40 mm, y la mejora correspondiente de drenaje. La carga de pasajeros esperada para estos doce años es de 137.816.047, y una carga de 77.120.411 toneladas.

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

Ampliación del derecho de vía (remoción de material)

Esta primera subactividad lleva acciones que incluyen excavación de materiales (suelo y material del sitio de préstamo), excavación de roca, acarreo del material excavado de y hacia el sitio, y la compactación desde la parte superior del terraplén. La cantidad de material y el combustible usado para las operaciones está incluida en el cálculo de emisiones.

La cantidad de suelo en esta subactividad sumó 901.300 toneladas, cuantificadas a través del número de acarreos realizados para esta actividad. Para manejar estas 901.300 toneladas, empleamos 12.977 horas de excavadora y 233.586 litros de diesel, a lo que el software hace la equivalencia a 918,47 ton de CO₂ eq. Aparte de estas toneladas de suelo, 739.090 ton fueron removidas del sitio y trasladadas al sitio de tiro a una distancia promedio 2,45 Km, a través de 31.813 viajes de camiones de volteo, que consumieron 313.364 litros de diesel y generaron 492,46 toneladas de CO₂ eq. El resto de operaciones para compactar, riego de agua, mezclado, etc., consumieron 645.932 litros de combustible produciendo 2.539,83 ton de CO₂ eq.

Los equipos involucrados en estas actividades, sus horas de uso y combustible son mostrados en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Actividades y equipo en la modificación y construcción de derecho de vía.

Actividad	Cantidad m ³	Uso maquinaria		
		para adicionar agua, mezclar, regar y compactación		
		Equipo	Horas uso	Combustible utilizado (L)
Construcción del terraplén usando suelo de banco de préstamo	154.967	Excavadora	4.428	53.136
		Niveladora	4.428	48.708
		Rodillo	2.214	22.140
		Riego agua	N/A	111.420
Construcción del terraplén usando suelo del sitio	35.147	Excavadora	1.104	12.048
		Niveladora	1.104	11.044
		Rodillo	502	5.020
		Riego agua	N/A	25.030
Construcción de la subrasante usando suelo de banco de préstamo	189.834	Excavadora	5.424	65.088
		Niveladora	5.424	59.664
		Rodillo	2.712	27.120
		Riego agua	N/A	135.162
Construcción removiendo y recompactando	66.235	Excavadora	1.325	15.900
		Niveladora	1.325	7.293
		Riego agua	N/A	47.159
Total	446.183			645.932

Los 645.932 litros de diesel consumidos en estas actividades generaron 2.539,83 toneladas de CO₂ equivalentes. Adicionalmente, existieron actividades previas donde se removió y fragmentó roca, la cual igualmente fue transportada fuera del área de obra. Las emisiones generadas por el trabajo de maquinaria necesaria y el diesel consumido para su transporte fue de 448,72 ton CO₂ eq

Construcción de subbase granular (GSB)

La GSB fue básicamente material triturado, 153.387 metros cúbicos de material son los que la conformaron. Cada metro cúbico equivale a 2,25 toneladas, dando 345.120,75 toneladas de material, que consumieron 240.144 litros de diesel para trituración de agregado, 945,63 ton de CO₂ son el equivalente a lo emitido. Las actividades realizadas (transporte del material y maquinaria empleada para triturado) consumió 426.075 litros de diesel y 1.675,34 ton de CO₂ eq. Para el mezclado y riego en la compactación fueron utilizados 33.617 litros de diesel, que generaron 1.311,79 ton de CO₂ eq.

Mezcla húmeda (WMM)

Empleamos 199.095 m³ de agregado para hacer la mezcla húmeda que consumió 277.071 litros de diesel y, emitió 1.091,04 ton de CO₂ eq. El transporte del material del sitio a la planta y vuelta, así como el mezclado, consumieron 1.025.549 litros de diesel y generó 4.032,5 ton de CO₂ eq. La aplicación de la mezcla y las horas de trabajo de maquinaria necesaria para la compactación generaron en total 289,14 ton de CO₂ eq.

Mezcla asfáltica

Los 102,8 Km de proyecto fueron cubiertos con una capa de mezcla asfáltica del 4,5% con espesores entre 70 y 90 mm, emplearon 399.258,88 toneladas de agregado triturado y 21.141 de asfalto. El software calculó una emisión de 21.708,52 ton de CO₂ eq., solamente de cantidad de materiales de construcción; adicionalmente el transporte de materiales empleados para estas actividades, así como las mezclas, fue de 13.914,58 ton de CO₂ eq. También sumamos lo generado por la maquinaria utilizada en la construcción, la aplicación y compactación de la capa, lo cual generó 2.264,26 ton de CO₂ eq.

Trabajos con pavimento de concreto

Las obras en casetas llevaron trabajos con pavimento de concreto, los espesores fueron de 300mm en 1:2:4, aplicado sobre 200 mm de DLC en 1:4:8, el área para cada caseta fue de 134,4 m², y emplearon un volumen de 879,36 m³ de concreto, que junto con las actividades de traslado de cemento, arena y agregados, y la aplicación de este, dan un volumen de 454,67 ton de CO₂ eq.

Resultados totales

En resumen -e incluyendo lo generado en obras de drenaje, el volumen de GEI emitidos en un proyecto de obra con las especificaciones planteadas- se generaron en promedio 594,56 toneladas de CO₂ eq por kilómetro, para el tramo de 102,8 km estimamos una emisión de 61.120,7 ton de CO₂ eq. Este dato es útil para conocer lo generado en carretera de dos carriles, para su ampliación a una de dos carriles con acotamiento.

La tabla 3.9 contiene un resumen de las emisiones por actividad llevada a cabo.

Tabla 3.9 Resumen de las emisiones de dióxido de carbono en las distintas actividades de un trabajo de mejora en carretera.

Trabajo realizado	Operación	Emisiones CO ₂ equivalente en toneladas
Ejecución del terraplén – 901.300 ton		
Obtención		918,47
Transporte		492,46
Colocación y compactación		2.539,83
Total		3.950,76
Excavación en roca y disposición – 238.433 ton		
Excavación		174,58
Transporte		274,14
Total		448,72
Triturado de roca – 850.665,29 ton		
Total		2.330,82
Subrasante granular – 345.120,75		
Obtención		945,63
Transporte		1.675,34
Colocación y compactación		1.311,79
Total		3.932,76
Mezcla húmeda macadán (WMM) – 398.190,0 ton		
Obtención		1.091,04
Transporte		4.032,50
Colocación y compactación		289,14
Total		5.412,68
Mezcla bituminosa – 399.258,98 ton		
Obtención		21.708,52
Transporte		13.914,58
Colocación y compactación		2.264,26
Total		37.887,36
Pavimento de concreto – 2.031,31 ton		
Obtención		372,05
Transporte		58,49
Colocación y compactación		24,13
Total		454,67

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

4 Conclusiones

Actualmente, las metodologías para la evaluación de la ecoeficiencia en los procesos del Sector Transporte pueden llevarse a cabo en distintas maneras; desde la aplicación de prácticas enfocadas al ahorro energético, rediseño, evaluaciones comparativas para materiales o métodos, mejoras de mantenimiento, o un sencillo análisis sobre las actividades adjuntas a un proceso principal como un conjunto de este.

El considerar todos los impactos ambientales e integrarlos al proceso de construcción, mantenimiento y operación de los proyectos carreteros ayudan a visualizar medidas de mitigación en estos, los que analizando un proceso aislado pueden llegar a omitirse.

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

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

En esencia, el Sector Transporte en carreteras y caminos está en la tendencia mundial de ser cada vez más eficiente, sostenible y más seguro gracias al desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías. Mayor seguridad en las carreteras y caminos, que se traducen en mejoras socioeconómicas y la mitigación de impactos ambientales, dando el principal servicio que es la movilidad en general; con el objetivo de continuar con el ritmo del crecimiento económico y demográfico.

Las regulaciones siguen siendo el marco central en la mejora en todos los ámbitos. El que actualmente se tenga la obligatoriedad de cumplir con compromisos internacionales, nacionales y locales en materia ambiental ha catapultado el desarrollo de proyectos en la mejora de este rubro.

En la medida que como país se sigan optando por compromisos donde evidencien el compromiso en materia ambiental, será el ritmo en que estas medidas pueden verse reflejadas en proyectos de infraestructura carretera en México.

Estimamos (Esperamos) que el presente trabajo coadyuve a la generación de investigaciones referidas a los análisis de ecoeficiencia en procesos productivos del sector transporte y en análisis de proyectos, con la finalidad de encaminar esfuerzos a la sustentabilidad ambiental.

Bibliografía

Archondo-Callao, Rodrigo S, Asif Faiz. World Bank Technical Paper Number 234. "Estimating vehicle operating costs". (ISSN 0253-7494; 234) (1994).

Astrup, A. J., et al. "Life Cycle Assessment (LCA). A guide to approaches, experiences and information sources". European Environment Agency. Serie: Environmental issues series no. 6. Copenhagen, Dinamarca (1998).

Biasco, E. "Ante el primer decenio de la conferencia de Río de Janeiro sobre el medioambiente y el desarrollo", Preparación de la Cumbre Mundial sobre el desarrollo sostenible, Johannesburgo (2002).

Brundland, G. H. *Nuestro futuro común*. Documento de las Naciones Unidas. Oxford University Press. Alianza Ed. 1988. Madrid (1987)

Canada's National Highway System. Condition Report. Council of Ministers Responsible for Transportation and Highway Safety. (2009) [CNHS].

Chappat M, Bilal J. *The Environmental Road of the Future: Life Cycle Analysis*. Colas SA, Paris (2003).

Dorchies, P. T. 2009. "Strategies for road maintenance: Energy efficiency and GHG emissions" Sustainable Development Manager 2009 Annual Conference & Exhibition. Octubre 18-21 Vancouver British Columbia (2009).

Fullana, P., Puig, R. *Análisis del ciclo de vida*. Editorial Rubes. Barcelona (1997).

Guía para la eco-ficiencia. Fundació fòrum ambiental. España. www.forumambiental.org. [Guía, 2000]

Heras, I. 2006. "ISO 9000, ISO 14001 y otros estándares de gestión: pasado, presente y futuro", Biblioteca Civitas Economía y Empresa.

Jullien, A., François, D., Lumière, L., de Larrard, D., Chateau L., *Alternative materials for roads. A national database to share knowledge*, RMPD, Vol. 11/1 pp. 203-212. (2010).

Jullien, A., Ventura, A., Moneron, P., Tamagny, P., Olard, F. y Zavan, D. *Deputy head of Division for Sustainable Approaches' in Civil Engineering*. Laboratoire Central des Points et chaussées. Public Research Institute. Multiple dimensions of the environment systemic approach. Paris (2009). [LCPC].

Ludevid, M. La gestión ambiental de la empresa. Ariel Economía. Barcelona (2000).

Manual de Auditoría en Producción Limpia. Secretaría Ejecutiva de Producción Limpia. Ministerio de Economía. Chile.- Política de Fomento a la Producción Limpia (1998) [Manual, 1998].

Muys, Bart. Cleaner Production: *A Guide to Information Sources*. European Environmental Agency. (December 1997).

Nanda, P.K., Chandwar, A., Sahu, B.K..*Green-House emissions from the road project, improvement of Gomti Beawar section of NH 8"- a case study*. International Seminar on Reducing Carbon footprint in Road Construction PIARC. Technical Papers. New Delhi. pp. 27-38 (2011).

Organización de las Naciones Unidas. Kyoto Protocol: *Status of Ratification. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (14 de enero de 2009). [ONU. 2009].

Organización Internacional de Estandarización, siglas en inglés [ISO].

Ortiz-Ripoll, J. *Criterios para una valoración medioambiental de la sustitución del fíller de recuperación de lo áridos en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente*. Revista Rutas. No. 107. Madrid (Marzo – Abril 2005).

Peña, C., Carter, D., Ayala-Fierro, F. Toxicología Ambiental. *Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental*. Southwest Hazardous Waste Program A Superfund Basic Research and Training Program. Universidad de Arizona (2001).

Remmen, A., Jensen, A., Frydendal, J. *Life cycle management : a business guide to sustainability*. United Nations Environment Programme. SETAC. Editorial Nairobi. Kenya (2007).

Román M., G. J. *Políticas de Producción Más Limpia en México*. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios en Medio Ambiente y Desarrollo Instituto Politécnico Nacional. México (2006).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Taller de Liderazgo Ambiental para la Competitividad. México (2008). [CIDETEQ. SEMARNAT. 2008].

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Taller Liderazgo Ambiental para la Competitividad. Unidades de Aprendizaje. UA1 UA2. México (2008) [SEMARNAT, 2008].

Stripple, H. *Life Cycle Assessment of Road: A Pilot Study for Inventory Analysis*. Report IVL Swedish Environmental Research Institute. Second Revised Edition. Suecia (2001).

Unidad Politécnica para el Desarrollo y la Competitividad Empresarial. Documento Benchmarking. IPN. México (2006). [UPDCE, 2006]

Unión Europea. *Requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía*. Directiva europea 2005/32/CE. Diario Oficial de la Unión Europea. (2005) [C.E.]

Ventura, A., Dauvergne, M., Jullien, A., Tamagny, Ph. *Eco-comparateur routes, construction et entretien*. *Revue Générale des Routes et des Aérodrômes*. num.876. Paris (2009).

World Bussines Center for Sustainable Development. *Caso empresarial para el desarrollo sustentable*. Lograr la diferencia en la Cumbre Mundial de Johannesburgo de 2002 y en fechas posteriores. <http://www.wbcsd.org> [WBCSD, 2002].

Zammataro, S. *Assessing greenhouse gas emissions in road construction: an example of calculation tool for road projects*. International Seminar on Reducing Carbon footprint in Road Construction PIARC. Technical Papers pp. 11-17. New Delhi (2011).

CIUDAD DE MÉXICO

Av. Nuevo León 210
Col. Hipódromo Condesa
CP 06100, México, D F
Tel +52 (55) 52 653600
Fax +52 (55) 52 653600

SANFANDILA

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



**INSTITUTO
MEXICANO DE
TRANSPORTE**

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx

