

I. INTRODUCCIÓN

Las carreteras forman parte de los principales activos del país y constituyen un medio para su desarrollo económico, por lo que su análisis requiere de especial atención y debe ir dirigido bajo un esquema integral (ambiental-económico-social) que garantice un adecuado desempeño a largo plazo.

Al analizar la construcción de una vía, es posible detectar efectos perceptibles a simple vista, como cambios en el paisaje y movimientos de tierra; sin embargo, existen otros no tan perceptibles a simple vista como emisiones de energía. En este sentido, resulta de interés cuantificar la energía y las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) implícitas a lo largo del ciclo de vida de una carretera con el fin de determinar acciones alternativas que minimicen y compensen el impacto ambiental. En este objetivo, es posible utilizar técnicas como el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), en el que se recopilan y evalúan una serie de datos de entrada (materia prima, energía) y datos de salida (emisiones al aire, residuos al agua y suelo), con los cuales se estima el impacto ambiental que produce un determinado sistema de producto integrado por procesos unitarios, como es el caso de la construcción y/o rehabilitación de una carretera.

Dentro de este contexto, Costa Rica aún se encuentra incursionando en análisis de este tipo y desarrollando sus primeras experiencias. En tal propósito, este boletín pretende informar sobre la metodología del ACV, que puede ser implementada en el sector vial y brindar grandes beneficios no sólo a nivel de proyecto, sino a nivel país.

II. NORMATIVA

El estudio de ACV se encuentra normado por la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés), bajo una serie de especificaciones técnicas. En la Figura 1 se presentan las principales normas relativas a este tipo de análisis.



Figura 1. Normativa ISO para Análisis de Ciclo de Vida

III. CONCEPTOS BÁSICOS

Antes de entender cómo funciona el ciclo de vida definido por ISO14067 como “etapas consecutivas e interrelacionadas del sistema producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta su disposición final”, es necesario conocer otros conceptos que facilitan su comprensión. En este fin, la Tabla 1 resume algunos de ellos.

Tabla 1. Algunos conceptos básicos para facilidad de comprensión

Concepto	Definición
Asignación	Distribución de los flujos de entrada y de salida de un proceso o sistema de producto, entre el sistema bajo estudio y uno o más sistemas de producto diferentes.
Categoría de impacto	Clase que representa asuntos ambientales de interés a la cual se pueden asignar los resultados del análisis del inventario.
Gases de efecto invernadero	Componente de la atmósfera, el cual puede ser natural o antropogénico (producido por el ser humano), que absorbe y emite radiación en longitudes de onda específicas.
Indicador de impacto	Representación cuantificable de una categoría de impacto.
Proceso	Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, que transforman elementos de entrada en resultados.
Producto	Cualquier bien o servicio.
Sistema de producto	Conjunto de procesos unitarios, que desempeñan una o más funciones definidas.
Unidad funcional	Unidad de referencia que relaciona los datos de entrada y de salida, por lo que su definición debe ser clara y medible. Como ejemplo, kilómetro, tonelada, entre otras.

Fuente: Tomado de ISO14067 (2013) e ISO14044 (2006)

IV. ¿CÓMO ESTÁ COMPUESTO UN ACV?

Un ACV se compone de cuatro fases principales según la norma ISO14040, cada una de estas con características específicas y de igual importancia para lograr resultados satisfactorios. A continuación, se enumeran:

1. Definición de objetivo y alcance

En primer lugar, es necesario definir un objetivo de estudio y el alcance al que se desea llegar; es decir, tener claridad en la aplicación prevista y el nivel de detalle. Con este fin, es importante establecer los límites del sistema y definir los procesos unitarios a ser incluidos, los cuales influyen en la confianza de los resultados y la posibilidad de cumplir con el objetivo planteado. Asimismo, es necesario justificar con claridad cualquier decisión de omitir etapas y/o procesos.

Un aspecto significativo en esta primera fase es identificar la unidad funcional del estudio, que debe tener relación con el objetivo y el campo de aplicación de este. Parte de su propósito es disponer de una base de referencia entre los datos de entrada y los de salida, facilitando la comparación entre sistemas de producto que cuantifiquen la misma unidad funcional y posean las mismas funciones. De igual forma, al tener definida la unidad, se debe cuantificar la cantidad de producto que se requiere para cumplir con la función previa, dando como resultado un flujo de referencia.

2. Análisis de inventario del ciclo de vida

Al tener definido el objetivo y alcance del estudio, se continúa la etapa en la que se recolectan los datos que serán cuantificados posteriormente. Estos datos corresponden a entradas (materia prima, energía), productos, coproductos, emisiones al aire, vertidos al agua y suelos, entre otros aspectos ambientales. Los datos que fueron recolectados deben ser verificados y pueden ser relacionados con otros procesos unitarios y salidas. En este sentido, es importante tener en cuenta que algunos procesos producen más de un producto, es decir, no hay una relación lineal entre las entradas y las salidas del sistema.

Además, los datos recopilados pueden provenir de fuentes diferentes y ser de varios tipos, por ejemplo, se puede disponer de datos suministrados directamente por los productores (medidos en campo, laboratorio u otro), datos estimados a partir de bases de datos existentes, o bien, datos provenientes de estudios previos. Por esta razón, es conveniente considerar aspectos de antigüedad, zona geográfica y fuentes de recolección de los datos, así como representatividad y uniformidad de estos, con el fin de garantizar la calidad en los resultados del estudio.

3. Evaluación de impacto del ciclo de vida

En esta fase se asocian los datos recolectados en el inventario con las categorías de impacto y sus indicadores con el propósito de evaluar los impactos ambientales del sistema a través de su ciclo de vida. Asimismo, para lograr mayor validez científica y técnica, se genera el proceso de asignación y el modelado de la caracterización de los resultados del inventario. Esta caracterización se refiere a la conversión de los datos recolectados en el inventario a unidades comunes, y luego la suma de todos dentro de la misma categoría de impacto, dando como resultado un dato numérico del indicador. Ahora bien, si hay problemas de disponibilidad de datos o no cumplen con la calidad necesaria, se debe realizar una recopilación iterativa de los datos o generar un ajuste en el objetivo y alcance del estudio.

4. Interpretación del ciclo de vida

Se reúnen los resultados obtenidos del estudio, en busca de cumplir con el objetivo y alcance definidos previamente; sin embargo, en muchas ocasiones puede resultar en reiteradas revisiones y actualizaciones. A partir de estos resultados se generan una serie de conclusiones y recomendaciones que permiten mayor entendimiento y facilidad para la toma de decisiones.

V. CASO DE ESTUDIO

Teniendo un mejor panorama de lo que implica un ACV, resulta oportuno mencionar el caso de estudio que se generó en el Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR para el desarrollo de un análisis de este tipo, con el objetivo de cuantificar la huella de carbono producida en la construcción de una de las carreteras en el sector norte del país. A continuación, se presenta de manera resumida el desarrollo de este caso.

En este estudio se siguió la normativa ISO14067, junto a ISO14040, ISO14044 con lo cual se determinó la metodología a seguir como se presenta en la Figura 2.

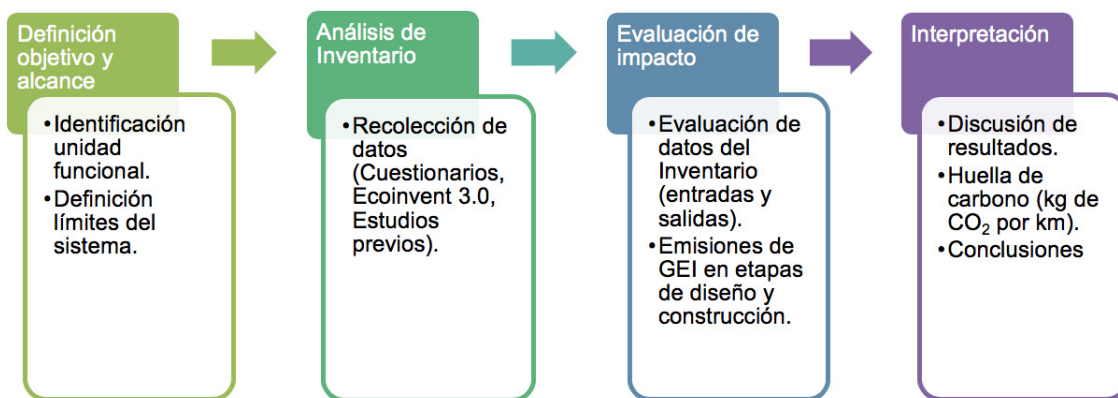


Figura 2. Metodología utilizada en el estudio

Ahora bien, teniendo definida una metodología, se debe detallar cada una de las etapas, cumpliendo con los componentes de ACV explicados en el apartado anterior. En este sentido, en la Tabla 2 se presenta un resumen con los datos básicos de este proyecto.

Tabla 2. Datos generales del proyecto “La Abundancia-Florencia”

Proyecto	Carretera La Abundancia-Florencia
Ubicación	San Carlos, Alajuela
Longitud proyecto	7km de carretera
Objetivo	Cuantificar huella de carbono en la colocación de mezcla asfáltica (modificada con polímero y sin modificar)
Estructura de pavimento	30 cm subbase granular
	24 cm base estabilizada con cemento
	7 cm mezcla asfáltica sin modificar
	6 cm mezcla asfáltica modificada con polímero
Unidad funcional	Kilómetro de carretera (km)
Procesos	Extracción de materia prima
	Transporte de materia prima a planta producción
	Producción de mezcla asfáltica en planta
	Transporte de mezcla asfáltica a sitio de colocación
	Colocación de mezcla asfáltica en sitio de proyecto
Producto	Petróleo, electricidad, bitumen, agregados, equipo de construcción
Categoría de impacto	Cambio climático
Resultado de indicador de categoría	kg de CO ₂ e por km

El caso de estudio, siguiendo la metodología y normativa descrita previamente, permitió cuantificar la huella de carbono (65 781 kg de CO₂e por km) que se generó en la construcción de la carretera. Además, fue posible analizar la etapa del proyecto y el tipo de mezcla (con o sin polímero) que generó mayor impacto ambiental. Estos resultados se pueden observar en la Figura 3, notándose que la etapa constructiva representó únicamente el 2% de contribución de GEI, mientras que la etapa de producción de ambos diseños de mezcla (con o sin polímero) representó el 98% (incluyendo operación de planta, producción y transporte) del total del proyecto.

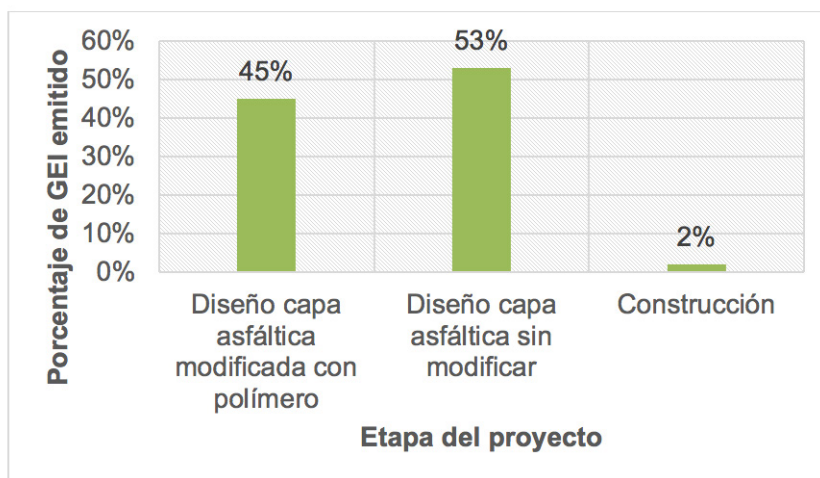


Figura 3. Distribución de GEI (en porcentaje) para las etapas del proyecto

VI. ¿A QUIENES Y CÓMO BENEFICIA UN ACV?

Al implementar una nueva metodología dentro de los procedimientos utilizados actualmente en el sector de carreteras, es común que surja el interrogante de si en realidad existe un beneficio que justifique la incorporación de un ACV. En busca de aclarar esta duda, en la Figura 4 se presentan algunas de las principales partes involucradas junto a los beneficios que pueden obtener a partir de este análisis. Asimismo, es conveniente resaltar que en algunas aplicaciones no se observan de inmediato las mejoras; sin embargo, una vez que la información es puesta en práctica es posible visualizar un proceso de mejora.

Además, es importante no desviarse del beneficio común que busca comunicar resultados de cuantificación de la huella de carbono, de forma clara y consistente para identificar oportunidades de mejora que contribuyan con objetivos de reducción de emisiones contaminantes, resultando en un bien para la población en general.



Figura 4. Beneficios de un ACV según parte involucrada

Resulta claro que existen varias partes involucradas que pueden beneficiarse si se desarrolla un adecuado ACV y se utiliza correctamente la información resultante. Es aquí en donde es recomendable una eficiente administración del proyecto, en la que se utilicen las diferentes áreas del conocimiento. Por ejemplo, si se dispone de un ACV que reportó resultados con evidencias de alta contribución de GEI en la etapa de transporte del material, se analiza la maquinaria y equipo y se determinan acciones a ejecutar (mantenimiento periódico, cambio de unidades, entre otras). En el caso de que el reporte de mayor contribución de GEI fue la etapa de operación en planta, entonces se analiza la optimización de procesos, calidad de equipo, consumo de combustible, etc. Incluso, desde los estudios de prefactibilidad y factibilidad, se pueden incorporar ciertos aspectos (consumos de energía, potencial de emisiones y otros), determinados en proyectos similares y de esta manera generar una planificación oportuna para evitar el impacto ambiental en los procesos de diseño y construcción.

VII. PUNTOS IMPORTANTES PARA TENER EN CUENTA

- Un ACV NO es un análisis de riesgo, ya que no toma en cuenta la exposición, el cual es un factor esencial en la evaluación del riesgo.
- Un ACV puede utilizar información proveniente de evaluaciones de impacto ambiental, desempeño ambiental y riesgo, pero es DIFERENTE a esas técnicas.
- Un ACV NO considera los aspectos relacionados al ámbito económico y social; sin embargo, la información resultante del análisis puede ser aplicada en el desarrollo de estos.
- Un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), es DIFERENTE a un Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (ICV), ya que en este último no se considera la fase de evaluación de impacto de ciclo de vida.
- Un Análisis de Ciclo de Vida NO es lo mismo que el Ciclo de Vida del Proyecto (Inicio-Planificación-Ejecución-Control-Fin).

VIII. CONCLUSIONES

El Análisis de Ciclo de Vida en carreteras posee características y beneficios que lo posicionan como una metodología con la posibilidad de utilizarse más allá de la evaluación del impacto ambiental de un producto. En otras palabras, su uso permite identificar oportunidades de mejora, facilitar la toma de decisiones y disponer de una planificación estratégica. Además, al brindar información ambiental a las diferentes partes involucradas, influye en la iniciativa por utilizar productos y procesos que minimicen las emisiones, garantizando al usuario bienestar, calidad de vida y reducción en sus propios costos.

Un uso correcto del ACV y siguiendo la normativa vigente, brinda las bases necesarias para acciones posteriores en la reducción de emisiones y contribución a la sostenibilidad de los procesos, máxime si se aplican acciones como el uso de materiales reciclados y energía procedente de recursos renovables, que den cabida para el éxito de un plan de reducción de consumo energético y emisiones contaminantes.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Espinoza, M., Campos, N., Yang, R., Ozer, H., Aguiar-Moya, J. P., Baldi, A., ... & Al-Qadi, I. L. (2019). Carbon Footprint Estimation in Road Construction: La Abundancia–Floresncia Case Study. *Sustainability*, 11(8), 2276.

Harvey, J., Meijer, J., Ozer, H., Al-Qadi, I. L., Saboori, A., & Kendall, A. (2016). *Pavement Life Cycle Assessment Framework* (No. FHWA-HIF-16-014). United States. Federal Highway Administration.

International Organization for Standardization. (2013). *Greenhouse gases carbon footprint of products requirements and guidelines for quantification and communication*. ISO 14067:2013. Geneva, Switzerland.

International Organization for Standardization. (2006). *Environmental management life cycle assessment principles and framework*. ISO 14040:2006. Geneva, Switzerland.

International Organization for Standardization. (1998). *Environmental management life cycle assessment goal and scope definition and inventory analysis*. ISO 14041:1998. Geneva, Switzerland.

International Organization for Standardization. (2000). *Environmental management life cycle assessment life cycle impact assessment*. ISO 14042:2000. Geneva, Switzerland.

International Organization for Standardization. (2000). *Environmental management life cycle assessment life cycle interpretation*. ISO 14043:2000. Geneva, Switzerland.

International Organization for Standardization. (2006). *Environmental management life cycle assessment requirements and guidelines*. ISO 14044:2006. Geneva, Switzerland.



LanammeUCR

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PITRA

Programa de
Infraestructura del Transporte

Ing. Ana Luisa Elizondo - Salas M.Sc.

Coordinadora General a.i.

UNIDADES

Unidad de Gestión Municipal (UGM)

Ing. Jaime Allen - Monge, Ph.D.

Coordinador

Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN)

Ing. Roy Barrantes - Jiménez, M.Sc.

Coordinador

Unidad de Materiales y Pavimentos (UMP)

Ing. Ana Luisa Salas - Elizondo, M.Sc.

Coordinadora a.i.

Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT)

Ing. Raquel Arriola - Guzmán, M.Sc.

Coordinadora

Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT)

Ing. Diana Jiménez - Romero, M.Sc., MBA.

Coordinadora

Comité Editorial 2019:

- Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M.Sc., Coordinadora General PITRA a.i.
- Ing. Raquel Arriola Guzmán, M.Sc. Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA
- Rosa Isella Cordero Solano, Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación, diseño y control de calidad: Katherine Zúñiga Villaplana / Óscar Rodríguez Quintana

Boletín técnico: ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV) EN CARRETERAS/ NOVIEMBRE 2019