



Coordinador, Unidad de Materiales y Pavimentos, LanammeUCR (jose.aguiar@ucr.ac.cr)



Coordinador General, PITRA-LanammeUCR (luis.loriasalazar@ucr.ac.cr)



Investigadora Unidad de Materiales y Pavimentos, PITRA-LanammeUCR. (marianela.espinozaalfaro@ucr.ac.cr)

Caso de estudio: Cuantificación de la huella de carbono en la construcción de la carretera La Abundancia-Floresncia, San Carlos

José Pablo Aguiar Moya
Luis Guillermo Loría Salazar
Marianela Espinoza Alfaro



El creciente desarrollo de las poblaciones en el territorio costarricense, tanto dentro como fuera de la Gran Área Metropolitana ha generado un aumento significativo en la demanda de bienes y servicios. Lo anterior va de la mano con un incremento de la flota vehicular que se refleja en el deterioro acelerado del estado de las carreteras. En efecto, surge la necesidad de una infraestructura vial que atienda la demanda de manera oportuna y eficiente, con alternativas que garanticen su adecuado desempeño e incrementen su resiliencia ante las posibles variaciones climáticas. En este sentido, y con el fin de evaluar el impacto ambiental que se produce durante la construcción o rehabilitación de carreteras, se presenta el caso de estudio de la carretera La Abundancia-Floresncia, en el que se estimó la huella de carbono producida por la construcción de la capa de mezcla asfáltica que forma parte de la estructura del pavimento. Este tipo de estudios es nuevo a nivel latinoamericano y se ha implementado por primera vez en este proyecto.

La evaluación del impacto ambiental en esta vía se llevó a cabo mediante un Análisis de Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en inglés), el cual es una técnica que permite analizar y cuantificar el impacto ambiental de un producto, sistema o proceso (Harvey *et al.*, 2016), desde la obtención de materia prima hasta el final de la vida útil. Asimismo, este análisis utiliza la normativa ISO 14067 de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), en la que se establecen los principios, requisitos y directrices para cuantificar y comunicar la Huella de Carbono Parcial (HCP), junto a normativas sobre el LCA como la ISO 14040, ISO 14044, ISO 14020, ISO 14024 e ISO 14025.

Resulta de gran interés los beneficios de utilizar el LCA, principalmente porque permite caracterizar el desempeño ambiental de un proyecto constructivo, con generación de información que puede ser utilizada por empresas constructoras para medir el desempeño en sus proyectos y evaluar si se da un adecuado cumplimiento de los requisitos ambientales. Al mismo tiempo, les permite seleccionar los materiales y procesos constructivos óptimos, minimizando la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), y asegurando la sostenibilidad en la producción de estos.

En este enfoque es importante mencionar que a nivel nacional una de las mayores fuentes de emisiones de GEI la constituye el sector energético (46 % del total de emisiones); de las cuales la

mayor parte se atribuye al sector transporte (Granados, 2012). En consecuencia, el país cuenta con 117 leyes en materia de energía aprobadas desde la década de 1950; sin embargo, estas leyes centran su atención en los hidrocarburos y en la hidroelectricidad (Betran, 2014), dejando de lado el sector de infraestructura vial. Debido a esto, el Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del Laboratorio de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), ha empezado su enfoque investigativo dentro del ámbito ambiental. Ejemplo de ello se refleja en una iniciativa (**Figura 1**) conocida como “Pavimentos Verdes” (Badilla, 2011), en la que se evalúan el uso de asfaltos espumados, emulsiones asfálticas, mejora en asfaltos con uso de polímeros y reciclaje de pavimentos. Además, el uso de componentes provenientes de botellas recicladas para la elaboración de mezclas asfálticas, ha convertido al país en líder a nivel latinoamericano en el uso de este tipo de pavimentos con componentes propios (Aguiar *et al.*, 2015; Leiva y Loría, 2014; Loría y Castro, 2013; Vargas y Timm, 2013; Villegas *et al.*, 2012).



Figura 1. Logo de campaña “Pavimentos Verdes”.

Más recientemente, se inició la investigación en sostenibilidad con perspectiva en la infraestructura vial. Para ello se generó como primer proyecto el LCA para la carretera La Abundancia-Florencia. Este análisis se desarrolló considerando las fases básicas de un LCA (**Figura 2**).

En la primera fase se define como objetivo la carretera La Abundancia-Florencia con una longitud de 7 km, compuesta por 4 carriles (2 en cada dirección), y una estructura de pavimento conformada por 30 cm de subbase granular, 24 cm de base estabilizada con cemento, 7 cm de mezcla asfáltica sin modificar y 6

cm de mezcla modificada con polímero. Al mismo tiempo, se define el alcance para asegurar el nivel de detalle del estudio, definir la unidad funcional (referencia a la cual se relacionan las entradas y salidas del sistema); en este caso corresponde a un kilómetro de carretera, y definir los límites del sistema. En los límites se consideran varias etapas del ciclo de vida, procesos unitarios y flujos, por lo que, en este caso de estudio, al tratarse de la construcción de una capa de mezcla asfáltica se siguen una serie de etapas de LCA como se indica en la **Figura 3**.



Figura 2. Fases para el desarrollo de un LCA.

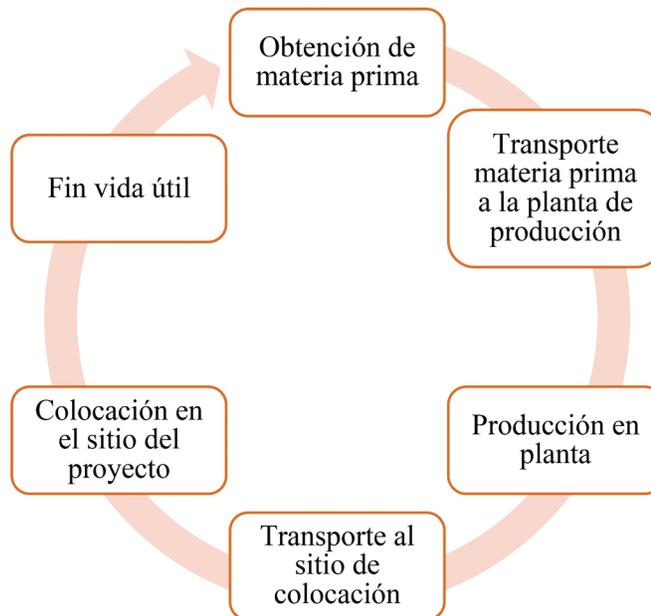


Figura 3. Etapas para la estimación de LCA en una mezcla asfáltica.

Seguidamente, y como parte de la segunda fase se recopila la información. Para esto se utilizaron dos fuentes principales: cuestionarios aplicados a los representantes de la empresa a cargo de la construcción, referente a las prácticas, técnicas, equipo y tipo de energía empleada en sus actividades. La segunda fuente fue *Ecoinvent 3.0*, una base de datos especializada en el tema.

Una vez recopilada la información, se inicia la tercera fase con el uso del software *SimaPro 8.3.3* para la modelación. Sin embargo, se debe indicar que se requiere un proceso de evaluación por separado para cada producto debido al impacto diferenciado que genera cada uno. En este caso se consideraron los productos derivados del petróleo (diésel, gasolina, y lubricantes), utilizados en la producción de materiales, construcción, transporte y operación vehicular. También se incluyó la electricidad y fuentes de energía para el proceso de producción, en donde se destaca que Costa Rica utiliza energía renovable para el suministro de energía eléctrica. Otros productos a modelar fueron el bitumen (modificado con polímero y sin modificar), los agregados, el proceso de producción de la planta asfáltica, el acarreo de material y el equipo de construcción.

El estudio consideró dos etapas principales. La primera de ellas fue la etapa de diseño, en la que se incluye la producción de materiales y mezclas de las capas de asfalto presentes en la estructura de pavimento. Para ello se

tomaron en cuenta los impactos ambientales generados por la producción y el transporte a la planta de asfalto. La segunda etapa fue la construcción, en la que se incluye la movilización de equipo al sitio de trabajo y su operación.

Al estimar el impacto del ciclo de vida, se continúa con la fase cuatro, en la que se interpretan los resultados. En lo que respecta al bitumen modificado con polímero, los resultados de GEI fueron 11 369 kg de CO₂e por km con 16 572 kg de CO₂e producidos por la planta asfáltica. Mientras que los resultados para el bitumen no modificado fueron de 13 668 kg de CO₂e por km con 19 285 kg de CO₂e generados por la planta asfáltica. La diferencia está asociada al diseño estructural de las capas (la capa modificada es más delgada que la capa no modificada) y el contenido óptimo de ligante para la mezcla de asfalto modificada es menor que el de la mezcla no modificada. En efecto, si la adquisición de materias primas es menor, las emisiones de GEI también serán menores. De manera similar, si el diseño de la mezcla incorpora materiales reciclados, las emisiones podrían reducirse en gran medida.

En igual forma, se interpretaron los resultados obtenidos de las emisiones totales de GEI en las etapas de diseño y construcción (**Cuadro 1**), obteniendo la distribución (en porcentaje) de GEI para los procesos del proyecto (**Figura 4**).

Cuadro 1. Total de emisiones de GEI (CO₂e) en el proyecto por unidad funcional (km).

| Categoría | Material | GEI (kg CO ₂ e/km) |
|---------------------|--|-------------------------------|
| Diseño (producción) | Capa asfáltica modificada con polímero | 29 596 |
| | Capa asfáltica sin modificar | 34 851 |
| | Subtotal diseño | 64 448 |
| Construcción | Subtotal construcción | 1 333 |
| Total | | 65 781 |

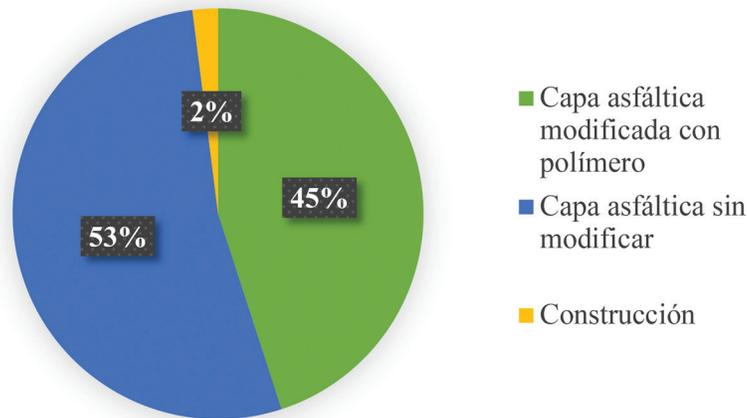


Figura 4. Distribución porcentual de GEI para los procesos del proyecto.

Los resultados de la evaluación realizada mostraron que la construcción de la capa de mezcla asfáltica genera una huella de carbono de 65 781 kg de CO₂e por km de carretera. De esta cantidad, el 2 % proviene del proceso constructivo, el 55-56 % resulta de la etapa de producción en el desarrollo operativo de la planta de asfalto, y en el caso de la producción de asfalto, su representación en la contribución de GEI fue de 38-39 %. Por su parte, el transporte representó una porción más pequeña con un 5-6 % de contribución de GEI. Lo anterior, evidencia que, la etapa

de producción es la que mayor impacto genera, por lo cual debe prestársele atención para determinar posibles reducciones en GEI.

Destacamos algunas recomendaciones que surgieron a partir del estudio. Aumentar la eficiencia de los equipos de mezcla asfáltica y las técnicas de construcción. Asimismo, optar por el uso de materias primas con menores emisiones de GEI, por ejemplo, la implementación de pavimentos asfálticos reciclados y el uso de mezclas asfálticas tibias (120-140

°C). Ahora bien, aunque la cuantificación del impacto ambiental asociado con el uso del pavimento está fuera del alcance de este estudio, el análisis preliminar muestra que la etapa de uso podría contribuir significativamente a las emisiones de GEI en carreteras. Por esta razón, se deben empezar investigaciones que incluyan dentro del LCA, otros factores como la resistencia a la rodadura, las demoras en el tráfico, la radiación reflejada por la superficie de ruedo, entre otras.

Considerando la situación actual a la que se enfrentan las ciudades —y desde el enfoque de infraestructura vial— amerita la planificación y ejecución de proyectos que utilicen los recursos de manera equilibrada, en busca de soluciones que permitan una recuperación oportuna y eficiente de la infraestructura ante eventos climáticos. En este sentido, la aplicación de técnicas como el LCA, permite optimizar procesos y recursos, e impulsa a estar preparados con opciones alternativas que permitan minimizar los daños y aprovechar las oportunidades.

Referencias

- Aguiar, P., Cruz, M., Porras, A., Vargas, A., and Loría, G. (2015). *Materiales de desecho como modificantes de la mezcla asfáltica*. Memorias XVIII CILA, pp. 634-645.
- Badilla, G., Ávila, T., y Duarte, A. (2011). *Evaluación del desempeño de bases estabilizadas con asfaltos espumados en tramos de prueba*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LanammeUCR. San José.
- Betrano, S. (2014). *Vigésimo primer Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible, Evolución y efectos de la legislación energética en Costa Rica (1950-2014)*. Consejo Nacional de Rectores- La Defensoría de los Habitantes.
- Granados, A. (2012). *Decimonoveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible, Carbono Neutralidad: Avances y Desafíos de cara al año 2021*. Consejo Nacional de Rectores- La Defensoría de los Habitantes.
- Harvey, J. T., Meijer, J., Ozer, H., Al-Qadi, I. L., Saboori, A., and Kendall, A. (2016). *Pavement Life-Cycle Assessment Framework* (No. FHWA-HIF-16-014).
- 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. (2006). *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines*. ISO 14044:2006. Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization. (2000). *Environmental Labels and Declarations - General Principles*. ISO 14020:2000. Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization. (1999). *Environmental Labels and Declarations - Type I Environmental Labelling - Principles and Procedures*. ISO 14024:1999. Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization (2006). *Environmental Labelling and Declarations - Type III Environmental Declarations - Principles and Procedures*. ISO 14025:2006. Geneva, Switzerland.
- Leiva, P., and Loría, G. (2014). *Determinación de las propiedades de los asfaltos obtenidos del reciclaje de materiales de pavimentos (RAP)*. Construyendo caminos, pp. 39-41.
- Loría, G., and Castro, J. (2013). *Do uso bioasfaltos propiedades viscoelásticas de mistura asfáltica reciclada*.
- Vargas, A., and Timm, D. (2013). *Avaliação estrutural e desempenho de curto prazo das misturas asfálticas mornas*.
- Villegas, E., Loría, G., Aguiar, J., Leiva, F., Salazar, J., and Navas, A. (2012). *Usos de materiales de desecho como modificantes de asfalto en Costa Rica*.