



# Evaluación del Análisis de Ciclo de Vida en mezclas asfálticas con incorporación de altas proporciones de Neumático Fuera de Uso

## Life Cycle Assessment of Asphalt Mixtures with the Incorporation of High proportions of Crumb Tire Rubber

Presentado: 11/11/2025

Aprobado: 04/02/2026

Publicado: 06/02/2026

### **Ignacio Zapata Ferrero**

 <https://orcid.org/0000-0002-8779-4645>

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata, LEMaC Centro de Investigaciones Viales  
UTN FRLP – CIC PBA, La Plata, Argentina.

izapata@frlp.utn.edu.ar

### **Bianca Valentina Hrichina**

 <https://orcid.org/0009-0004-2064-9744>

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata, LEMaC Centro de Investigaciones Viales  
UTN FRLP – CIC PBA, La Plata, Argentina.

bianca.hrichina@hotmail.com

### **Resumen**

En la actualidad se hace más frecuente la utilización de tecnologías y materiales alternativos, en lo que refiere a la industria vial. La aplicación de desechos como plásticos, pavimento reciclado o Neumático fuera de Uso (NFU) proveen a las mezclas asfálticas beneficios considerables en cuanto al desempeño de las mismas. Sin embargo, resta por estudiar si el beneficio que se obtiene en términos de performance se traduce en consideraciones medioambientales. En este trabajo se analiza el ciclo de vida de una mezcla asfáltica sustentable en comparación con mezclas convencionales. Se evalúa el impacto ambiental desde la producción de los materiales hasta la etapa de construcción, utilizando el Análisis de Ciclo de Vida, bajo la norma ISO. Los resultados evidencian una disminución en los consumos energéticos y las emisiones cuando se incorpora 15 y 18 % de NFU como modificador del cemento asfáltico en comparación a una mezcla con asfalto convencional.

**Palabras claves:** Impacto ambiental, Neumáticos fuera de uso, Análisis de ciclo de vida.

## Abstract

Currently, the use of alternative technologies and materials is becoming increasingly common in the road construction industry. The application of waste materials such as plastics, recycled pavement, and Crumb Tire Rubber (CTR) provides considerable performance benefits to asphalt mixtures. However, it remains to be studied whether the performance benefits translate into environmental advantages. This study analyzes the life cycle of a sustainable asphalt mixture compared to conventional mixtures. The environmental impact is evaluated from material production to the construction stage using Life Cycle Assessment (LCA) according to the ISO standard. The results show a reduction in energy consumption and emissions when 15% and 18% CTR are incorporated as a modifier to the asphalt cement compared to a mixture with conventional asphalt.

**Keywords:** Environmental impact, Crumb tire rubber, Life cycle analysis.

## 1. Introducción

El desarrollo sostenible en la ingeniería vial es un desafío creciente debido a la alta demanda de materiales y la generación de impactos ambientales significativos. La producción de mezclas asfálticas implica un alto consumo de recursos, desde la extracción de agregados hasta la producción de ligantes y la colocación en obra, lo que genera emisiones de gases de efecto invernadero y residuos.

En los últimos años, se han desarrollado nuevas estrategias para mitigar estos impactos mediante el uso de materiales reciclados y tecnologías de producción de bajo consumo energético, como las mezclas templadas. Sin embargo, la viabilidad de estas alternativas requiere una evaluación detallada que combine aspectos técnicos, ambientales y económicos (Zapata Ferrero et al., 2021).

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una metodología para considerar los impactos ambientales de un producto o un sistema mediante la contabilización de los intercambios ambientales durante el ciclo de vida de los productos. La característica principal de análisis de ciclo de vida es el enfoque en los productos desde una perspectiva del tiempo de vida que tienen los materiales. El alcance global del ACV es útil para evitar el desplazamiento de problemas, por ejemplo, de una fase del ciclo de vida a otra, de una región a otra, o de un problema medioambiental a otro (ISO, 2006a; ISO, 2006b).

Mediante la aplicación de la metodología del ACV es posible cuantificar los beneficios medioambientales que supone la aplicación de un material innovador o una tecnología disruptiva. Para dicho análisis se aplican herramientas de modelado computacional para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero, consumo de energía y otros indicadores ambientales. En forma complementaria, al hablar de vías pavimentadas, se debe realizar un estudio estructural de pavimentos mediante métodos empírico-mecanicistas para evaluar la durabilidad y resistencia de las mezclas seleccionadas cuantificando el desempeño (Santero et al., 2011a; Santero et al., 2011b).

Como parámetros fundamentales del Análisis del Ciclo de Vida de los material se definen los siguientes cuatro lineamientos:

1. Los alcances y objetivos que se quieren abordar con el estudio que se lleve a cabo
2. El inventario, el cual va a contener todos los datos tanto, de entrada, como de salida para el estudio

3. La evaluación de los impactos, que comprende cómo afecta cada uno de los elementos del inventario en impactos en el ambiente.
4. La interpretación, consiste en evaluar cada uno de los datos de salida que se hicieron durante el análisis, y poder realizar las conclusiones debidas del caso, y poder plantear mejoras en el sistema de estudio.

A la hora de estudiar las emisiones generadas por cada uno de los sistemas se habla de distintos contaminantes que afectan al medioambiente. En líneas generales el mayor estudiado es el Potencial de calentamiento global (GWP por sus siglas en inglés). Este indicador se contempla en kg de CO<sub>2</sub> equivalente, ya que el mismo evalúa distintos gases que afectan a la atmósfera los cuales impactan de distinta forma al ambiente (Li et al., 2019; Nascimento et al., 2020).

Este parámetro, conjuga 3 gases a tener en consideración, entre ellos el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como uno de los indicadores más comúnmente buscados en los estudios de análisis de ciclo de vida de pavimentos. Si bien no es el que genera más contaminación a nivel global, es el que se produce en mayor medida. Los otros dos gases que conforman el GWP son el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), de mayor incidencia que el dióxido de carbono, pero generados por la industria en menor proporción.

En cuanto a estos estudios aplicados a mezclas asfálticas, existen diversos estudios para analizar procesos o materiales innovadores para evaluar el impacto en algún indicador de interés. En líneas generales los estudios siguen un proceso similar al que se muestra en la Figura 1. Este cuadro muestra la extracción de materias primas como piedra partida, asfalto y cal. Luego la elaboración de la mezcla asfáltica en la planta y por último la construcción de la misma. Según el análisis se estudia también la fase de uso de los usuarios por la carretera y el fin de vida útil del material que considera la disposición final de los materiales. En todos los pasos intermedios se debe contemplar el traslado de los materiales entre los diversos puntos de estudio (Huang et al., 2009).

Mediante la aplicación del ACV es factible analizar y estudiar la influencia en términos medioambientales de diversa tipología de residuos como son los plásticos, pavimento reciclado entre otros (Reano, 2022; Fretes et al., 2024). De esta forma no solo se contempla el beneficio que existe en términos de desempeño de los materiales sino también como influye en términos ambientales. Uno de los materiales ampliamente estudiados hoy en día, es el polvo de Neumático Fuera de Uso (NFU). Su adición se realiza de diversas formas incluyendo la incorporación como un agregado adicional o modificando las propiedades físicas del cemento asfáltico. La más utilizada es la última mencionada y en función del porcentaje de NFU incorporado se presentan distintas alternativas de tipologías de mezclas asfálticas para su destino como mezclas densas, discontinuas y retardantes de fisuración refleja (Segura et al., 2023; Zapata Ferrero, 2024).

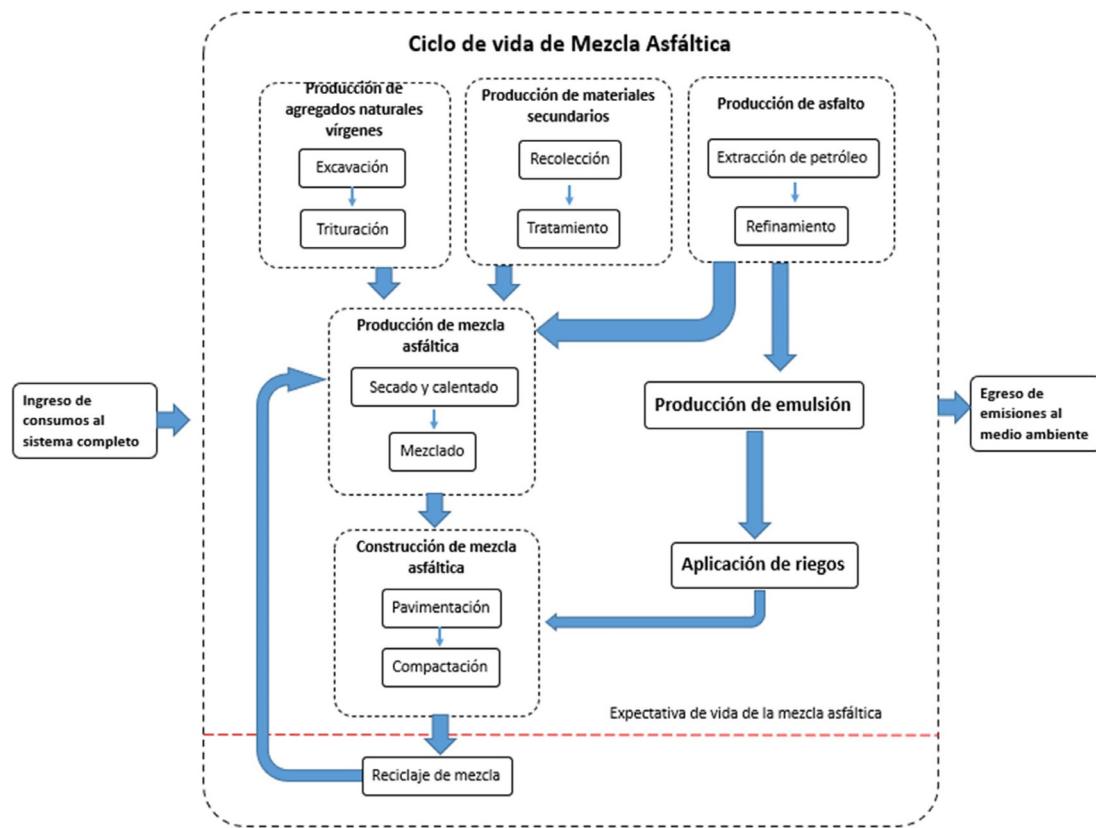


Figura 1. Esquema del proceso de evaluación de ACV en mezclas asfálticas

El presente estudio pretende analizar el desempeño mecánico y medioambiental de mezclas asfálticas con la incorporación de NFU en 15 y 18 % sobre el peso de cemento asfáltico para comparar las ventajas o desventajas que surjan comparativamente contra una mezcla con asfalto convencional.

Los resultados permiten definir estrategias para optimizar el diseño y selección de materiales en la infraestructura vial, promoviendo el uso de materiales reciclados y técnicas de producción más eficientes.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Mezclas Asfálticas consideradas

Para el análisis a llevar a cabo se estudian tres mezclas asfálticas del tipo CAC D19, en las que se modifica el cemento asfáltico utilizado. En primera instancia se incorpora un asfalto convencional clasificado por viscosidad como CA-30. Como alternativas se utilizan asfaltos modificados con 15 y 18 % de NFU sobre el 100% de peso de asfalto. La caracterización de las mezclas asfálticas en cuanto al diseño Marshall de los parámetros volumétricos y mecánicos se ven en la Tabla 1 (Vialidad Nacional, 2017).

Parámetros	Denominación		
	CA30	15 NFU	18 NFU
Porcentaje de asfalto (%)	4,7	5,1	5,1
Densidad Marshall (g/cm <sup>3</sup> )	2,472	2,413	2,410
Densidad Rice (g/cm <sup>3</sup> )	2,559	2,501	2,507
Vacíos (%)	3,4	3,5	3,9
Estabilidad (kN)	14,36	12,77	14,63
Fluencia (mm)	4,4	4,2	4,3
Relación Estabilidad-Fluencia (kN/mm)	3,3	3,0	3,4
Vacíos del Agregado Mineral (%)	15,0	15,8	16,2
Relación Betún Vacíos (%)	77,4	77,7	76,1
Relación (Cv/Cs)	0,43	0,40	0,40

Tabla 1. Resultados de dosificación Marshall.

## 2.2 Caracterización frente a la fisuración y el desempeño.

Para evaluar el desempeño mecánico de las mezclas asfálticas con incorporación de polvo de NFU, se realizan ensayos normalizados que permiten analizar el comportamiento frente a solicitudes estáticas y predecir el comportamiento en un periodo de vida útil. Estos ensayos se llevaron a cabo sobre mezclas elaboradas con cemento asfáltico tipo CA 30 (mezcla convencional) y otras dos con contenido de NFU al 15 % y 18 %.

En particular, para el análisis se utiliza el ensayo de Tracción Indirecta Estática (TIE) según la norma ASTM D8225-19. Mediante un análisis complementario se extraen índices que tienen en consideración la fisuración que puede experimentar la muestra en su vida útil. Uno de los índices más divulgados actualmente es el Cracking Test Index (CTI). El mismo considera la tenacidad de la probeta como así también los puntos de inicio de la fisuración de la probeta. La probeta dispuesta para el ensayo en conjunto con la curva representativa del ensayo se puede ver en la Figura 2 (Zhou et al., 2017).

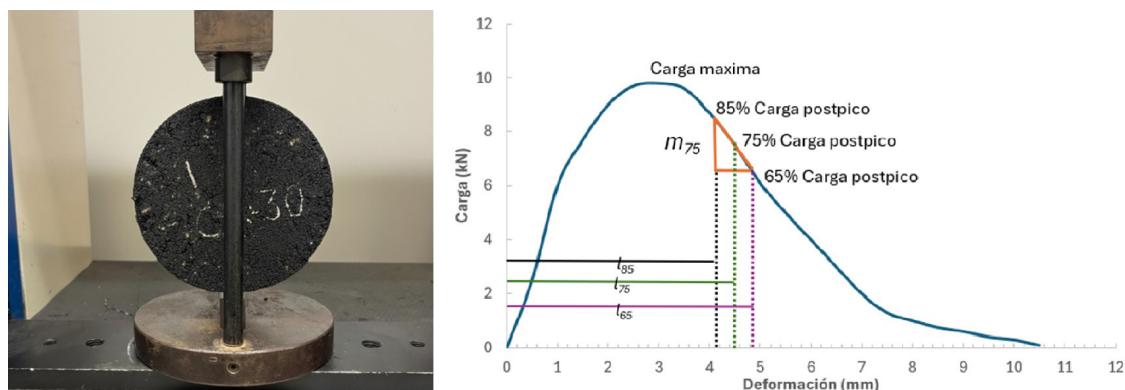


Figura 2. Probeta para ensayar en conjunto con la curva representativa del ensayo

El cálculo del CTI se visualiza en la Ecuación 1

$$CTI = \frac{G_f}{|m_{75}|} \left( \frac{u_{75}}{l} \right) \frac{t}{62} \quad (1)$$

En donde  $G_f$  es la Energía de fractura (J/mm<sup>2</sup>),  $u_{75}$  es la deformación correspondiente al 75 % de la carga máxima post-pico,  $m_{75}$ . Es la pendiente de la curva al 75 % de la carga máxima post-pico, “l” la longitud ligada (mm) y  $t$  el espesor de la probeta (mm). Los resultados obtenidos de este ensayo se ven en la Tabla 2

	CA30	15 NFU	18 NFU
<b>Cracking Test Index (J/mm2)</b>	<b>93,6</b>	<b>156,8</b>	<b>229,7</b>

Tabla 2. Resultados de CTI

En forma posterior se busca vincular los resultados obtenidos de las mezclas asfálticas caracterizado por el CTI, con una respuesta de desempeño en campo. Según el estudio realizado por Zhou (2017), se relacionan distintas clases de mezclas asfálticas con ensayos acelerados en campo hasta detectar la primera fisura en el pavimento. En este ensayo acelerado se registran los ciclos de una rueda cargada en el pavimento simulando el transito pesado que lo circula. De esta forma se pretende vincular los datos obtenidos de CTI para las muestras de CA 30, 15 NFU y 18 NFU con la ecuación de regresión del ensayo obtenida por Zhou y finalmente tener un parámetro del desempeño de las muestras en campo como un indicador de la resistencia a fatiga. La relación se puede apreciar en la Ecuación 2.

$$N_{pf} = 80,553 * (CTI)^{1,6219} \quad (2)$$

De esta forma se obtiene el número de pasadas que llevan a las muestras a obtener la primera fisura como se muestra en la Tabla 3.

	CA30	15 NFU	18 NFU
<b>Número de pasadas para la primera fisura</b>	<b>126.851</b>	<b>292.896</b>	<b>544.062</b>

Tabla 3. Resultados de número de pasadas en función de las muestras

En función de los resultados obtenidos se plantea un escenario de vida útil de 15 años en los cuales pasan 1.000.000 de ejes que lleven al deterioro de encontrar la primera fisura en el material. En este contexto se obtienen distintas intervenciones a realizar durante el periodo de análisis para las mezclas de estudio. De esta forma queda definido un esquema de intervenciones que se muestra en la Figura 3.

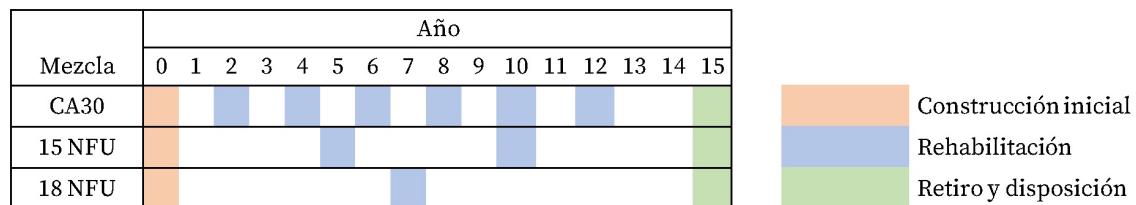


Figura 3. Intervenciones planteadas para las muestras de estudio.

## 2.3 Metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se utiliza para evaluar y comparar el desempeño medioambiental de las mezclas asfálticas en estudio (CA 30, 15 NFU y 18 NFU).

El estudio se lleva a cabo siguiendo una perspectiva “de la cuna a la tumba”, es decir, abarcando desde la extracción y procesamiento de materias primas, el transporte y la elaboración de la mezcla, hasta su aplicación en obra. No se considera la etapa de uso es decir el tránsito de los vehículos asociados a la obra en estudio.

Para ello, se utiliza la herramienta computacional LCA Pave, un software especializado desarrollado en una planilla de Excel para la evaluación ambiental de pavimentos desarrollado por el Departamento de Transporte de Estados Unidos cuya portada se ve en la Figura 4 (FHWA, 2021). Dicho programa permite modelar las distintas etapas del ciclo de vida y cuantificar indicadores como el Potencial de Calentamiento Global (GWP), el consumo energético, y la emisión de contaminantes atmosféricos. Para el estudio, se define la unidad funcional utilizada que es de 1 km de pavimento flexible de base asfáltica de 10 cm de espesor. Se aclara que la base de datos utilizada para cuantificar los consumos y emisiones son de datos locales del software ya que se tiene muy poca información propia de este tipo de información.

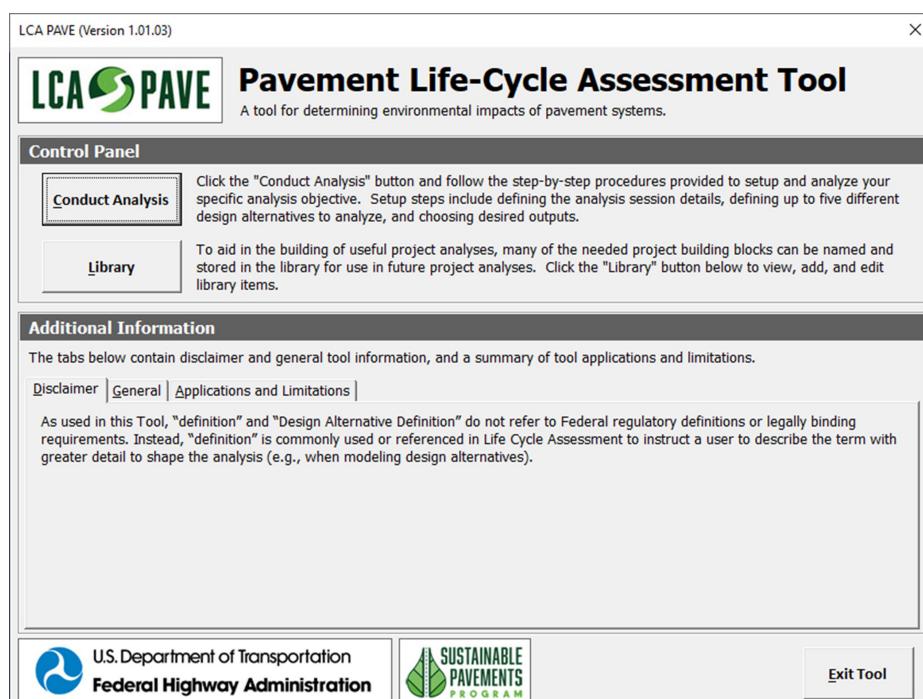


Figura 4. Pantalla inicial del programa LCA Pave

## 2.4 Inventario del Ciclo de Vida (ACV)

Los datos de entrada que se le tienen que suministrar al programa para realizar el estudio son los siguientes:

- Ubicación de la obra (Ruta provincial dentro del partido de la ciudad de la Plata)
- Cantidad exactas de materiales requeridos (agregados pétreos, cemento asfáltico y NFU).
- Consumo de energía durante la producción (combustible, electricidad).
- Distancias de transporte desde canteras, plantas de producción y centros de disposición.
- Uso de maquinaria (planta asfáltica, pavimentadora, rodillos, camiones transportadores y equipos de fresado).

Los siguientes datos son ingresados en LCA Pave:

- Cantidad de mezcla: 1000 m<sup>2</sup> de base de 10 cm de espesor.
- Materiales: cemento asfáltico CA-30, agregados naturales, polvo de NFU.
- Porcentajes de NFU: 15 %, 18 % (incorporación sobre peso del asfalto).
- Distancias: calculadas entre cantera–planta y planta–obra se pueden ver en la Tabla 4.

Materiales	Distancia (km)
Asfalto al obrador	20
Piedra 6-20 al obrador	336
Piedra 0-6 al obrador	336
Cal al obrador	336
NFU a la destilería	93.1
Mezcla asfáltica a la obra	6.5

Tabla 4. Distancias involucradas de los materiales

## 2.5 Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida

El programa LCA Pave estima los indicadores referenciales para el análisis de las alternativas. Entre ellos se mencionan el Potencial de Calentamiento Global (GWP) evaluado en emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, el consumo de energía renovable y no renovable total en MJ por tonelada de mezcla y la utilización de materiales reciclados. El programa asigna coeficientes de impacto a cada unidad de entrada según bases de datos de inventarios ambientales luego entrega un resultado consolidado por tonelada de mezcla y por unidad funcional (en este caso, 1 km de capa de mezcla asfáltica).

## 3. Resultados y Discusión

El análisis de ciclo de vida llevado a cabo con el software LCA Pave permite evaluar los impactos ambientales asociados a tres mezclas asfálticas: mezcla convencional CA30, y dos

alternativas modificadas, 15 NFU y 18 NFU. Los resultados se expresan por unidad funcional equivalente a 1 km de pavimento de 10 cm de espesor, dentro de un período de análisis de 15 años.

### 3.1 Indicadores Ambientales Globales

Los principales indicadores relevados incluyen el uso de energía, emisiones contaminantes, utilización de agua, y otros impactos sobre el medio ambiente. A continuación, se comparan los valores obtenidos más relevantes que se ven en la Tabla 5. Los resultados comparativos se aprecian en las Figuras 5 y 6.

Medidores de Impacto	CA30	15 NFU	18 NFU	Var. 1-2	Var. 1-3
<b>Uso de Energías renovables (MJ)</b>	<b>30.596.199</b>	<b>11.197.536</b>	<b>7.454.717</b>	<b>63,4</b>	<b>75,6</b>
<b>Uso de Energías no renovables (MJ)</b>	<b>495.612.416</b>	<b>159.660.510</b>	<b>95.001.520</b>	<b>67,8</b>	<b>80,8</b>
<b>Uso de materiales reciclados (t)</b>	<b>8,77</b>	<b>82,96</b>	<b>64,17</b>	<b>846,0</b>	<b>631,7</b>
<b>Potencial de calentamiento global (kg CO<sub>2</sub> eq)</b>	<b>32.171.316</b>	<b>10.274.951</b>	<b>6.040.556</b>	<b>68,1</b>	<b>81,2</b>

Tabla 5. Indicadores obtenidos del análisis

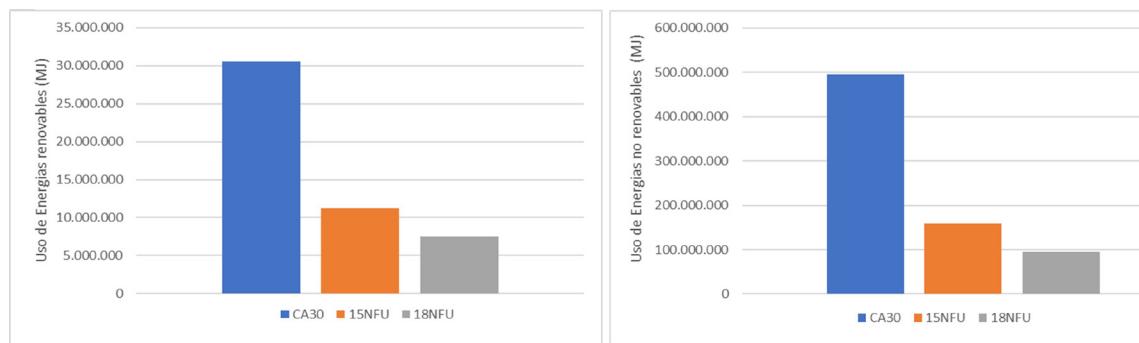


Figura 5. Uso de energías renovables y no renovables

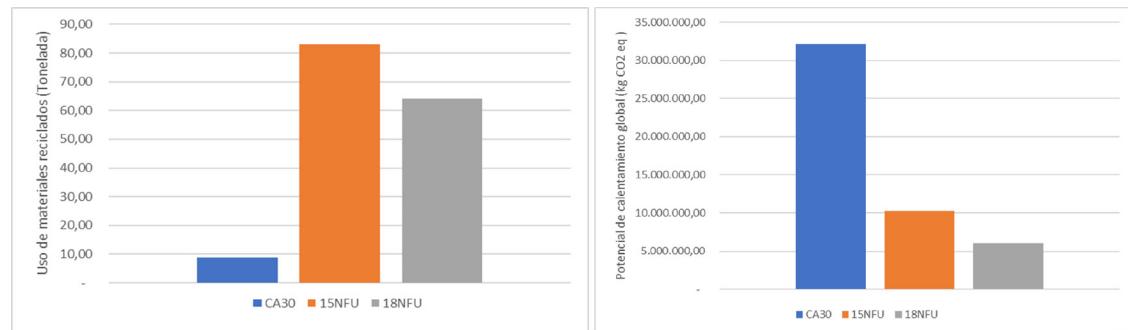


Figura 6. Uso de materiales reciclados y potencial de calentamiento global

### 3.3 Resultados Análisis Ciclo de Vida

El análisis de ciclo de vida realizado con el software LCA Pave demuestra una mejora ambiental notable al incorporar NFU en las mezclas. La mezcla 18 NFU fue la de menor impacto en todas las categorías principales, reduciendo aproximadamente un 80% las emisiones de CO<sub>2</sub> y un 80% el uso de energía no renovable, respecto a la mezcla convencional. Por otra parte, la incorporación de NFU permite incrementar el uso de materiales reciclados más de 30 veces en comparación con la mezcla convencional, promoviendo activamente la economía circular en la industria vial.

Los resultados de este estudio muestran que la adición de caucho reciclado proveniente de neumáticos fuera de uso en mezclas asfálticas no solo mejora el comportamiento mecánico frente a la fatiga, sino que reduce de manera significativa el impacto ambiental en diferentes categorías relevantes. De esta forma se genera un doble beneficio. Por un lado, se prolonga la vida útil del pavimento y se promueve la sostenibilidad mediante la reutilización de residuos y por el otro se reduce el consumo de recursos vírgenes y de emisiones y contaminantes.

## 4. Conclusiones

Mediante el estudio planteado se han realizado mezclas asfálticas con altos porcentajes de neumático fuera de uso. La incorporación de este residuo se realiza por vía húmeda, metodología por la cual se modifica el cemento asfáltico adicionando el 15 y 18 % por encima del 100 % de peso de asfalto. Las mezclas asfálticas elaboradas en laboratorio cumplen con los estándares de requerimientos de las especificaciones técnicas

Para todas las mezclas analizadas, se adopta un período de análisis de 15 años, correspondiente a una vida útil estándar para capas de rodadura en vías urbanas. No obstante, la cantidad de intervenciones necesarias a lo largo de ese período varía notablemente según la mezcla utilizada, en función del análisis planteado.

Las mezclas modificadas con 15 % y 18 % de NFU muestran un comportamiento significativamente más durable. En particular, la mezcla con 18 % de NFU requiere sólo una intervención adicional dentro del período de análisis, lo que implica una disminución considerable en los impactos acumulados por transporte de materiales, consumo energético y generación de residuos asociados al mantenimiento.

Como estudio a seguir, se propone el estudio del seguimiento de las condiciones de servicio de la capa de rodamiento para relacionar estas patologías con los consumos y emisiones de los vehículos que transitan por una ruta en particular. Como parámetro fundamental de este punto del análisis de ciclo de vida se presenta la rugosidad superficial de la capa de rodamiento.

## Referencias

Freites, N., Palumbo, D., Zapata Ferrero, I., Bianchetto, H., Delbono, L., Rivera, J. (2024). *Mezcla asfáltica sustentable con elevada tasa de "RMAP" y agregados de cubicidad controlada. Beneficios en el análisis de ciclo de vida*. XXII CILA Granada

Huang, Y., Bird, R., & Heidrich, O. (2009). Development of a life cycle assessment tool for construction and maintenance of asphalt pavements. *Journal of Cleaner Production*, 17(2), 283-296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.06.005>

International Standard Organization (ISO) (2006a). ISO 14040: 2006. International Standard ISO 14040: Environmental Management - Life Cycle Assessment: Principles and Framework, October. International Organization for Standardization, Geneva (Switzerland).

International Standard Organization (ISO) (2006b). ISO 14044: 2006. International Standard ISO 14044: Environmental Management - Life Cycle Assessment: Requirements and Guidelines, October. International Organization for Standardization, Geneva (Switzerland).

Li, J., Xiao, F., Zhang, L., & Amirkhanian, S. N. (2019). Life cycle assessment and life cycle cost analysis of recycled solid waste materials in highway pavement: A review. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1182-1206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.061>

Nascimento, F., Gouveia, B., Dias, F., Ribeiro, F., & Silva, M. A. (2020). A method to select a road pavement structure with life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122210. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122210>

Reano, M. J. (2022). Análisis de ciclo de vida de mezclas asfálticas sustentables. (Bachelor's thesis). Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Rosario, Argentina.

Santero, N. J., Masanet, E., & Horvath, A. (2011a). Life-cycle assessment of pavements. Part I: Critical review. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(9-10), 801-809. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.03.010>

Santero, N. J., Masanet, E., & Horvath, A. (2011b). Life-cycle assessment of pavements Part II: Filling the research gaps. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(9-10), 810-818. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.03.009>

Segura, A., Botasso, G., Raggiotti, B., Zapata, I., & Rebollo, O. (2023). Valoración inicial de mezclas asfálticas retardante de fisuras reflejas elaboradas con asfaltos con alta incorporación de NFU. *Obras y proyectos*, 34, 18-28. <https://doi.org/10.21703/0718-2813.2023.34.2443>

US Department of Transportation - Federal Highway Administration. (2021). LCA Pave: A tool to assess environmental impacts of pavement material and design decisions - Underlying methodology and assumptions. Report No. FHWA-HIF-22-033. Washington DC., EEUU.

Vialidad Nacional. (2017). Pliego de especificaciones técnicas para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo densos. (Edición 2017). [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/petg\\_1.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/petg_1.pdf)

Zapata Ferrero, I., Rivera, J., & Botasso, G. (2021). Análisis del ciclo de vida en pavimentos: actualidad y perspectiva. *Ingenio Tecnológico*, 3, e016-e016. Recuperado a partir de <https://ingenio.frlp.utn.edu.ar/index.php/ingenio/article/view/57>

Zapata Ferrero, I. (2024). Comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas sustentables con altas tasas de neumático fuera de uso (PhD's thesis). Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional La Plata. La Plata, Argentina.

Zhou, F., Karki, P., & Im, S. (2017). Development of a simple fatigue cracking test for asphalt binders. *Transportation Research Record*, 2632(1), 79-87. <https://doi.org/10.3141/2632-09>

## Contribución de los Autores

Nombres y Apellidos del autor	Colaboración Académica													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ignacio Zapata Ferrero	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x	x
Bianca Valentina Hrichina		x			x	x	x		x	x	x			x

1-Administración del proyecto, 2-Adquisición de fondos, 3-Análisis formal, 4-Conceptualización, 5-Curaduría de datos, 6-Escritura - revisión y edición, 7-Investigación, 8-Metodología, 9-Recursos, 10-Redacción - borrador original, 11-Software, 12-Supervisión, 13-Validación, 14-Visualización.