



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

# Influencia de la durabilidad de los firmes asfálticos en la sostenibilidad de las infraestructuras de transporte rodado

Ruy Núñez Pawlowsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup> JRS GmbH, Rosenberg, Alemania, ruy.nunez@jrsiberica.com

## Resumen

La sostenibilidad de las actividades humanas resulta un requisito indispensable si queremos evitar los peligros del rebasamiento de la capacidad de la biosfera lo que supone un peligro para la misma existencia humana. Lentamente, quizá demasiado, la sociedad mundial está desarrollando iniciativas para alcanzar dicho objetivo y la industria de la pavimentación asfáltica no se ha quedado atrás.

En este sentido llevamos algunos años ya impulsando las mejores técnicas disponibles (MTD) para avanzar en esta senda, específicamente podemos hablar de: la reducción de temperatura en el proceso de pavimentación, la reutilización del asfalto resultante de la demolición de carreteras o la incorporación de subproductos de otras industrias que siempre deberían aportar algún valor añadido a la extraordinaria reciclabilidad de los sistemas bituminosos.

Pero dado que al considerar las redes de carreteras en conjunto el principal foco emisor de afecciones al medioambiente son las emisiones asociadas a la circulación de vehículos se ha querido llevar a cabo un ejercicio estimativo del orden de magnitud que representa la sostenibilidad de un firme de carretera en función de su durabilidad y compararlo, además, con las MTD.

Este artículo desarrolla este ejercicio y sus resultados e incorpora un análisis de emisiones asociadas al empleo de diferentes tipos de mezclas bituminosas a partir de las declaraciones ambientales de producto (DAP) elaboradas por la Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas.

**Palabras Clave:** Durabilidad; Sostenibilidad; Declaración Ambiental de Producto; SMA.

## 1 Introducción

Las actividades humanas, como las de todas las especies vivas, conllevan un impacto sobre el entorno. Sin embargo, la capacidad del ser humano para desarrollar tecnología que facilita el trabajo y el descubrimiento de fuentes de energía abundante y barata han ampliado la capacidad de transformación hasta el punto de que el impacto de nuestras actividades supone un riesgo de rebasar los límites de seguridad en varios de los factores que controlan el equilibrio de la biosfera [1].

Dicho rebasamiento podría suponer un cambio radical en las condiciones que gobiernan la biosfera de la Tierra poniendo en riesgo la forma de vivir tanto de los humanos como del resto de seres vivos. Incluso hay científicos que sugieren la posibilidad de poner en riesgo la pervivencia misma de la especie humana en un horizonte temporal de unos pocos siglos [2].

Con el objetivo de intentar revertir dichos rebasamientos, o por lo menos, frenar las consecuencias más graves, la sociedad planetaria se ha fijado la sostenibilidad como meta a alcanzar en pocas décadas. Este objetivo implica a todas las áreas de actividad de todas las sociedades humanas, exceptuando aquellas que viven aisladas y en equilibrio con su entorno.

Cabe señalar, sin embargo, que los esfuerzos desplegados hasta el momento no están teniendo apenas efectos reseñables en cuanto a los indicadores de consumo de recursos y de afecciones al



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

entorno. Si nos fijamos en dos de los parámetros más habituales para medir dichas afectaciones veremos que esta tesis se cumple. En la Figura 1 se presenta el incremento histórico en el uso de energía primaria durante los últimos 223 años. De la misma se pueden extraer dos conclusiones muy relevantes:

1. Hasta la última fecha registrada (2023) el consumo total de energía no ha parado de aumentar. Dado que la energía es capacidad de hacer trabajo, dicho incremento lleva asociado el incremento del consumo de materiales (minerales, metales, cemento, etc., etc.) y las consiguientes emisiones de residuos dado que no vivimos en una economía circular.
2. Asimismo, se puede concluir que por el momento no existe una transición energética ya que aunque sí se aprecia un aumento del porcentaje de energía primaria proveniente de fuentes renovables, la energía primaria proveniente de fuentes fósiles no ha dejado de crecer.

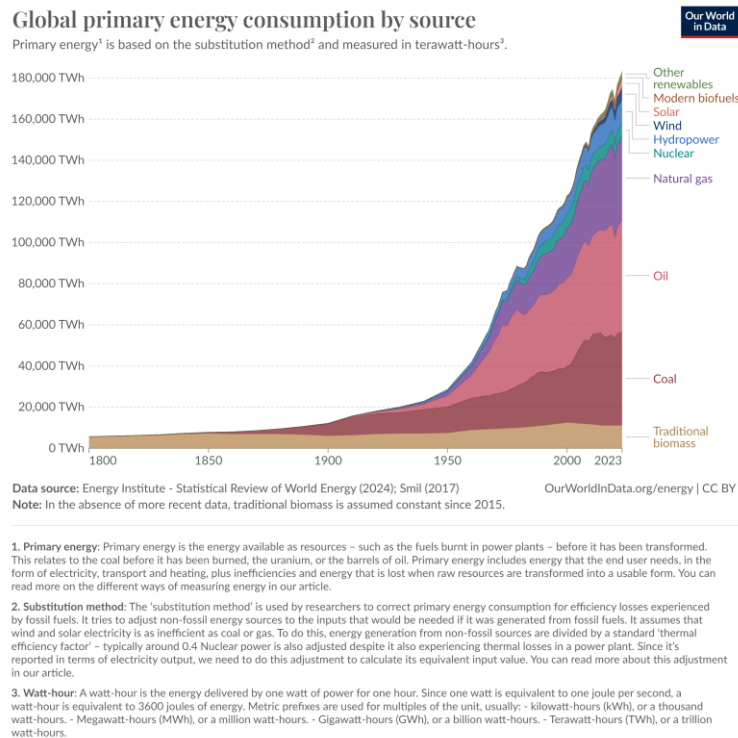


Figura 1. Evolución histórica del consumo de energía primaria en el mundo

En la Figura 2 podemos ver la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> y apreciamos sin dificultad que hasta el 15 de abril de 2024 no han dejado de crecer, lo que es un claro indicador de que el conjunto de afectaciones a la biosfera derivadas de la actividad humana no sólo no se ha revertido, sino que ni siquiera se ha frenado y sigue creciendo.



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

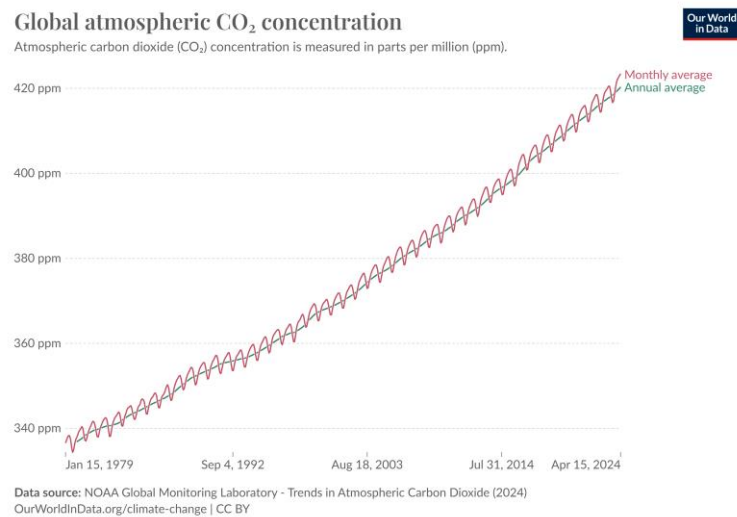


Figura 2. Evolución histórica de la concentración de partículas de CO<sub>2</sub> en la atmósfera

Con estas conclusiones relativas a la perspectiva amplia de la sostenibilidad cabe decir que la sociedad humana ha de ser mucho más ambiciosa si quiere evitar los riesgos asociados a la forma actual de desempeñarse sobre el planeta.

## 2 Reducción de emisiones en la industria del asfalto

La industria del asfalto también está desarrollando esfuerzos para reducir su impacto en el medio ambiente y son varias las estrategias a las que se les dedica atención y recursos. Cuando hablamos de esta cuestión rápidamente se piensa en dos técnicas:

- 1 La reducción de la temperatura en el proceso de fabricación, transporte y puesta en obra del asfalto
- 2 La reutilización de asfalto procedente de firmes fresados

Adicionalmente, se suele considerar la capacidad del asfalto como sistema capaz de incorporar residuos procedentes de otras industrias. El ejemplo más evidente de esta técnica es el uso de polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso.

Todas estas estrategias anteriores se conocen generalmente como mejores técnicas disponibles (MTD).

Pero también muy frecuentemente se olvida tomar perspectiva de la problemática y llevar a cabo un análisis general del sistema carretera para ver dónde y cómo puede ser más efectivo concentrar los esfuerzos de la industria a la hora de contribuir a la reducción global de emisiones. A modo de ejemplo y tomando el caso de España podemos observar que las emisiones del sector del transporte<sup>1</sup> en el país en 2019 fueron  $91 \cdot 10^6$  tCO<sub>2</sub>eq.

Si ahora hacemos una estimación de las emisiones de la industria del asfalto en el mismo año considerando que se produjeron  $18,8 \cdot 10^6$  t de mezcla y sabiendo que la inmensa mayoría

<sup>1</sup> Esta cifra incluye emisiones de modos de transporte como la aviación o el transporte marítimo, pero aunque no se dispone de los datos desagregados sí se sabe con certeza que el mayor porcentaje corresponde al tráfico rodado por carretera.



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

corresponden a mezclas de tipo AC con un valor promedio de emisiones de fabricación de 60 kgCO<sub>2</sub>eq/t tenemos que las emisiones de la industria del asfalto en España en 2019 fueron de 1,13·10<sup>6</sup> tCO<sub>2</sub>eq.

Obviamente se trata de una estimación grosera pero que nos permite observar que las emisiones asociadas a la construcción y conservación de carreteras supone apenas algo más de un 1% de las emisiones del transporte. Sin querer ser exactos sí podemos dar por hecho que las emisiones de la industria del asfalto son prácticamente dos órdenes de magnitud menores que las del tráfico que circula por ellas.

Según diversos estudios, el simple hecho de mantener un buen IRI en una carretera puede suponer una reducción de las emisiones de los vehículos de entre un 2 y un 5% (referencias). Por tanto, mantener una buena regularidad superficial puede suponer un ahorro de emisiones del sistema en su conjunto muy notable. Incluso si imaginamos un escenario de cero emisiones por parte de la industria, el mantener una buena regularidad superficial tiene más impacto en las emisiones del sistema en su conjunto.

Ante esta conclusión, parece sensato plantearse otras estrategias de reducción de emisiones para la industria del asfalto que no únicamente las MTD. Y es en esta dirección que este artículo pretende analizar el impacto de la durabilidad de un firme en las emisiones de CO<sub>2</sub>eq comparando dos estrategias de diseño y conservación y posteriormente ver cómo se sitúa la durabilidad frente a las MTD.

### 3 Estrategias de construcción y conservación

Para el análisis comparativo que nos permita analizar el impacto de la durabilidad planteamos dos estrategias vinculadas a +horizontes temporales:

- 1 Horizonte convencional de 20 años; correspondiente a la vida útil de diseño asumida en los métodos convencionales, por ejemplo, el catálogo de firmes de la instrucción 6.1-IC de la normativa española.
- 2 Horizonte avanzado de 50 años; correspondiente a un diseño acorde a la estrategia de los denominados pavimentos de larga duración (long-lasting pavements, según terminología europea, o perpetual pavements, según la terminología estadounidense).

En la figura 3 se presentan los elementos básicos del módulo de análisis:

- 1 El periodo de vida, en años
- 2 Las emisiones asociadas a la construcción del firme (C)
- 3 Las emisiones asociadas a la conservación del firme (R)
- 4 Las emisiones asociadas a la demolición del firme (D)

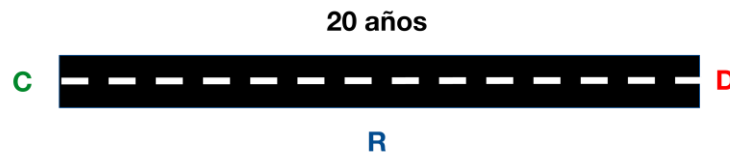


Figura 3. Elementos básicos del módulo de análisis



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

La determinación de valores absolutos de emisiones en cada una de las tres etapas de la vida útil es una tarea compleja, puesto que intervienen factores muy específicos de cada caso concreto. Basta pensar en las distancias de transporte de materiales para diferentes obras.

Sin embargo, como lo que pretendemos evaluar es el impacto relativo entre las dos estrategias no necesitamos conocer el valor exacto.

#### 4 Análisis comparativo de las dos estrategias

En la Figura 4 se presentan los esquemas asociados a las dos estrategias en un plazo que permite desarrollar completamente una serie de módulos para cada estrategia y de esta forma obtener resultados comparables. Dicho plazo de análisis resulta ser de 100 años y vemos indicadas con las correspondientes iniciales las etapas de construcción, conservación y demolición.

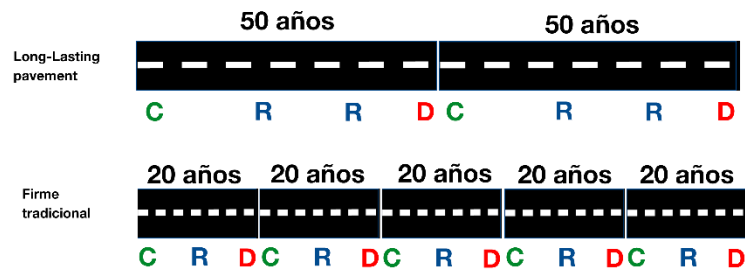


Figura 4. Esquemas de las dos estrategias consideradas en el análisis en un plazo homogéneo

De esta forma vemos que las emisiones asociadas a cada una de las estrategias resultan ser:

- 1  $5C + 5R + 5D$  para el horizonte de 20 años
- 2  $2C + 4R + 2D$  para el horizonte de 50 años

A la vista de estos resultados apenas podemos decir nada acerca de las emisiones asociadas a cada estrategia. Para obtener valores comparables necesitamos homogeneizar las emisiones de cada etapa de forma que no nos queden tantas incógnitas. Para ello vamos a hacer las siguientes asunciones:

- 1 Las emisiones de la demolición son iguales a las de la construcción. Por tanto,  $D = C$ <sup>2</sup>
- 2 Las emisiones de la conservación son una cuarta parte de las de la construcción. Por tanto,  $R = C/4$ <sup>3</sup>

Con dichas igualdades las emisiones de cada horizonte quedan:

- 1  $11,5C$  para el horizonte de 20 años
- 2  $5C$  para el horizonte de 50 años

<sup>2</sup> No se consideran aquí posibilidades de reutilización o reciclado de los materiales, y dado que en la etapa de construcción el factor más gravoso en términos de emisiones es el transporte, si consideramos una demolición del firme asfáltico con transporte a vertedero o a planta para su posterior tratamiento, las emisiones asociadas a esta actividad pueden considerarse parecidas a las de la construcción.

<sup>3</sup> Nuevamente es muy difícil determinar una relación de esta naturaleza. Pero esta asunción se considera aceptable en tanto en cuanto posteriormente se hará un análisis de sensibilidad sobre la misma.



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

Con estos resultados obtenemos que la estrategia del firme de larga duración tiene unas emisiones un 57% menores que las del firme convencional. De otra manera, hemos logrado reducir a menos de la mitad las emisiones en el ciclo de vida del firme con un planteamiento enfocado en la durabilidad.

## 5 Análisis de sensibilidad

Para ver si podemos considerar el resultado como un valor sensato se realiza a continuación un análisis de sensibilidad en términos de las relaciones entre las emisiones asociadas a las etapas de conservación y demolición respecto a las de la construcción.

### 5.1 Sensibilidad de la etapa de conservación

En primer lugar vamos a considerar que la conservación finalmente implica emisiones tan grandes como las de la etapa de construcción. En dicho caso tenemos que:

$$R = C \quad (1)$$

y por lo tanto, las emisiones totales del periodo de análisis resultan:

- 1 15C para el horizonte de 20 años
- 2 8C para el horizonte de 50 años

Consecuentemente, el ahorro en este caso es de un 47%, que sigue siendo notable. Si ahora consideramos que no son una cuarta parte, sino la mitad, tenemos que:

$$R = C/2 \quad (2)$$

y por lo tanto, las emisiones totales del periodo de análisis resultan:

- 1 12,5C para el horizonte de 20 años
- 2 6C para el horizonte de 50 años

Y en este caso el ahorro es de un 52%, que también es muy importante.

### 5.2 Sensibilidad de la etapa de demolición

En el caso base se ha considerado que las emisiones de la etapa de demolición son iguales que las de la etapa de construcción. Veamos cómo queda el conjunto si reducimos esa relación a la mitad:

$$D = C/2 \quad (3)$$

En este caso las emisiones totales en cada horizonte resultan ser:

- 1 10C para el horizonte de 20 años
- 2 5C para el horizonte de 50 años

Y el ahorro que logramos es exactamente del 50%.

### 5.3 Sensibilidad de las etapas de conservación y demolición

Si combinamos las variaciones tanto en la etapa de conservación como en la de demolición los resultados no distan mucho de lo visto hasta ahora. Consideremos primero el caso en que todas las etapas tienen las mismas emisiones asociadas:

$$C = R = D \quad (4)$$



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

En este caso las emisiones totales en cada horizonte resultan ser:

- 1 15C para el horizonte de 20 años
- 2 8C para el horizonte de 50 años

Este caso ya lo habíamos visto en el apartado 5.1 y arroja un ahorro del 47%

Si por el contrario, consideramos que tanto la conservación como la demolición tienen emisiones que suponen la mitad de las de la construcción:

$$C/2 = R = D \quad (5)$$

En este caso las emisiones totales en cada horizonte resultan ser:

- 1 10C para el horizonte de 20 años
- 2 5C para el horizonte de 50 años

Este caso también lo habíamos visto en el apartado 5.2 y arroja un ahorro del 50%.

Finalmente, por extremar el análisis de sensibilidad consideremos el caso en que tanto conservación como demolición suponen emisiones que son una cuarta parte las de la construcción:

$$C/4 = R = D \quad (6)$$

En este caso las emisiones totales en cada horizonte resultan ser:

- 1 7,5C para el horizonte de 20 años
- 2 3,5C para el horizonte de 50 años

En este caso se obtiene un ahorro del 53%

#### 5.4 Sensibilidad de la etapa de construcción

Para terminar el análisis de sensibilidad, consideremos que las emisiones asociadas a la construcción del firme en la estrategia a 20 años son la mitad que las de la estrategia de 50 años, para considerar que probablemente el primer firme es de menor espesor que el segundo, aunque probablemente no sea la mitad de grueso. No obstante, con esta consideración nos ponemos en un caso extremo.

Así pues, si  $C_{20} = C_{50}/2$  y considerando el resto de asunciones del caso básico, tenemos que:

- 1  $5.75C_{50}$  para el horizonte de 20 años
- 2  $5C_{50}$  para el horizonte de 50 años

En este caso se obtiene una disminución notable del ahorro que queda reducido a un mero 13%. Pero dado que se trata de una asunción extrema, como ya se ha planteado, se puede considerar que este sería un límite inferior.

A la luz de los resultados del análisis de sensibilidad se considera adecuado tomar como valor orientativo un ahorro del 50% en la estrategia de 50 años comparada con la de 20 años.

### 6 Comparación con las MTD

Con el fin de poner en perspectiva qué puede aportar la durabilidad en la estrategia de reducción de emisiones ligadas a la construcción y conservación de carreteras se presentan a continuación algunos valores de ahorro de las mismas ligados a las MTD.

De nuevo se constata la dificultad de evaluar las emisiones de una actividad industrial como es la fabricación de mezclas asfálticas. Eso implica que muchas veces sea también difícil evaluar el ahorro



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

que permiten diferentes acciones. Para poner de relieve la consideración global del ahorro de cada MTD baste considerar que cuando nos referimos a la reducción de temperatura, disponemos de un amplísimo rango de posibles reducciones a partir de la temperatura estándar (aproximadamente 165 °C) o que para las mezclas con incorporación de material fresado también podemos considerar diferentes porcentajes de adición.

No obstante, en un artículo de Sampetro [3] que presenta un análisis detallado sobre emisiones, encontramos los siguientes valores:

- Para una reducción de entre 25 y 30 °C se obtiene un ahorro de un 8%
- Para mezclas fabricadas a menos de 100 °C, aunque no muy lejos de esta temperatura, se obtiene un ahorro de un 15%
- Y para mezclas en frío el ahorro alcanza el 35%

En el mismo artículo se analiza también el ahorro que ofrece la incorporación de material fresado. Los valores que recoge dicho artículo son:

- Entre el 5 y el 10% de ahorro para contenidos de material fresado reutilizado de entre un 20 y un 70%

Quedaría finalmente considerar la combinación de estas dos MTD para intentar aprovechar simultáneamente los beneficios de ambas. Revisando la bibliografía técnica se ha encontrado un valor propuesto por Ortiz [4] del 25% de ahorro para una mezcla fabricada con las siguientes condiciones:

- Planta de fabricación en la cantera
- Distancia a obra de 60 km
- Fabricación a 130 °C
- Incorporación de un 30% de material fresado

Asimismo, este artículo ofrece una perspectiva de la complejidad de este tipo de análisis ya que en la presentación de la herramienta de evaluación de impactos ambientales de las mezclas bituminosas ECCO2 se menciona que se necesitan hasta 92 variables para determinar las emisiones de una mezcla fabricada y colocada en obra.

## **7 Consideración de las declaraciones ambientales de producto (DAP)**

Tan recientemente como 2023 la Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA) presentó el resultado de su iniciativa sectorial para desarrollar las Declaraciones Ambientales de Producto [5]. Dichos documentos evalúan el comportamiento ambiental, o impacto, de un producto mediante datos cuantificados a lo largo de todo su ciclo de vida.

Estas evaluaciones suponen un laborioso ejercicio en el que se recopilan multitud de datos sobre el ciclo de vida de un producto. En el caso de las DAP impulsadas por ASEFMA se ha llevado a cabo un esfuerzo de varias de las empresas asociadas lo que ha permitido obtener unos valores promedio.

Tienen la voluntad de servir como valor de referencia en el esfuerzo por reducir el impacto de las mezclas.

De nuevo, y debido a la enorme variabilidad de las condiciones ligadas a la construcción y mantenimiento de firmes, el alcance de las DAP se restringe al ciclo de vida de la cuna a la puerta (etapa A) con opciones ligadas a la reutilización, recuperación y reciclaje.

Se han desarrollado para cuatro tipos de mezclas:





Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

- Mezclas AC
- Mezclas BBTM
- Mezclas SMA
- Mezclas PA

Y los resultados obtenidos han sido los siguientes:

- Mezclas AC: 60,7 kgCO<sub>2eq</sub>/t mezcla
- Mezclas BBTM: 79,7 kgCO<sub>2eq</sub>/t mezcla
- Mezclas SMA: 86,6 kgCO<sub>2eq</sub>/t mezcla
- Mezclas PA: 70,2 kgCO<sub>2eq</sub>/t mezcla

Como se observa, las mezclas SMA son las que tienen un mayor impacto. Sin embargo, si tenemos en cuenta el factor de colocación y el factor de durabilidad las cosas cambian sustancialmente.

Consideremos el uso de las cuatro mezclas en la constitución de una capa de rodadura. La práctica habitual en España es constituir capas de rodadura de 5 cm de espesor en el caso de las mezclas AC y de 3 cm en el caso de las otras tres mezclas. Si consideramos entonces una densidad de referencia de las mezclas de 2,4 t/m<sup>3</sup> y los espesores antes mencionados no queda que el impacto por m<sup>2</sup> de cada familia es el siguiente:

- Mezclas AC: 1,26 kgCO<sub>2eq</sub>/ m<sup>2</sup> mezcla
- Mezclas BBTM: 1,00 kgCO<sub>2eq</sub>/ m<sup>2</sup> mezcla
- Mezclas SMA: 1,08 kgCO<sub>2eq</sub>/ m<sup>2</sup> mezcla
- Mezclas PA: 0,88 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>2</sup> mezcla

Bajo este prisma, ahora es la mezcla AC la que resulta más gravosa en términos medioambientales, mientras que la mezcla PA resulta la más conveniente.

Si repetimos este análisis considerando la vida media para cada capa a partir de la durabilidad que ofrece cada tipo de mezcla<sup>4</sup> obtenemos estos otros valores de impacto:

- Mezclas AC: 4,34 kgCO<sub>2eq</sub>/t mezcla·año
- Mezclas BBTM: 7,97 kgCO<sub>2eq</sub>/t mezcla·año
- Mezclas SMA: 4,33 kgCO<sub>2eq</sub>/t mezcla·año
- Mezclas PA: 7,02 kgCO<sub>2eq</sub>/t mezcla·año

Lo que resulta desde la perspectiva del ciclo de vida de la mezcla a lo largo de su vida útil es que la más conveniente es la mezcla SMA, muy pareja con la AC.

Si combinamos ambos análisis para considerar tanto el espesor de mezcla en la capa de rodadura, como su durabilidad, lo que nos aproxima más a un valor correspondiente al ciclo de vida (obviando, evidentemente, los impactos derivados de la conservación), tenemos que:

- Mezclas AC: 0,09 kgCO<sub>2eq</sub>/ m<sup>2</sup> mezcla·año
- Mezclas BBTM: 0,10 kgCO<sub>2eq</sub>/ m<sup>2</sup> mezcla·año

---

<sup>4</sup> Consideramos los valores de vida media de capa ofrecidos por EAPA, 2007 (AC: 14 años; BBTM: 10 años; SMA: 20 años; PA: 10 años)



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

- Mezclas SMA: 0,054 kgCO<sub>2eq</sub>/ m<sup>2</sup> mezcla·año
- Mezclas PA: 0,088 kgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>2</sup> mezcla·año

Y nuevamente, como en el análisis desarrollado en el apartado AA se observa que la consideración de la durabilidad de una mezcla empleada en una capa de firme, tiene un impacto muy grande a la hora de medir los potenciales ahorros en emisiones, o de forma más genérica, en los impactos al medio ambiente. Se observa en este último escenario que las mezclas SMA suponen un ahorro del 46% comparadas con las mezclas BBTM y del 40% respecto a las mezclas AC.

## 8 Conclusiones

Asumiendo que los análisis de impacto medioambiental de cualquier actividad humana son habitualmente muy complejos y que el estudio comparativo presentado en este artículo es por naturaleza muy grosero podemos enumerar las siguientes conclusiones:

- 1 De los datos observados en términos de consumo energético se desprende que la humanidad no ha conseguido de momento disminuir el consumo global de recursos, fundamentalmente no renovables.
- 2 Asimismo, tampoco se aprecian signos de una transición energética desde una base de fuentes de origen no renovable (energías de origen fósil o mineral) a otra de origen renovable.
- 3 Todo ello se traduce en que la concentración de partículas de CO<sub>2</sub> en la atmósfera no ha dejado de crecer y ni siquiera se aprecia una reducción en la velocidad de crecimiento.
- 4 Considerando el sistema carretero en su conjunto, resultan más impactantes las estrategias de mantenimiento del IRI que permiten reducir las emisiones de los vehículos que circulan por la infraestructura que cualquier acción que conduzca a reducir las emisiones de la construcción y conservación de la infraestructura en sí misma.
- 5 Centrándonos en la construcción y conservación propiamente, se ha observado que la durabilidad de un firme es una estrategia muy interesante a la hora de reducir las emisiones ligadas a la construcción y conservación de carreteras. El ahorro derivado de emplear diseños tipo Long-Lasting Pavement frente a los diseños convencionales pueden aportar ahorros de emisiones que se pueden estimar en un 50% para la primera opción.
- 6 Un análisis de sensibilidad en los valores considerados arroja ese 50% como un valor plausible, si bien la inclusión de diferentes espesores entre un caso y otro podría reducir dicho valor.
- 7 Comparando con las mejores técnicas disponibles se puede concluir que el ahorro derivado de estrategias que primen la durabilidad son del mismo orden de magnitud.
- 8 Analizando los resultados de las Declaraciones Ambientales de Producto sectoriales auspiciadas por ASEFMA en España, se concluye también que la consideración de la durabilidad y una perspectiva de ciclo de vida proporcionan una métrica más adecuada a la hora de evaluar las emisiones e impactos de un producto. De esta forma las mezclas SMA ofrecen el mayor ahorro de emisiones e impactos de las cuatro familias de mezclas consideradas.

## 9 Referencias

[1] Fanning, A.L., O'Neill, D.W., Hickel, J. et al. (2022). *The social shortfall and ecological overshoot of nations*. Nature Sustainability 5, 26–36.  
<https://doi.org/10.1038/s41893-021-00799-z>



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

- [2] Kemp, L., Xu, C., Depledge, J., Lenton, T.M., et al. (2022). *Climate Endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios*. PNAS Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences. Cambridge, MA. <https://doi.org/10.1073/pnas.2108146119>
- [3] Sampedro, A. (2020). *Determinación de la Huella de Carbono de las Mezclas Asfálticas en Caliente y sus técnicas sostenibles*. Blog del Colegiado, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canals y Puertos, Delegación de Madrid. [Determinación de la Huella de Carbono de las Mezclas Asfálticas en Caliente y sus técnicas sostenibles - Caminos Madrid](#)
- [4] Ortiz, J., Miró, R., Crisén, X., Martínez, A. (2020). *Valoración de emisiones de gases de efecto invernadero de mezclas bituminosas mediante el modelo ECCO2*. *Asfalto y pavimentación*, vol. 38, p. 11-23. <http://hdl.handle.net/2117/348190>
- [5] ASEFMA (2023). *Declaración Ambiental de Producto. Mezclas Asfálticas Tipo AC/BBTM/SMA/PA*. Madrid, AENOR. Códigos de registro: GlobalEPD EN15804-045, GlobalEPD EN15804-046, GlobalEPD EN15804-048, GlobalEPD EN15804-047