

# Reducción de los costes sociales y ambientales de las mezclas LIFE-SOUNDLESS.

David García Ruiza,  
M<sup>a</sup> del Carmen Pastrana Zambrana,  
M<sup>a</sup> Elena Hidalgo Pérez ,  
Miguel Angel Morcillo López ,  
Manuel Ignacio Gonzalez Hernández,  
M<sup>a</sup> Begoña Arroyo Martínezb,  
Juana Torres Pérez

Fundación CIDAUT,  
davgar@cidaut.es  
Dirección General de Infraestructuras,  
mariac.pastrana@juntadeandalucia.es  
Eiffage Infraestructuras S.A.  
mehidalgo@infraestructuras.eiffage.es

El proyecto demostrativo LIFE-SOUNDLESS cofinanciado por la Unión Europea tiene como objetivo proponer una nueva generación de asfaltos con materiales reciclados de alta durabilidad y rendimiento acústico. Los materiales reciclados procedentes del final de la vida útil de los neumáticos, polvo de caucho y fibras textiles, y los rechazos de productos plásticos de la industria procedentes de masterbatches, se incluyen en las nuevas mezclas de pavimentos para reducir la generación de ruido de rodadura, y por otro lado, que los pavimentos mejoren su impacto ambiental. Para comprender la importancia de cada concepto, se da un valor de monetización al impacto ambiental y al impacto sobre las personas, y se lleva a cabo una intercomparación de los mismos. Gracias a esto, se muestran conclusiones relevantes que resaltan la importancia de los mapas de ruido de las carreteras y la mejora del impacto acústico sobre las personas como regla prioritaria en la selección de las mezclas asfálticas.

**Palabras Clave:** Ciclo de vida, mezclas asfálticas sono-reductoras, medioambiente, impacto acústico.

The European Project LIFE-SOUNDLESS has the objective to propose new generation of eco-friendly asphalts with recycled materials and high durability and acoustic performance. Recycled materials from end-life tires and plastic rejections from industry are included in new pavement mixtures to reduce rolling noise generation and on the other hand, life cycles of the pavements improve their environmental impact. In order to understand the importance of each concept a monetization value is given about the environmental and social impact and an intercomparison is carried out. Thanks to the intercomparison, relevant conclusions are shown and focus on the importance of noise road maps and the improvement of acoustic impact on people as a priority rule when asphalt mixtures are chosen.

**Keywords:** Life cycle, soundless asphalt mixtures, environment, acoustic impact.

## 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto europeo LIFE-SOUNDLESS tiene por objetivo la propuesta y validación de nuevas mezclas asfálticas sono-reductoras basadas en la reutilización de productos de desecho de otras industrias, para mitigar la contaminación acústica en el punto de origen, garantizando su durabilidad y aplicabilidad, así como en última instancia, alentar a los organismos públicos a su aplicación. Por lo tanto, el proyecto LIFE-SOUNDLESS pretende dar una solución eficaz para dar forma a un futuro sosteni-

nible y saludable en zonas problemáticas por nivel de ruido debido a rodadura de los automóviles, y en especial en las zonas urbanas.

El proyecto también tiene la finalidad de servir de base para la generación de recomendaciones sobre el uso de pavimentos reductores de ruido de rodadura y, por lo tanto, contribuir a la adopción de las especificaciones europeas para pavimentos asfálticos que reducen el ruido.

Dentro de la diversidad de soluciones, en cuanto a pavimentación, existentes, el presente proyecto aborda la mejora

## Reducción de los costes sociales y ambientales de las mezclas LIFE-SOUNDLESS.

y evolución del rendimiento acústico de este tipo de mezclas en zonas cálidas, como es el caso de Sevilla, donde el incremento de betún podría generar otros problemas diferentes de los países del norte de Europa.

En el seno del proyecto se ha considerado fundamental no sólo la reducción de ruido, sino la posibilidad de evaluar, y a ser posible cuantificadamente, las mejoras ocasionadas a la población expuesta a dicho ruido inicial.

Por otro lado, los pavimentos propuestos pretenden no sólo ser útiles mediante el empleo de materiales reciclados, sino que en términos globales, conseguir un menor impacto ambiental dentro de todo el ciclo de vida del pavimento, es decir, desde que se extraen las materias primas, a su manufactura y extendido, y durante el resto de su vida útil. Dada la duración del proyecto, la validación de todo el ciclo de vida del pavimento no se realizará dentro del mismo y por ello, por mantener disgregada las estimaciones de los datos validados, se ha prescindido de los costes asociados al mantenimiento y retirada de dichos pavimentos.

Finalmente indicar que gracias al diseño pormenorizado del diagrama de flujo del proceso de fabricación dentro del análisis del ciclo de vida de los pavimentos, es fácil determinar los costes que implica su fabricación, los cuales y en referencia a los pavimentos sono-reductores propuestos, han de ser en lo posible también menores.

Tras un estudio exhaustivo de las propiedades sono-reductoras de las diferentes mezclas con materiales reciclados y tras comprobar que eran conformes las especificaciones del PG3 (Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes), se han propuesto las siguientes mezclas, para ser validadas en las dos carreteras piloto establecidas:

- SMA8 mezcla con betún convencional y con un porcentaje del 1,0% de plástico reciclado. Extendida en el tramo piloto de la A-376.
- SMA8 mezcla con betún convencional con un porcentaje de 0,5% plástico reciclado y 0,5% de polvo de caucho. Extendida en el tramo piloto de la A-376.
- SMA8 mezcla con betún convencional con un porcentaje de 0,5% de fibras de nylon recicladas. Extendida en el tramo piloto de la A-376.
- SMA8 mezcla con betún convencional con un porcentaje del 1% de caucho sobre mezcla. Extendida en el tramo piloto de la A-8058.
- SMA8 mezcla con betún convencional con porcenta-

je de betún de 6,5% y del 1,5% de caucho sobre mezcla. Extendida en el tramo piloto de la A-8058.

Además, se han tomado a modo de referencia dos mezclas asfálticas, una del tipo SMA (Stone Mastic Asphalt), la cual sirve de base a las nuevas mezclas sono-reductoras, y otra tradicionalmente empleada en España como es la mezcla AC16, es decir, mezcla bituminosa con betún convencional 35/50.

Los tramos piloto seleccionados para la prueba y el análisis del impacto acústico sobre la población fueron seleccionados tras un riguroso análisis de la acústica de la zona, debido al número de reclamaciones por parte de los habitantes del lugar, por la alta sonoridad del tráfico. Tras comprobar que la principal fuente de ruido era el ruido por rodadura del tráfico se delimitó el lugar donde extender las nuevas mezclas sono-reductoras, con el fin de reducir con mayor efectividad la sonoridad ambiental. Dichos tramos seleccionados han sido:

- Tramo 1: A-376 (Sevilla-Utrera). 800 m. 80 km/h. IMD 80.000
- Tramo 2: A-8058 (Sevilla-Coria). 600 m. 50 km/h. IMD 30.000

La situación inicial del pavimento, por ejemplo en el tramo Sevilla-Utrera mostrado en la figura 1, se encontraba en unos niveles aceptables de conservación, por lo que al concluirse que el problema principal era originado por la rodadura de los vehículos, se determinó la necesidad del cambio de mezcla asfáltica. Una vez diagnosticado el origen de la contaminación acústica, se estableció una metodología para evaluar la contribución real que va a aportar la solución propuesta, así como un seguimiento temporal de la misma, durante la vigencia del estudio piloto de 3 años (actualmente se ha cumplido el segundo año). Dicha metodología se basa en dos métodos acústicos de ensayo: el método CPX y el método SPB.



Figura 1. Estado inicial del tramo piloto previo al reasfaltado con las mezclas LIFE-SOUNDLESS.

El método CPX (Close ProXimity method) mide directamente el nivel de ruido de rodadura generado conforme a la norma ISO 11819-2. Por otro lado se emplea también el método SPB (Statistical Pass By noise) que mide el ruido del tráfico real ambiental y que está especificado en la norma ISO 11819-1.

Las reducciones de sonoridad en SPB de las mezclas LIFE-SOUNDLESS propuestas alcanzan los 9 dB en la A-376 y 5 dB en la A-8058. Además cabe indicar que la variabilidad de los tramos es inferior a 1dB, mientras que en el asfalto originario rondaba los 2-3 dB.

## 2. COSTES MEZCLAS SONO-REDUCTORAS

Cuando se habla de costes, hay que advertir que no sólo existen unos costes originados por la fabricación del producto, mantenimiento y retirada, sino que también existen unos costes ambientales. Estos últimos se obtienen, de una manera más o menos estandarizada, transformando el impacto ambiental a costes monetarios, para una más fácil interpretación. Por otro lado, existen unos costes que vienen determinados por el uso de dicho pavimento y entre los que se encuentra el impacto generado por el ruido de rodadura de los vehículos. Dicho impacto acústico influye directamente tanto en las personas como a la fauna. Lamentablemente la valoración del impacto acústico en términos de costes no se encuentran actualmente respaldados por metodologías estandarizadas y la mayor parte de los estudios son genéricos, donde no se vinculan los efectos del ruido con la tipología de la fuente de ruido, y por tanto del tipo de frecuencias transmitidas. Además, es conveniente que dichos estudios también se puedan monetizar para su fácil comprensión y comparación (como en el caso del impacto medioambiental). En el presente artículo se empleará una metodología de estudio publicada por el departamento de medioambiente, alimentación y asuntos rurales (Department for Environment Food & Rural Affairs, DEFRA) del gobierno del Reino Unido, que de una manera conservadora trata de monetizar los daños sobre la salud humana, causados por el ruido originado por el transporte. Dicha herramienta es una de las más evolucionadas dentro de la valoración de los efectos del ruido, y es ofrecida por el gobierno británico para ser empleada en la valoración de políticas y acciones en zonas problemáticas en términos económicos.

A continuación se comentan más en detalle los diferentes

costes analizados en el proyecto LIFE-SOUNDLESS.

### 2.1 Costes de Fabricación

Dentro del proyecto LIFE-SOUNDLESS, se ha realizado un análisis del ciclo de vida (ACV) de los pavimentos asfálticos propuestos, para determinar el impacto ambiental de estos frente a dos de referencia. El hecho de modelar el mapa de los procesos dentro de dicho estudio del ciclo de vida, comporta poder valorar económicamente todos los flujos de materias primas y del proceso productivo implementado, lo que permite establecer los costes de la materia prima y de fabricación por unidad funcional del estudio. En este caso, los costes se han evaluado respecto a la cantidad de material necesario para pavimentar 10 metros cuadrados de superficie. Dentro de las mezclas de referencia, tiene especial relevancia el coste del betún empleado en la mezcla tipo SMA, que se trata de un betún modificado que incorpora polímeros en su composición y por tanto de precio más elevado. No obstante y tal como muestra la figura 2, la mezcla extendida en la A-8058, mezcla del tipo SMA con 6,5% de betún convencional y 1,5% de caucho reciclado de los neumáticos fuera de uso (NFU), se caracteriza por un incremento de la cantidad del betún en un 0,5% más en su mezcla respecto a las otras mezclas propuestas. Por tanto se traduce en un mayor costo del betún. Las diversas mezclas asfálticas propuestas tienen sus propios costes en función también de los aditivos que se incorporen a la mezcla, tal y como se indica en la figura 2 (contribución en color rojo).

Por otro lado, si se suman a las materias primas los costes de fabricación de las mezclas, ver tabla 1 en términos porcentuales, los costes de las mezclas propuestas se empiezan a reducir respecto al de las referencias, e inclusive a la mezcla tipo SMA de referencia. Esto es debido a la mayor cantidad de mezcla AC16 que hay que fabricar para pavimentar 10 metros cuadrados de superficie puesto que esta mezcla se extiende con espesores mayores a las mezclas tipo SMA.

Adicionalmente y tras incorporarse los costes de transporte y de extendido de las mezclas, según muestra la tabla 2, se observa claramente que las mezclas de referencia son las que más coste total tienen respecto a la unidad funcional definida (una superficie de extendido de 10 metros cuadrados), presentando el resto de mezclas, las propuestas en el proyecto LIFE-SOUNDLESS, un coste conjunto inferior. Los efectos de necesitar una mayor cantidad del AC16 también se ve reflejado en

## Reducción de los costes sociales y ambientales de las mezclas LIFE-SOUNDLESS.

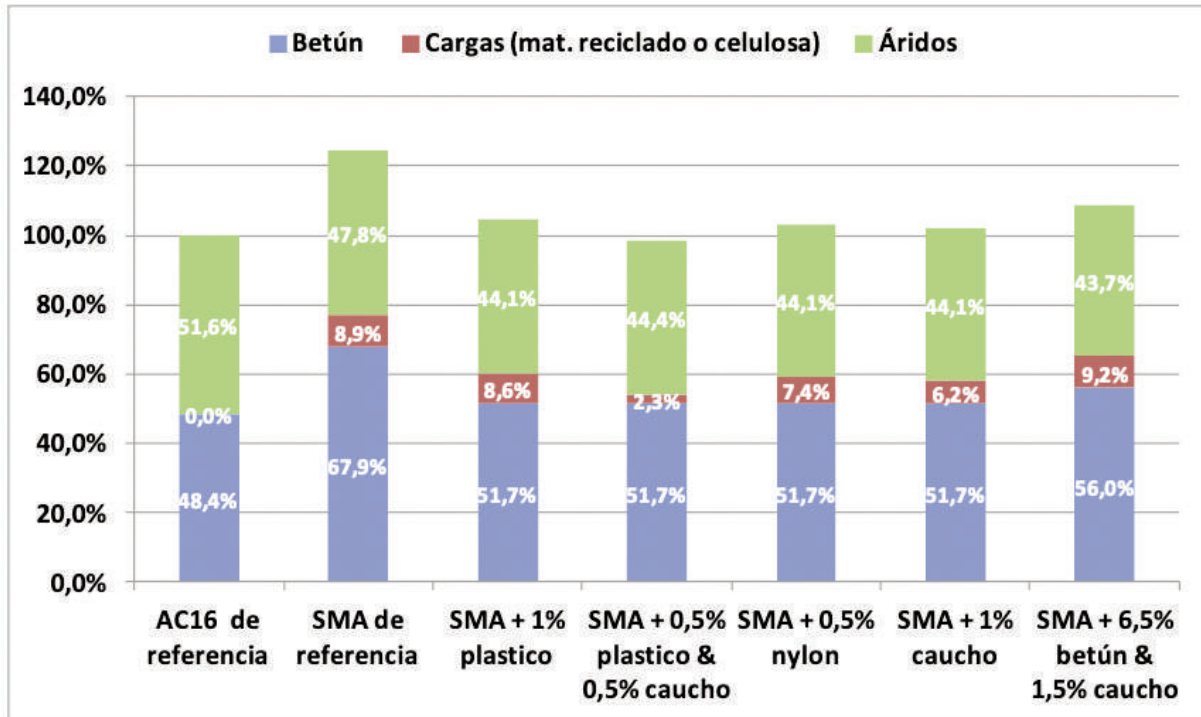


Figura 2. Coste relativo de las materias primas empleadas por unidad funcional (10 m2 de pavimento extendido).

el transporte y extendido, minimizando por un lado los costes totales de la mezcla tipo SMA de referencia respecto de los costes del AC16 y por otro, reduciéndose aún más los costes de las mezclas LIFE-SOUNDLESS propuestas respecto a la mezcla AC16.

Comparando las tablas 1 y 2 y la figura 2, se observa que el coste de la materia prima determina en gran medida el coste final del pavimento asfáltico si exceptuamos la mezcla AC16,

la cual se caracteriza por incrementar los costes en todas las etapas analizadas, dado su mayor volumen de material necesario por unidad de extendido.

Advertir que el coste de mantenimiento y fin de vida del pavimento no ha sido incorporado al presente estudio dado que actualmente está bajo análisis en las pruebas piloto, estudiándose tanto los efectos acústicos en las zonas piloto, como también su durabilidad.

Tabla 1. Coste relativo de la materia prima junto a la fabricación.

		Soundless				
		A376			A8058	
AC16 de referencia	SMA de referencia	SMA + 1% plástico	SMA + 0,5% plástico & 0,5% caucho	SMA + 0,5% nylon	SMA + 1% caucho	SMA + 6,5% betún & 1,5% caucho
<b>100,00%</b>	<b>117,65%</b>	<b>100,62%</b>	<b>95,47%</b>	<b>99,58%</b>	<b>98,54%</b>	<b>104,37%</b>

Tabla 2. Coste relativos totales sin mantenimiento y sin costes de retirada del pavimento.

		Soundless				
		A376			A8058	
AC16 de referencia	SMA de referencia	SMA + 1% plástico	SMA + 0,5% plástico & 0,5% caucho	SMA + 0,5% nylon	SMA + 1% caucho	SMA + 6,5% betún & 1,5% caucho
<b>100,00%</b>	<b>106,61%</b>	<b>94,57%</b>	<b>90,93%</b>	<b>93,83%</b>	<b>93,10%</b>	<b>97,22%</b>

## 2.2 Costes Ambientales

Una vez establecido y validado el proceso de fabricación de cada mezcla, el estudio del ciclo de vida de los pavimentos asfálticos analizados permite cuantificar el impacto medioambiental. Dicho estudio se ha realizado con el software GaBi, que permite evaluar el impacto ambiental utilizando el método de impacto CML 2001 (entre otros), el cual se caracteriza por permitir analizar el efecto sobre diversas categorías de impacto a la hora de evaluar la totalidad del impacto medioambiental. Las categorías incluidas en dicho método son:

- **Calentamiento Global por gases efecto Invernadero (GWP).** Esta categoría de impacto representa el calentamiento global del planeta debido al efecto invernadero.
- **Acidificación (AP).** La acidificación de los suelos y las aguas tiene su origen en la transformación de los contaminantes del aire en ácidos, provocando la denominada lluvia ácida.
- **Eutrofización (EP).** La eutrofización es el proceso mediante el cual el medio terrestre o acuático se enriquece de ciertos nutrientes de forma anómala debido a los contaminantes.
- **Disminución de recursos naturales (Abiotic Depletion),** consideran la reducción de los recursos naturales sin vida (abióticos). Dentro del mismo se clasifican en “elements”, para los recursos minerales, y “fossil fuels”, para las fuentes de energía.
- **Ecotoxicidad.** Esta categoría evalúa las sustancias tóxicas generadas a diversos medios, como son al:

- **Agua dulce** (Freshwater aquatic ecotoxicity potential, **FAETP**).
- **Humana** (Human toxicity, **HHTTP**).
- **Agua marina** (Marine aquatic ecotoxicity, **MAETP**).
- **Tierra** (Terrestrial ecotoxicity potential, **TETP**)
- **Generación Ozono** (Photochemical Ozone Creation Potential, **POCP**). el ozono troposférico es un gas perjudicial para la flora y la fauna.

El resultado del análisis del ciclo de vida (ACV) muestra los valores obtenidos de cada una de dichas categorías, permitiendo de este modo no sólo saber qué pavimento asfáltico es más perjudicial medioambientalmente en cada categoría, sino también en qué etapas/s se produce dicho impacto. En la tabla 3 se muestra para cada pavimento, las categorías y el valor calculado del impacto, en porcentaje relativo al de mayor valor de cada categoría.

Tabla 3. Costes relativos de cada pavimento por categoría de impacto.

	SMA Referencia	AC16 Referencia	SMA +1%plastico	SMA + 0.5plast.&0.5NFU	SMA + 0.5 nylon	SMA + 1%NFU & 6%betún	SMA + 1.5% & 6.5% betún
<b>GWP</b>	98,29	100,00	84,55	84,95	84,82	85,09	87,01
<b>AP</b>	100,00	80,19	68,88	69,23	69,11	69,33	71,28
<b>EP</b>	100,00	99,24	79,40	80,43	80,04	80,68	81,93
<b>ADP Elem</b>	100,00	73,34	59,61	60,31	60,14	60,67	62,00
<b>ADP Fossil</b>	100,00	90,63	77,33	77,72	77,59	77,85	79,78
<b>FAETP</b>	100,00	97,22	83,53	83,97	83,82	84,10	86,43
<b>HHTTP</b>	100,00	83,18	69,87	70,34	70,18	70,49	72,22
<b>MAETP</b>	100,00	68,62	56,58	57,05	56,91	57,25	58,16
<b>POCP</b>	100,00	26,12	30,23	28,38	28,98	27,74	29,76
<b>TETP</b>	87,40	100,00	77,88	78,73	78,28	78,68	78,77

## Reducción de los costes sociales y ambientales de las mezclas LIFE-SOUNDLESS.

Como se observa en la tabla 3, el pavimento asfáltico de mayor impacto se corresponde con la mezcla tipo SMA de referencia. Esto es debido al uso de celulosa en su fabricación y al uso de un betún modificado mediante polímeros, lo cual provoca un impacto bastante significativo en la mayoría de las categorías y lo diferencian del resto de pavimentos analizados. En el caso del calentamiento global (GWP), y de la ecotoxicidad de la tierra (TETP), el asfalto con mayor impacto es la mezcla AC16 de referencia. Esta Mezcla requiere una mayor cantidad de materia prima a igualdad de área de extendida, por lo que por ejemplo, los gastos de combustible en su obtención, fabricación, transporte y extendido afectan directamente a las emisiones de gases de efecto invernadero.

El calentamiento global del planeta (GWP), es la categoría de impacto que más contribuye al coste ambiental total para todas las mezclas analizadas, tabla 4, representando aproximadamente un 70% de dicho coste. Al ser un valor tan significativo, dicho impacto es el que marca claramente las etapas del ciclo de vida que más afectan al medio ambiente y de entre ellas, la producción de la mezcla, suponiendo esta fase de un 30% a un 40% del impacto ambiental de la producción, según la mezcla analizada.

Tabla 4. Impacto ambiental de cada categoría según el pavimento analizado.

	SMA Referencia	AC16 Referencia	SMA +1%plastico	SMA + 0.5plast.&0.5NFU	SMA + 0.5 nylon	SMA + 1%NFU & 6%betún	SMA + 1.5% & 6.5% betún
ADP elements	0,03%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
ADP fossil	23,54%	21,97%	22,11%	22,12%	22,12%	22,12%	22,16%
AP	2,61%	2,15%	2,18%	2,18%	2,18%	2,18%	2,19%
EP	2,02%	2,07%	1,95%	1,97%	1,96%	1,97%	1,95%
FAETP	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
GWP	68,65%	71,93%	71,75%	71,76%	71,76%	71,76%	71,71%
HTP	1,62%	1,39%	1,37%	1,38%	1,38%	1,38%	1,38%
MAETP	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
POCP	1,46%	0,39%	0,54%	0,50%	0,51%	0,49%	0,51%
TETP	0,06%	0,07%	0,06%	0,06%	0,06%	0,06%	0,06%
	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

El siguiente factor que más contribuye al impacto ambiental es la disminución de los recursos naturales, alcanzando el 22% del total. El resto de factores (un 8% en total), resultan poco significativos respecto a los anteriores.

Teniendo en cuenta de forma agregada todos los costes,

el valor de los costes ambientales son aproximadamente en torno a un 10-11% de los costes de fabricación y extendido, tal y como muestra la figura 3.

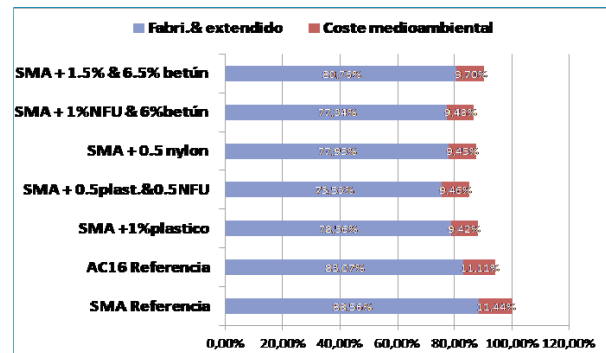


Figura 3. Costes iniciales, producción y extendido junto con los ambientales, respecto al coste inicial del SMA de referencia.

### 2.3 Costes sociales sanitarios.

La Publicación DEFRA n. ° 14228, describe una metodología de valoración de los costes sociales sanitarios de las personas ante una exposición al ruido del tráfico rodado. Dicha metodología utiliza un Modelo de Valores Marginales de Ruido de

Transporte para calcular el Costo Social Sanitario y está basada en diversos estudios de los efectos del ruido sobre la población, realizados por la Organización Mundial de la Salud (WHO – World Health Organization).

El modelo se caracteriza por el uso de valores marginales,

los cuales no sólo tienen en cuenta el valor monetario por el incremento de un decibelio en la exposición de los hogares, sino también el nivel al que se produce dicha variación, siendo un mayor valor cuanto mayor sea el nivel de ruido tratado. La herramienta tiene sus limitaciones, pues no engloba todas las causas que el ruido provoca sobre las personas, sino unas determinadas. Es por ello que su consideración ha de ser de que esta metodología garantiza la determinación de al menos unos costes mínimos, al existir más conceptos susceptibles de ser incorporados.

La herramienta es usada para la evaluación de las zonas afectadas acústicamente y para la determinación de acciones en las mismas, por lo que está pensada como ayuda a las autoridades locales para poder evaluar de una manera fácil, monetaria, las mejores acciones, y siempre con el apoyo de los mapas de ruido. Dado que los costes suministrados son de mínimos, se puede tener la seguridad de que empleando esta metodología aquí aplicada, las mejoras realizadas en los pavimentos son útiles cuando la mejora sobre la salud rebasa sustancialmente los posibles mayores costes de la puesta en servicio de los nuevos pavimentos.

El modelo empleado calcula los costes marginales asociados al aumento en el ruido del transporte por carretera, para los siguientes conceptos:

- Aumento de la hipertensión, lo cual origina un mayor riesgo de accidente cerebrovascular y demencia.
- Alteraciones del sueño, no incluyendo consecuencias posteriores como la bajada de productividad en el trabajo.
- Molestia, como consecuencia de soportar dicho ruido en tiempo real.
- Infarto de miocardio. Aunque en este apartado se sabe que la hipertensión es uno de los motivos del infarto de miocardio, ésta relación no se utiliza en este modelo ya que existe un vínculo directo entre el ruido y dicho infarto y por ello se evitan duplicidades en el modelo.

El modelo se ha adaptado en lo posible a las condiciones de la zona a analizar, en especial por el coste de vida del lugar donde se han implementado, Sevilla. Se ha actualizado la monetización a euros en lugar del sistema que usa la herramienta (libras esterlinas) y se ha analizado según el criterio de valor medio en las distribuciones, dada la procedencia estadística de todos los estudios. Finalmente se ha actualizado la población

objetivo a la de Sevilla en general, no centrándose a la de los barrios afectados debido a que el estudio, para ser más preciso, requeriría saber la edad de cada uno de las personas expuestas y su ubicación respecto de la fuente de ruido, lo que llevaría a un análisis inabordable, además de poco eficiente, dado el carácter orientativo para la toma de decisiones de la herramienta.

Gracias al uso de mapas de ruido, se estableció la población expuesta, tanto en la situación previa de los tramos piloto, como posteriormente. Tras dos años de monitoreo, los valores no han variado significativamente, y por ello, los mapas de ruido tampoco. Para la estimación de las personas expuestas, se han recalculado los niveles de presión sobre las zonas de análisis, con una disminución en la fuente de ruido de 6 dB en el área piloto de la carretera A-376, la cual corresponde con una velocidad media del tráfico en la vía de 70km/h. En el caso de la A-8058, las reducciones son de 2 dBA para una velocidad de 50 km/h de la zona.

En las tablas 5 y 6 se muestran las personas afectadas en ambos tramos pilotos, tanto en la situación inicial como en la actualidad. Destaca especialmente la situación de la A8058, la cual reduce el número de personas afectadas a cerca de la mitad, pese a ser la que menos reduce la presión sonora, debido a que dichas reducciones resultan más efectivas por la distribución de la población en la zona.

**Tabla 5 Distribución de población expuesta en la A8058.**

A8058 puerto			
Situación inicial		Situación posterior	
Nivel	Afectados	Nivel	Afectados
50 to 54 dBA	401	50 to 54 dBA	376
55 to 59 dBA	500	55 to 59 dBA	175
60 to 64 dBA	196	60 to 64 dBA	120
65 to 69 dBA	232	65 to 69 dBA	204
70 to 74 dBA	151	70 to 74 dBA	2
>75 dBA	0	>75 dBA	0
<b>Total</b>	<b>1480</b>	<b>Total</b>	<b>877</b>

**Tabla 6. Distribución de la población expuesta en la A376.**

A8058 puerto			
Situación inicial		Situación posterior	
Nivel	Afectados	Nivel	Afectados
50 to 54 dBA	401	50 to 54 dBA	376
55 to 59 dBA	500	55 to 59 dBA	175
60 to 64 dBA	196	60 to 64 dBA	120
65 to 69 dBA	232	65 to 69 dBA	204
70 to 74 dBA	151	70 to 74 dBA	2
>75 dBA	0	>75 dBA	0
<b>Total</b>	<b>1480</b>	<b>Total</b>	<b>877</b>

## Reducción de los costes sociales y ambientales de las mezclas LIFE-SOUNDLESS.

Conocida la distribución de personas afectadas según la presión sonora, es posible conocer el coste sanitario total que tendrán dichas personas, tanto en el estado inicial de las carreteras piloto, como el coste total en la situación actual:

1. A8058:
  - a. Coste sanitario por año en la situación inicial: 1,017 M€
  - b. Coste sanitario por año en la situación actual 0,498 M€
2. A376:
  - a. Coste sanitario por año en la situación inicial: 5,108 M€
  - b. Coste sanitario por año en la situación actual 2,971 M€

Como se puede observar, el coste por el perjuicio de la salud de la población en dicha zona acústicamente problemática se reduce en ambos casos aproximadamente a la mitad, por cada año de puesta en servicio de las mezclas LIFE-SOUNDLESS, lo que implica una reducción en los gastos sanitarios de la zona al implantar estas medidas.

### 3. ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO

En este apartado se analiza de forma conjunta, los costes o beneficios de sustituir las mezclas convencionales por las nuevas mezclas sono-reductoras del proyecto LIFE-SOUNDLESS en las zonas acústicamente problemáticas debido al ruido generado de rodadura. Si bien no se ha incluido determinados

conceptos, como es la elaboración de un mapa de ruido para determinar el impacto ambiental acústico, si se ha incluido tanto el coste de fabricación y extendido, el impacto ambiental y los costes sociales sanitarios.

Los costes de mantenimiento del pavimento asfáltico así como los de retirada al final de su ciclo de vida, no están incluidos en el artículo debido a que actualmente se están validando, en cuanto a su durabilidad, así como conservación de sus propiedades sonoreductoras.

Como hipótesis, y con el fin de observar la rentabilidad obtenida en los tramos piloto, se ha realizado una proyección de 5 años en la que se estima que no se ha de ejercer acción ninguna sobre los pavimentos y en la cual se mantienen las propiedades esperadas de los mismos. En dicha situación se ha calculado el Valor Actual Neto (VAN) tanto en la situación inicial como en el caso de pavimentar con una solución tipo SMA con cargas procedentes de residuos reciclables (mezclas LIFE-SOUNDLESS).

El valor actual neto (VAN) usa como flujos de entrada y salida los valores correspondientes a los 10 m<sup>2</sup> de mezcla asfáltica extendida, la cual es la unidad funcional del estudio del ciclo de vida. En el caso del tramo piloto de la carretera A-376 el valor actual neto de la mezcla original se estimó en 14.056 euros por unidad funcional, mientras que con las mezclas LIFE-SOUNDLESS se ha estimado un valor de 8.200 euros por unidad funcional, lo que significa una reducción de costes totales considerados de entorno al 41 %.

Por otro lado, en el tramo piloto de la carretera A-8058 el

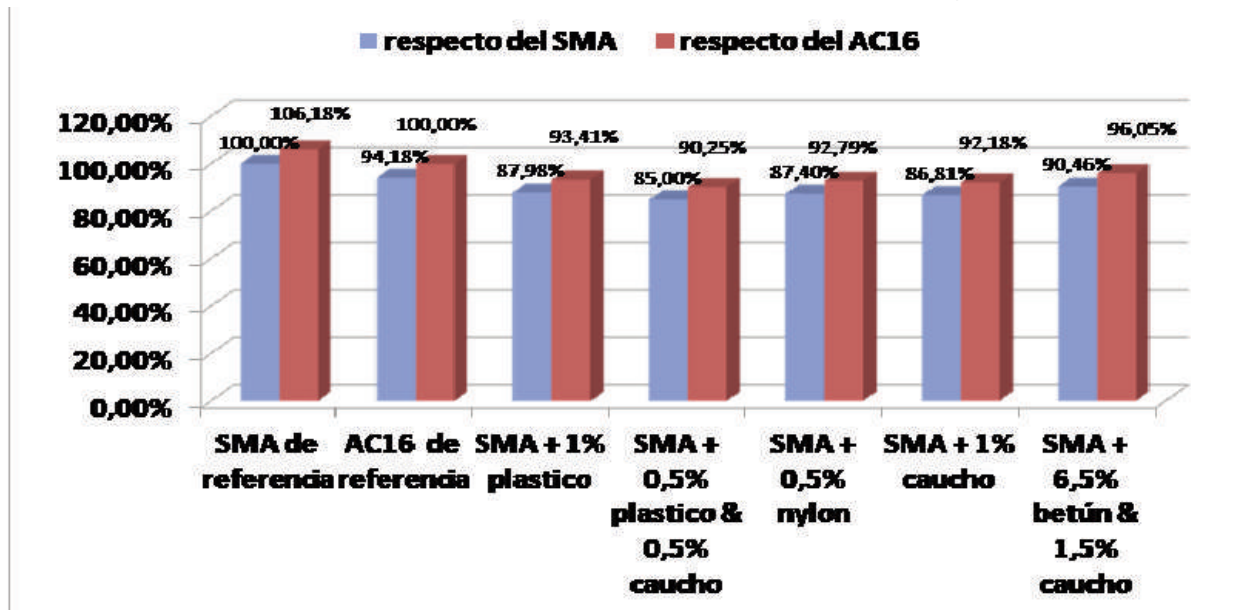


Figura 4. Comparación costes iniciales de las mezclas



VAN inicial por unidad funcional es de 5392 euros, mientras que con una mezcla LIFE-SOUNDLESS es de 2672 euros aproximadamente, lo que reduce el coste total en un 50,4%.

Estas reducciones de coste se deben claramente a la mejora de las condiciones acústicas de la zona, siendo los costes sanitarios los dominantes en el tiempo. Además, dichos costes suponen una mejora en el tiempo, pero también a la hora de planificar el proyecto es necesario considerar cual es el sobreesfuerzo necesario inicialmente. Es por ello que a continuación se mostrarán los costes de fabricación y extendido junto con los costes ambientales de manera separada a los costes sanitarios, con el fin de mostrar si existe alguna mejora también en la inversión inicial o un agravamiento inicial de la misma.

En la figura 4 muestra una comparativa de los diversos pavimentos con respecto a los costes iniciales, es decir, los costes de fabricación y extendido junto con los asociados al impacto ambiental.

Tal y como muestra la figura 4, la mezcla asfáltica más costosa inicialmente es la del tipo SMA de referencia, seguido de la mezcla AC16 también de referencia. Además, todas las mezclas LIFE-SOUNDLESS tienen un coste inicial menor que las mezclas seleccionadas como referencia para la comparación. Es por ello que desde el momento que dichas mezclas se colocan, ya suponen un ahorro. Tal y como se vio en apartados precedentes con relación a los costes iniciales, el 10% corresponde a costes ambientales y el 90% a la fabricación y extendido. En ambos, se mostró que existe tanto un ahorro económico como medioambiental, ya que ambos costes en las mezclas LIFE-SOUNDLESS son menores a las mezclas de referencia.

#### 4. CONCLUSIONES

La reducción de ruido por tráfico rodado debido al uso de las mezclas asfálticas innovadoras desarrolladas dentro del proyecto LIFE-SOUNDLESS implica una reducción de los costes considerados, incluyendo los de fabricación y extendido, asociados al impacto ambiental y al impacto acústico sobre los residentes de la zona afectada. En dicho estudio no se han considerado los costes de mantenimiento ni de retirada del mismo a la finalización de su ciclo de vida debido a que uno de los objetivos del proyecto actualmente en curso es comprobar la durabilidad de las nuevas mezclas. Actualmente las mezclas se

encuentran en su segundo año de puesta de servicio y no se ha observado deterioro físico ni en las propiedades acústicas.

La reducción de costes sanitarios debido a la disminución del ruido por rodadura ha sido muy significativa con respecto al resto de costes, lo que ya asegura su viabilidad a lo largo del tiempo, si las estimaciones a 5 años se cumplen.

El coste inicial, en concreto el de fabricar y extender las mezclas, también se ha visto reducido, por lo que la inversión inicial no condiciona la aplicabilidad de dichas soluciones. Si bien, las mezclas LIFE-SOUNDLESS son de menor costo y de parecida durabilidad esperada respecto a las de referencia, a priori dichas mezclas están concebidas para ser implementadas en lugares acústicamente conflictivos por tráfico rodado, siendo verdaderamente útiles, si el ruido predominante es el debido a la rodadura de los vehículos. Es por tanto necesario la realización de mapas acústicos detallados junto a un análisis profundo de las causas que originan dicho ruido ambiental.

Finalmente comentar también que el impacto ambiental también se ve reducido con las mezclas sono-reductoras, aunque la mejora en una valoración general es poco significativa respecto del ahorro en su fabricación o al beneficio social alcanzado debido a la reducción de la sonoridad. Prácticamente el 70% del coste asociado al impacto medioambiental es debido al efecto de las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que el uso de medios de transporte más ecológicos, así como el empleo de energía de fuentes renovables serían aconsejables para la implementación de las mezclas LIFE-SOUNDLESS.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ISO 11819-1:1997. Medición de la influencia de las superficies de carretera sobre el ruido del tráfico. Parte 1: Método estadístico del paso de vehículos.
- [2] ISO 11819-2:2017. Medida de la influencia de las superficies de la carretera sobre el ruido del tráfico. Parte 2: Método de proximidad.
- [3] Gabi software. Life Cycle Assessment. [www.gabi-software.com](http://www.gabi-software.com). (Último acceso: 13.02.2019).
- [4] DEFRA n.º14228. Transport Noise Marginal Values ModelGuide. [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/380849/transport-noise-modelling-tool.xls](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/380849/transport-noise-modelling-tool.xls). (Último acceso: 13.02.2019).