

Planes de acción de ruido y nuevo método de cálculo

Parámetros de cálculo que apoyan la definición de soluciones y consideración de efectos en salud



PARÁMETROS DE CÁLCULO QUE APOYAN LA DEFINICIÓN DE SOLUCIONES Y CONSIDERACIÓN DE EFECTOS EN SALUD

Autor Principal: Itziar Aspuru Soloaga (Tecnalia)

Otros autores: Pilar Fernández Alcalá (Tecnalia); Ana Leal Lopez (Tecnalia); Manuel Vázquez (Tecnalia); Alvaro Santander (Tecnalia); Roberto Sanz (Tecnalia).

ÍNDICE

1. Título
2. Resumen
3. Método común de evaluación CNOSSOS-EU
4. Líneas de actuación en ruido ferroviario
5. Líneas de actuación en ruido viario
6. Beneficios de medidas correctoras en la salud
7. Conclusiones
8. Bibliografía

RESUMEN

El marco de evaluación de ruido ambiental que facilita el nuevo método de cálculo CNOSSOS-EU permite dar pasos justificados en la definición, por un lado, de soluciones de reducción de ruido generado por las infraestructuras de transporte y por otro, de la calidad acústica de nuestras ciudades. El hecho de que el método tenga un carácter común en Europa y que sea definitivo, avala la conveniencia de analizar con detalle cómo se representa la realidad en los modelos de cálculo de ruido ambiental para explorar la potencialidad del método para hacer más preciso el cálculo de la eficacia de posibles soluciones o medidas correctoras.

Técnicamente el método analiza con mayor detalle los efectos de diferentes fenómenos de generación de ruido, además de si es responsabilidad de la infraestructura o de los vehículos.

En esta presentación se exponen ejemplos de las posibilidades que ofrece el método para analizar líneas de actuación para ruido generado por transporte viario y ferroviario.

Por otro lado, en el marco de la adopción del método se han recogido herramientas, fruto de las evidencias identificadas por la OMS, de los efectos nocivos que la exposición al ruido ambiental tiene sobre la salud de las personas. La cuantificación de estos efectos se traducirá en beneficios derivados de la implementación de soluciones, lo que es un argumento sólido para impulsar la mejora de la calidad acústica de nuestros entornos.

MÉTODO COMÚN DE EVALUACIÓN CNOSSOS-EU

Método común y definitivo

El método de cálculo CNOSSOS-EU está descrito en la Directiva 2015/996 [1] de la Comisión, por la que se establecen métodos comunes de evaluación del ruido en virtud de la Directiva 2002/49/CE [2] del Parlamento Europeo y del Consejo, y en la Directiva Delegada 2021/1226 [3] de la Comisión, por la que se modifica la anterior.

La implementación de este método en programas informáticos de cálculo facilita su aplicación para la modelización de ruido ambiental. La ISO/TR 17534-4 [4] establece el marco de referencia para que los desarrolladores certifiquen la correcta implementación del método.

Marco de calidad del método

Interesa recordar algunas de las claves enunciadas en 2011 al describir los requisitos del marco de calidad de CNOSSOS. Estas claves son las siguientes:

- CNOSSOS debe ser capaz de producir mapas de ruido verosímiles que muestren resultados verosímiles.
Se considera que algunos parámetros de entrada de CNOSSOS son esenciales para la realización de los mapas. Esto es así si el rango de valores del parámetro que puede tomar presenta variaciones, en un año promedio de L_{den} o L_{night} en una posición de receptor particular, de más de $\pm 2,0$ dB (A) 95% C.I. (si todos los demás parámetros no se modifican). Los parámetros esenciales deben reflejar la situación real, mientras que los parámetros no esenciales pueden tener un valor de entrada por defecto definido.
- Un factor a tener en cuenta en la implantación de CNOSSOS son los costes de la obtención de los datos de entrada reales requeridos y el proceso de realización periódica de los MER. Esto se aplica especialmente a: la definición de los focos de ruido y a la definición de los parámetros de entrada esenciales mencionados anteriormente.

Se considera que estas premisas enunciadas para el desarrollo del método CNOSSOS son de aplicación para la definición de la implantación del método para la modelización de ruido.

Interesa analizar con detalle cómo se representa la realidad en los modelos de cálculo de ruido ambiental, haciendo más preciso el cálculo de la eficacia de posibles soluciones o medidas correctoras.

Potencialidades derivadas de la caracterización acústica de los focos

Técnicamente el método analiza con mayor detalle los efectos de diferentes fenómenos de generación de ruido, y si la responsabilidad cae del lado de la infraestructura o del vehículo.

El método CNOSSOS define el cálculo de ruido ambiental para los focos de ruido mencionados

PARÁMETROS DE CÁLCULO QUE APOYAN LA DEFINICIÓN DE SOLUCIONES Y CONSIDERACIÓN DE EFECTOS EN SALUD

en la Directiva 2002/49/CE y para los que se deben realizar mapas estratégicos de ruido: ruido de tráfico vial, ruido de focos ferroviarios, ruido de aeronaves y ruido de focos industriales. El método define por un lado el cálculo de la emisión de las cuatro tipologías de focos y, por otro lado, el cálculo de propagación del sonido hasta los puntos receptores, común a todos ellos.

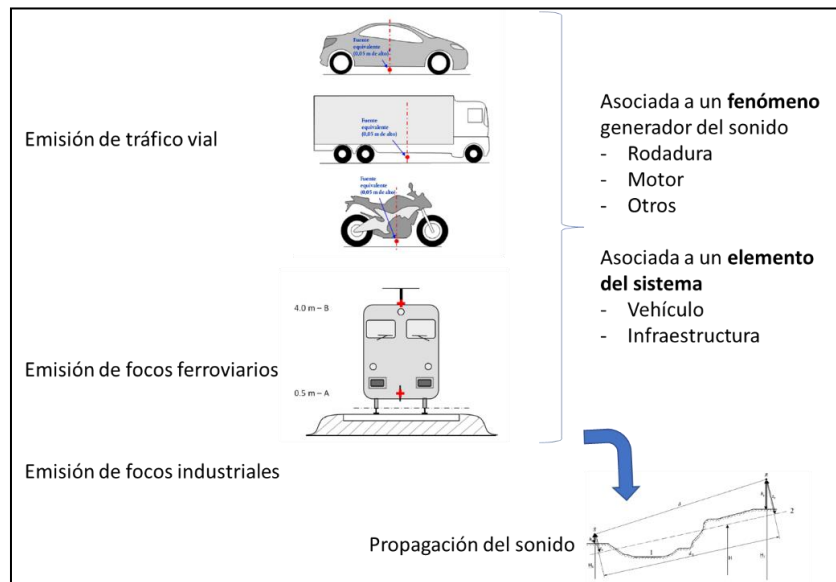


Figura 1. Esquema general del método CNOSSOS. (Tecnalia)

El cálculo de la emisión de tráfico vial y ferroviario tiene los mismos fundamentos de partida:

- Diferenciar los fenómenos que generan el sonido: rodadura y motor, así como fenómenos específicos de los focos ferroviarios (ruido aerodinámico, ruido de impacto, chirridos y emisión de la estructura puente).
- Separar la contribución en la emisión de ruido de los elementos del sistema, especialmente lo que se puede asignar a los vehículos y a la infraestructura, viaria (tipología de pavimento) y ferroviaria (tipología y estado de la vía).

LÍNEAS DE ACTUACIÓN EN RUIDO FERROVIARIO

Parámetros que caracterizan el ruido ferroviario

CNOSSOS define 6 tipos de fenómenos de generación de ruido ferroviario que contribuyen en dos focos emisores y que representan la línea ferroviaria a dos alturas sobre el terreno, a 0,5 m y 4 m, respectivamente:

- Ruido de rodadura: se produce por la interacción de la rueda del vehículo con el carril.
- Ruido de tracción: representa la contribución del motor y del equipamiento auxiliar de cada tipo de vehículo.

PARÁMETROS DE CÁLCULO QUE APOYAN LA DEFINICIÓN DE SOLUCIONES Y CONSIDERACIÓN DE EFECTOS EN SALUD

- Ruido de impacto: depende de la presencia de discontinuidades en la vía.
- Ruido aerodinámico: representa el ruido generado por el flujo de aire en contacto con el vehículo.
- Ruido de chirrido: aplicable para las curvas de radio reducido.
- Ruido por radiación estructural: producido por puentes y/o viaductos.

El principio en el que se basa la simulación del ruido de rodadura en CNOSSOS consiste en caracterizar la rugosidad del contacto entre rueda y carril, que a una velocidad determinada de circulación excita las estructuras a las que llegue la vibración generada: el vehículo, el carril, y la superestructura del tren, convirtiendo estos elementos en fuentes de ruido.

La rugosidad del contacto rueda-carril se denomina rugosidad combinada, puesto que es una combinación de la rugosidad de la rueda y del carril, a lo que se añade el efecto del filtro de contacto entre ambos elementos.

Por su parte, la capacidad de las estructuras excitadas para convertir en ruido la vibración generada por la rugosidad se caracteriza mediante sus Funciones de Transferencia. Las fuentes de ruido de rodadura son la rueda y el carril. A pesar de que teóricamente también el fuselaje del tren podría emitir, CNOSSOS establece que su Función de Transferencia es nula, por lo que no se considera que el cuerpo del tren emita ruido.

En la imagen siguiente se presenta este concepto de generación del ruido de rodadura.

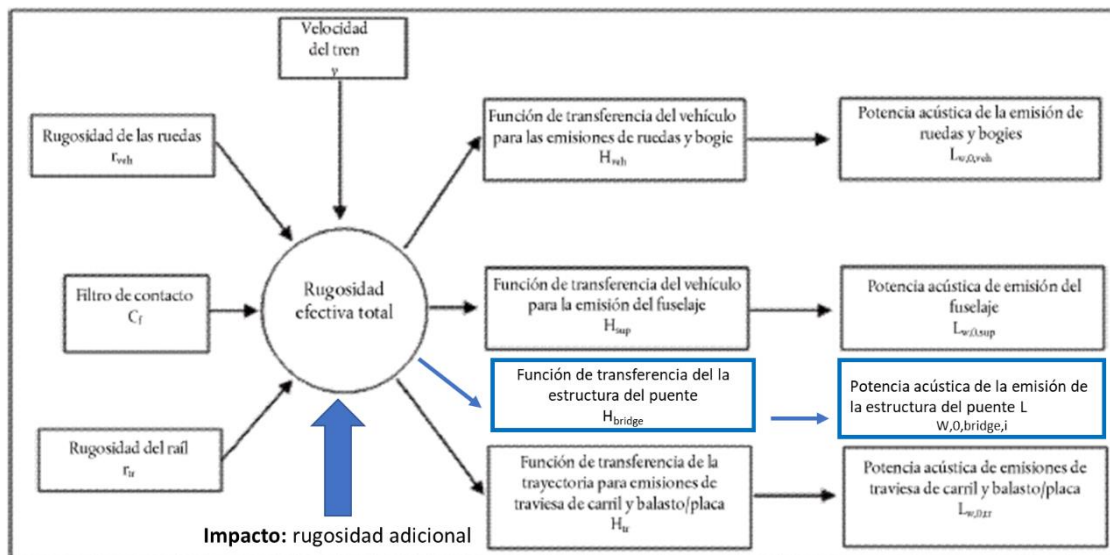


Figura 2. Esquema del concepto general del ruido rodadura (elaborado por Tecnalía a partir de las Directivas 2021)

De esta forma, en general el ruido de rodadura se representa por la potencia acústica de rodadura que emite la rueda, $L_{W,0,VEH,i}$, y por la potencia acústica de rodadura que emite el carril, $L_{W,0,TR,i}$.

PARÁMETROS DE CÁLCULO QUE APOYAN LA DEFINICIÓN DE SOLUCIONES Y CONSIDERACIÓN DE EFECTOS EN SALUD

La parte superior del esquema representa la contribución del material móvil al ruido generado, la cual queda definida por:

- El tipo de freno y mantenimiento de las ruedas, representado por la rugosidad de las ruedas.
- El tipo de ruedas en cuanto a su respuesta acústica a la excitación por vibraciones, representada por la función de transferencia de la rueda, que depende del tamaño de la rueda.
- El tipo de tren, representado por su peso por eje
- El tipo de motor y equipos auxiliares, representado por la potencia acústica de tracción

La parte inferior del esquema representa la contribución de la infraestructura ferroviaria al ruido generado y queda definida por:

- El mantenimiento del carril, representado por la rugosidad del carril.
- El tipo de traviesa: hormigón monobloque, hormigón bibloque o madera.
- La rigidez de las placas de asiento.
- Infraestructuras singulares, como vía en placa, desvíos, curvas, pasos a nivel, puentes metálicos o curvas

Capacidad de analizar la eficacia de soluciones

En este apartado se pretende mostrar la capacidad que ofrece el método CNOSSOS para evaluar el efecto acústico de medidas correctoras en diferentes situaciones. Se presentan unos ejemplos de modificación de valores de emisión al variar los datos de entrada para algunos de los parámetros del método. Cabe destacar que con este ejercicio no se pretende extraer conclusiones respecto a la mejor opción en cuanto a las medidas correctoras, sino exclusivamente mostrar de forma teórica la potencialidad del método. De hecho, se utiliza diferentes valores de datos de entrada que ofrece el método por defecto, asociados teóricamente con diferentes condiciones de los elementos que contribuyen a generar ruido.

En este ejercicio se muestra de forma independiente el efecto de actuar en la rugosidad de rueda y actuar en la rugosidad del carril.

Se utilizan los valores por defecto que ofrece el método para ambos parámetros.

- Rugosidad de rueda, $L_{r,VEH,i}$. CNOSSOS define los valores de entrada propuestos por defecto en función del tipo de freno del tren o coches que lo componen: “freno de rodadura de hierro fundido”, “freno de material compuesto” o freno de disco”.
- Rugosidad del carril, $L_{r,TR,i}$. CNOSSOS define los valores de entrada propuestos por defecto como “EN ISO 3095 2013 (bien mantenido y muy liso)” o “Red media (generalmente mantenida lisa)”. Cabe destacar la escasa descripción de las categorías de la base de datos de carril, que no facilita la definición de los valores a utilizar para la

PARÁMETROS DE CÁLCULO QUE APOYAN LA DEFINICIÓN DE SOLUCIONES Y CONSIDERACIÓN DE EFECTOS EN SALUD

modelización del estado del carril. Además, ambas categorías parecen representar carriles en buenas condiciones y con pocas diferencias entre sí.

Se cuantifica el efecto de ambas medidas en la potencia acústica de una circulación de un tipo de tren que representa un tren de pasajeros con ruedas especialmente rugosas por tener freno de zapata de hierro fundido.

Cuadro 1. Descripción acústica del tren considerado

Composición	Tipo de coche	Nº ejes/coche	Rugosidad de rueda	Filtro de contacto	Función de transferencia de rueda	Motor
M-R-R-R-R-M	M	4	Freno Zapata	100 kN/920	1200 mm	UME
	R	4			840 mm	-

Como se ha indicado se calcula teóricamente con el método CNOSSOS las mejoras que aportarían a diferentes velocidades de circulación, en la potencia emitida por este tipo de tren, actuaciones en la rugosidad de la rueda y en la rugosidad del carril. Se han calculado teóricamente el efecto de:

- Actuar en la rugosidad del carril, $L_{r,TR,i}$, suponiendo que se ha realizado un amolado del tramo de vía considerado y esto se representa cambiando en el cálculo el valor de entrada propuesto por defecto para “Red media (generalmente mantenida lisa)” al valor para rugosidad “EN ISO 3095 2013 (bien mantenido y muy liso)”. Como se ha comentado, este ejemplo no permite cuantificar realmente el efecto del amolado, ya que la diferencia entre ambas rugosidades es menor de lo que se espera lograr con el amolado.
- Actuar en la rugosidad de rueda, $L_{r,VEH,i}$, suponiendo un cambio de tipo de frenos y, por tanto, cambiando en el cálculo el valor de entrada propuesto por defecto para “freno de rodadura de hierro fundido” al valor para “freno de disco”.

Cuadro 2. Escenarios considerados para el análisis de ruido ferroviario.

	Escenarios	Tren con composición	Rugosidad de rueda	Rugosidad de carril
A	Base	M-R-R-R-R-M	Freno Zapata	Red media (generalmente mantenida lisa)
B	Rugosidad carril	M-R-R-R-R-M	Freno Zapata	EN ISO 3095 (bien mantenido y muy liso)”. .
C	Rugosidad	M-R-R-R-R-M	Freno Disco	Red media (generalmente mantenida
D	Ambas rugosidades	M-R-R-R-R-M	Freno Disco	EN ISO 3095 (bien mantenido y muy liso)”. .

PARÁMETROS DE CÁLCULO QUE APOYAN LA DEFINICIÓN DE SOLUCIONES Y CONSIDERACIÓN DE EFECTOS EN SALUD

En la tabla siguiente se muestran las diferencias, en niveles globales, de la emisión acústica calculada por el método a diferentes velocidades, mostrando que este parámetro también condiciona el efecto de las actuaciones. Valores positivos representan reducciones de niveles de ruido frente al escenario base.

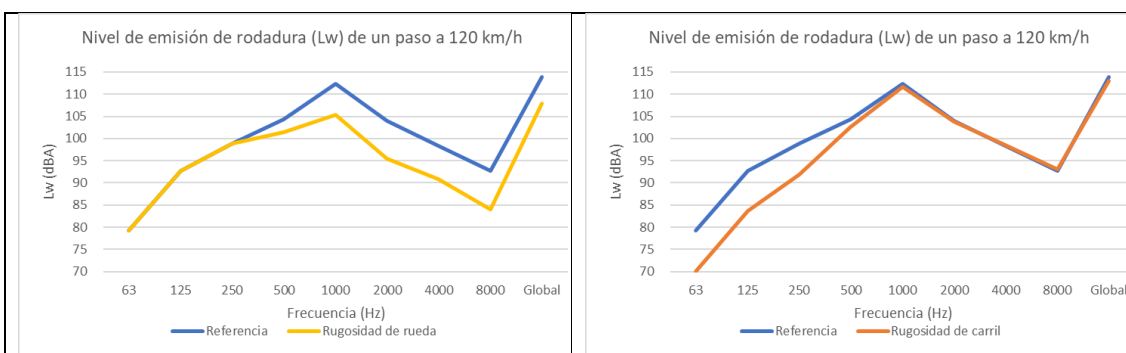
Cuadro 3. Análisis teórico del efecto de las actuaciones mencionadas frente al escenario base.

Escenarios		50 km/h	90 km/h	120 km/h
A – B	Rugosidad carril	0 dB	0 dB	1 dB
A – C	Rugosidad rueda	7 dB	6 dB	6 dB
A - D	Ambas rugosidades	9 dB	10 dB	10 dB

Para mostrar la dependencia de ambas actuaciones entre sí se muestra a continuación las diferencias entre los escenarios en los que solo cambia la rugosidad del carril, diferencias que varían en función de que el valor de la rugosidad de la rueda sea mayor o menor. De la misma forma, se presenta en el Cuadro x las diferencias entre los escenarios en que se varía la rugosidad de la rueda, distinguiendo su efecto en función del estado del carril.

Cuadro 4. Análisis teórico de las interrelaciones entre las mejoras aportados por cada una de las estrategias de actuación.

Actuación	Condicionante	Escenario	50 km/h	90 km/h	120 km/h
Rugosidad de carril	con rueda rugosa	A-B	0 dB	0 dB	1 dB
	con rueda en buen estado	C-D	2 dB	4 dB	4 dB
Rugosidad de rueda	con carril rugoso	A – C	7 dB	6 dB	6 dB
	con carril en buen estado	B-D	9 dB	9 dB	9 dB



PARÁMETROS DE CÁLCULO QUE APOYAN LA DEFINICIÓN DE SOLUCIONES Y CONSIDERACIÓN DE EFECTOS EN SALUD

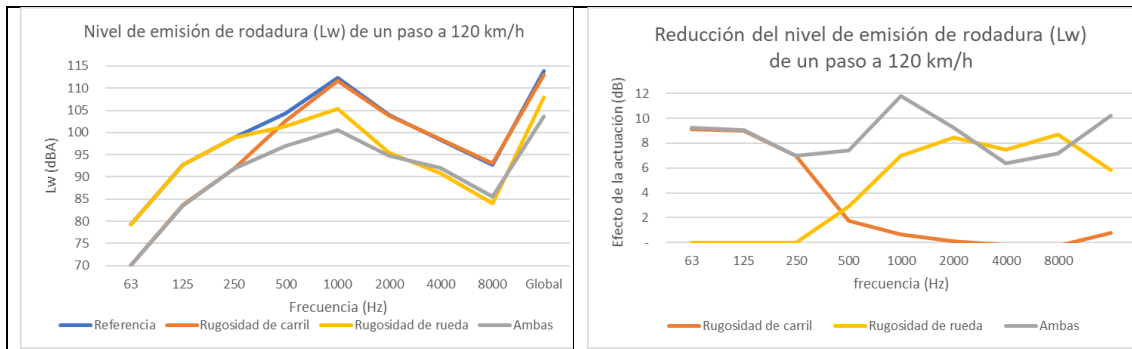


Figura 2. Espectros del análisis teórico del efecto de actuaciones en mejora de rugosidad y de las interrelaciones entre las mejoras aportados (Tecnalia)

Con estos ejemplos que se presentan se ha mostrado que el método CNOSSOS tiene gran capacidad para cuantificar el efecto de las diferentes actuaciones posibles para reducir los niveles de ruido generados por tráfico ferroviario, allá donde sea necesario.

Además, el método representa con claridad la necesidad de que las situaciones conflictivas se aborden desde la coordinación de esfuerzos en la infraestructura y en el material móvil, puesto que los efectos de ambos se condicionan mutuamente. Estos efectos pueden reforzarse, pero, por el contrario, también pueden imponer una limitación al efecto de la otra parte, de forma que cualquier mejora pueda ser ineficaz hasta que se actúe en el otro elemento que participa en la generación del sonido.

Por último, los resultados de estos ejemplos resaltan la necesidad de tener más datos para determinar nuevos valores que permitan representar, con los parámetros definidos en CNOSSOS, los efectos de las acciones de mejora o de la actividad de mantenimiento de infraestructura y de material móvil.

LÍNEAS DE ACTUACIÓN EN RUIDO VIARIO

Parámetros que caracterizan el ruido viario

El cálculo de emisión en CNOSSOS se lleva a cabo mediante la suma energética de la potencia acústica generada debido al efecto del contacto rueda-pavimento y a la fuerza propulsora del motor.

El método define 4 categorías de vehículos y una categoría abierta para futuras necesidades. Las categorías definidas son: una categoría para vehículos ligeros; dos categorías de vehículos pesados, que se diferencian por el número de ejes, y una categoría para los vehículos de dos ruedas.

La dependencia de la emisión con la velocidad es diferente para cada tipología de vehículo. Esto se representa mediante diferentes parámetros que modifican la emisión, tanto de la potencia de rodadura, como de la de propulsión. Los parámetros adicionales a tener en cuenta en el cálculo de la potencia acústica en rodadura son: propiedades del pavimento; el uso o no

PARÁMETROS DE CÁLCULO QUE APOYAN LA DEFINICIÓN DE SOLUCIONES Y CONSIDERACIÓN DE EFECTOS EN SALUD

de rueda con clavos; intersecciones con semáforo o rotonda; y corrección debido a la temperatura. Por su lado, los parámetros adicionales para el cálculo de la potencia acústica en propulsión son: propiedades del pavimento; pendiente del trazado; y las aceleraciones y deceleraciones de los vehículos en las intersecciones con semáforo o rotonda.

Como se ha comentado, las propiedades acústicas del pavimento condicionan, según CNOSSOS, la emisión del tráfico viario, tanto en su componente de rodadura, como de propulsión. En la potencia de rodadura el pavimento condiciona la generación de vibraciones y de movimiento de aire. Y también es la primera superficie en la que se refleja el sonido generado, por la rodadura y por la propulsión, por lo que sus condiciones de absorción acústicas afectarán a ambas componentes de la emisión.

CNOSSOS incluye una base de datos de pavimentos con unos coeficientes que permiten incluir sus características acústicas en el cálculo de la emisión acústica del tráfico viario. Cabe destacar que su efecto depende de la velocidad, está definido en espectro, y puede ser diferente para las diferentes tipologías de vehículos.

Capacidad de analizar la eficacia de soluciones

Del mismo modo que en el caso de ruido de tráfico ferroviario, se presentan algunos ejemplos de la virtualidad del método para evaluar el efecto de actuaciones para reducir las componentes de emisión acústica. En este caso, el ejercicio valora el posible efecto por actuar en el tipo de pavimento en carreteras y en calles, o por limitar el acceso en circulación urbana a coches de tracción eléctrica.

Efecto del tipo de pavimento en una carretera

En primer lugar, se plantea el efecto de modificar el tipo de pavimento, en la emisión acústica de una carretera que soporta un elevado volumen de tráfico, entre ellos vehículos pesados. Se han tomado datos reales de intensidad de circulación y de su distribución en los periodos de evaluación.

Cuadro 5. Características del tráfico de la carretera.

Intensidad Media Diaria (IMD)	Presencia de vehículos pesados (%)	Velocidad máxima de vía (km/h)
38.859,00 vehículos	24,8	120

El análisis se centra en el periodo noche (entre las 23 horas y las 7 horas), dado que en la mayoría de los casos es en el que se centran las superaciones de objetivos de calidad acústica [5]. En ese periodo la presencia de vehículos pesados es superior a la media y se ha considerado que son vehículos de más de 2 ejes, con lo que se asignan a la categoría más ruidosa, categoría 3.

PARÁMETROS DE CÁLCULO QUE APOYAN LA DEFINICIÓN DE SOLUCIONES Y CONSIDERACIÓN DE EFECTOS EN SALUD

Cuadro 6. Características del tráfico de la carretera en el periodo noche

Intensidad Media Horaria (IMH)		Velocidad vehículos (km/h)	
Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Vehículos ligeros	Vehículos pesados
368 vehículos	196 vehículos	120	90

En este ejemplo se muestra la capacidad del método de cuantificar el efecto, en términos de reducción de niveles de emisión, de aplicar un pavimento que reduce el ruido. Se seleccionan tres tipos de pavimentos de la base de datos propuesta por defecto para este parámetro en CNOSSOS:

- Pavimento de referencia: media de aglomerado asfáltico denso 0/11 y asfalto mezclado con mastique y áridos 0/11, con una antigüedad de 2 a 7 años, con un mantenimiento correcto.
- ZOAB 1 capa: asfalto poroso de una capa.
- Capa fina A: asfalto de capa fina poco ruidoso Tipo A.

Se supone que el tramo evaluado tiene inicialmente un pavimento de referencia y se está valorando una actuación de mejora basada en modificar el pavimento, pudiéndose optar por dos tipologías que reducen el nivel de emisión: un pavimento poroso o un pavimento de capa fina.

A continuación, se muestra el resultado de calcular con el método CNOSSOS cada uno de estos escenarios, que solo se diferencian por el tipo de pavimento considerado.

Cuadro 7. Potencia acústica lineal de la carretera para cada tipo de pavimento, en espectro y nivel global.

Tipo de pavimento	Espectro en frecuencias (Hz) en dBA								Nivel global (dBA)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Referencia	58	65	72	80	86	84	76	66	89
Poroso	59	67	75	80	82	79	72	65	86
Capa fina	60	67	74	80	83	80	75	66	87

El efecto de ambos tipos de pavimento respecto al pavimento de referencia, aplicando los valores por defecto propuestos en la Directiva, es similar. Se cuantifica que modificando el pavimento se podría reducir la emisión en 2-3 dB, siendo superior el efecto del pavimento poroso. Esta reducción en emisión se transferiría a la reducción de niveles en las zonas afectadas.

PARÁMETROS DE CÁLCULO QUE APOYAN LA DEFINICIÓN DE SOLUCIONES Y CONSIDERACIÓN DE EFECTOS EN SALUD

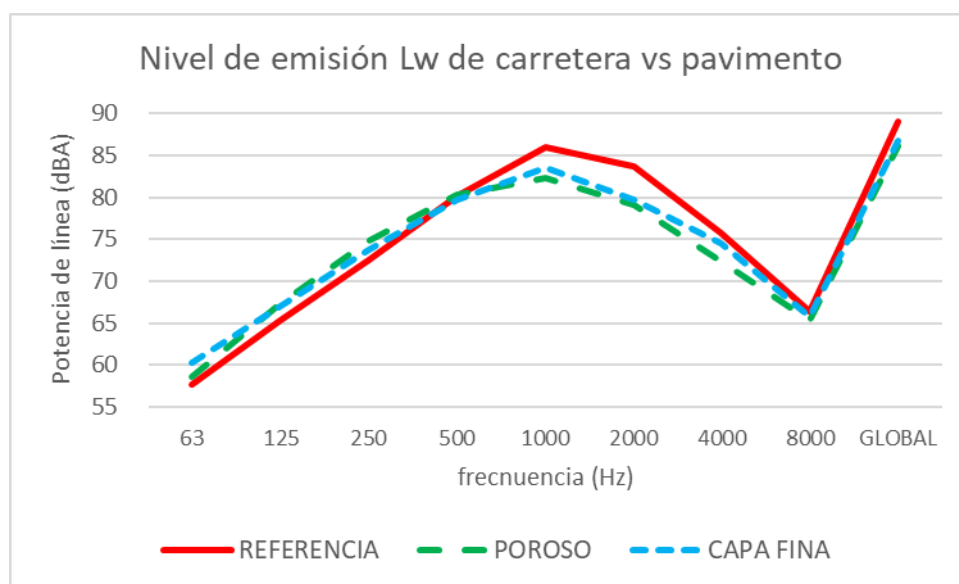


Figura 4. Espectros del análisis teórico del efecto de actuaciones en mejora de pavimentos en una carretera (Tecnalia)

Efecto del tipo de pavimento en una calle urbana

A continuación, se analiza el efecto de una actuación similar en otro tipo de tráfico viario: en una calle urbana, con poco volumen de tráfico. Se han tomado datos reales de intensidad de circulación y se ha estimado su distribución en los periodos de evaluación. El análisis se centra en el periodo noche (entre las 23 horas y las 7 horas). En ese periodo se supone que, en término medio, no hay presencia de vehículos pesados.

Cuadro 8. Características del tráfico de la calle en el periodo noche

Vehículos ligeros Intensidad Media Horaria (IMH)	Vehículos pesados Intensidad Media Horaria (IMH)	Velocidad (km/h)
6 vehículos	--	50

Como en el caso de la carretera, se supone que la calle evaluada tiene inicialmente un pavimento de referencia y que se está valorando una actuación de mejora basada en modificar el pavimento, pudiéndose optar por las dos mismas tipologías: un pavimento poroso o un pavimento de capa fina.

El cuadro siguiente muestra el resultado de calcular con el método CNOSSOS cada uno de estos escenarios, que solo se diferencian por el tipo de pavimento considerado.

Cuadro 9. Potencia acústica lineal de la calle para cada tipo de pavimento, en espectro y nivel global.

Tipo de pavimento	Espectro en frecuencias (Hz) en dBA								Nivel global (dBA)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Referencia	33	36	42	48	56	54	46	36	59
Poroso	33	38	43	53	56	52	44	36	59
Capa fina	33	36	41	47	54	50	45	35	56

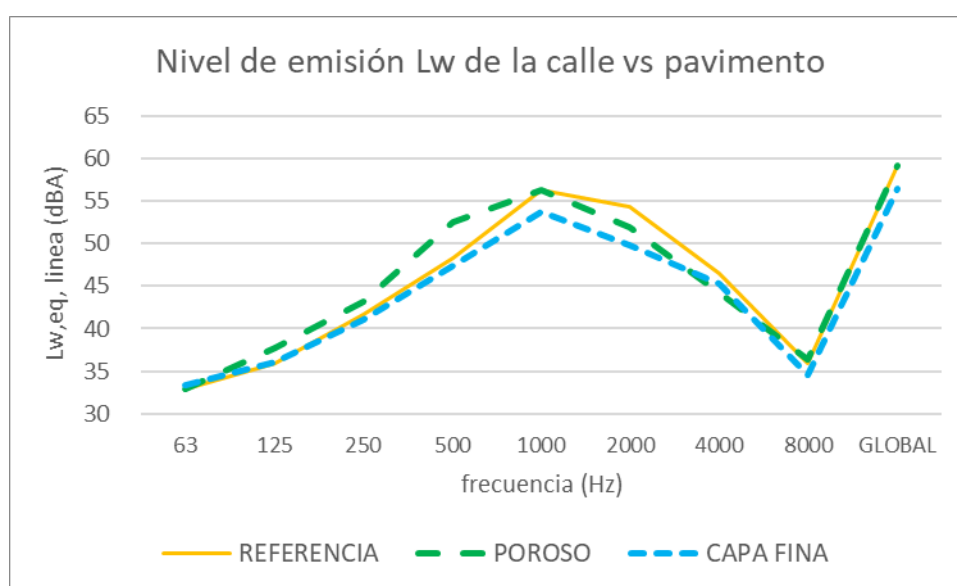


Figura 5. Espectros del análisis teórico del efecto de actuaciones en mejora de pavimentos en una calle (Tecnalia)

Como se observa en el cuadro y en las figuras anteriores, el efecto de cambiar el pavimento de referencia a uno poroso, utilizando los mismos valores de entrada propuestos por defecto por el método CNOSSOS, no reduciría los niveles de emisión para la circulación considerada en esta calle. Sin embargo, el mismo pavimento de “capa fina” que en el escenario de carretera reducía 2 dB la emisión, siendo el efecto menor que el del poroso, en esta calle supondrían una mejora incluso mayor: una reducción de 3 dB.

Esto muestra que la definición del efecto del pavimento en el método de cálculo CNOSSOS depende, tanto de la composición del tráfico, como de la velocidad de circulación. Por lo tanto, indica que, utilizando los valores por defecto propuestos en el método, no se pueden extrapolar actuaciones válidas para una situación a otro escenario.

Efecto de permitir solo a vehículos de tracción eléctrica en una calle

Continuando con el escenario utilizado para representar un tráfico urbano, se analiza el posible efecto de limitar el acceso a una calle a vehículos de tracción no eléctrica. Este escenario

PARÁMETROS DE CÁLCULO QUE APOYAN LA DEFINICIÓN DE SOLUCIONES Y CONSIDERACIÓN DE EFECTOS EN SALUD

podría representar el efecto en reducción de niveles de ruido en una zona de bajas emisiones con un criterio estricto de acceso que solo permite la circulación de coches eléctricos.

El método CNOSSOS no propone una base de datos de coeficientes que determinen la emisión acústica de vehículos eléctricos. Por lo tanto, este ejercicio se basa exclusivamente en suponer que el vehículo eléctrico no tiene potencia acústica de propulsión, o es irrelevante, y tiene la misma potencia de rodadura que la categoría de vehículo ligero definida en el método.

La reducción en la emisión de la calle considerada previamente es sólo de 1 dB y sería similar en todos los pavimentos analizado previamente (pavimento de referencia, poroso o de capa fina).

Este resultado contradice el mito de la eliminación del ruido generado por el tráfico urbano con la electrificación del transporte. Como se ha indicado al inicio de esta comunicación el objetivo de esta no es extraer conclusiones respecto a la eficacia de las actuaciones analizadas, sino mostrar la capacidad del método CNOSSOS de cuantificar su efecto.

En este caso, dada la posible relevancia del resultado, se ha buscado en bibliografía información que pueda refrendar esta conclusión. El proyecto LIFE E-VIA [6], liderado por el Ayuntamiento de Florencia, tiene por objetivo el control del ruido generado por vehículos eléctricos mediante la evaluación y optimización de la interacción neumático/rueda. En este proyecto se ha realizado una extensa descripción del estado del arte de la emisión acústica de los vehículos eléctricos, que establece que la reducción respecto a los vehículos de combustión puede ser muy elevada (hasta 10 dB) a velocidad de circulación muy reducida (10 km/h), pero que solo empieza a ser relevante por debajo de 30 km/h. De hecho, una campaña de medidas reales en Florencia realizada en una calle con circulación a 50 km/h indica que la diferencia entre el nivel de paso de un vehículo de combustión y uno eléctrico es del orden de 2 dB. Aunque existen varios factores que afectan a la emisión (como el tipo de neumáticos) y que hacen que no sea sencillo extraer conclusiones, parece que la aproximación realizada aplicando CNOSSOS ofrece valores del orden de magnitud que se refleja en la bibliografía.

Los datos que se muestran en la figura siguiente pueden facilitar la comprensión del reducido efecto de eliminar la potencia de propulsión de los vehículos que circulan por la calle del ejemplo, a 50 km/h. Se observa que la potencia de rodadura es dominante en la mayoría del espectro. Por lo tanto, el efecto de su eliminación o reducción estará limitado por la permanencia del ruido generado por la rodadura.

PARÁMETROS DE CÁLCULO QUE APOYAN LA DEFINICIÓN DE SOLUCIONES Y CONSIDERACIÓN DE EFECTOS EN SALUD

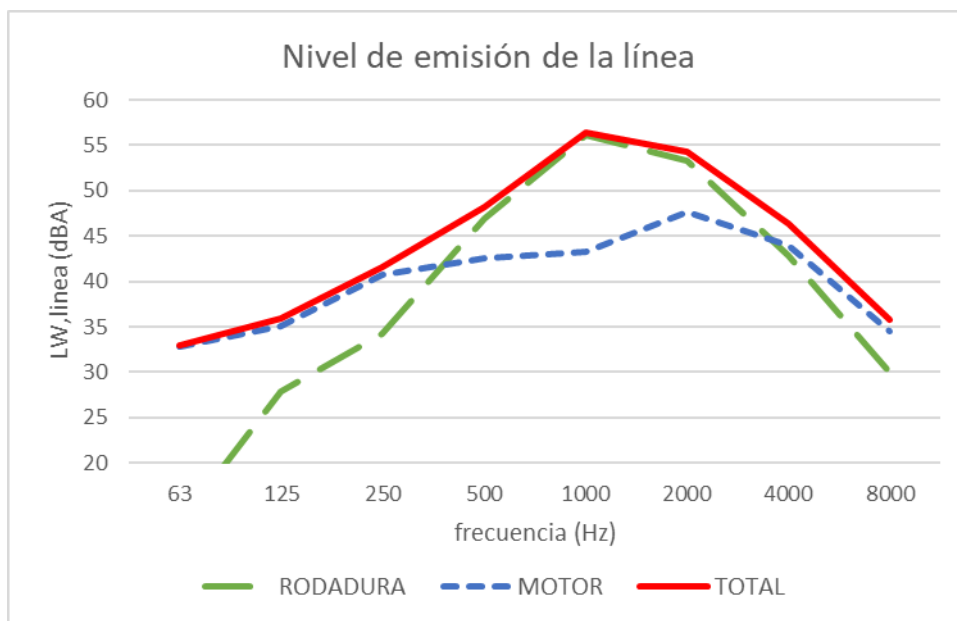


Figura 6. Espectro de contribuciones al ruido de tráfico, calculadas por CNOSSOS (Tecnalia)

Calle con prioridad peatonal

Por último, se modifica la calle del ejemplo y se supone que para condicionar la circulación se modifica el pavimento a una superficie adoquinada, que puede servir para indicar una prioridad peatonal. Este ejemplo sirve, una vez más, para mostrar la capacidad del método de cuantificar el efecto de aplicar un tipo específico de adoquín que se incluye en la base de datos del método y que se denomina "silencioso". Una vez más, se seleccionan tres tipos de pavimentos de la base de datos propuesta por defecto para este parámetro en el método CNOSSOS:

- Pavimento de referencia: media de aglomerado asfáltico denso 0/11 y asfalto mezclado con mastiche y áridos 0/11, con una antigüedad de 2 a 7 años, con un mantenimiento correcto.
- Elementos duros que no presentan forma de espiga ($v < 60 \text{ km/h}$): adoquines de textura rugosa
- Elementos duros silenciosos ($v < 60 \text{ km/h}$): adoquines con diseño acústico.

A continuación, se muestra el resultado de calcular con el método CNOSSOS cada uno de estos escenarios, que solo se diferencian por el tipo de pavimento considerado.

PARÁMETROS DE CÁLCULO QUE APOYAN LA DEFINICIÓN DE SOLUCIONES Y CONSIDERACIÓN DE EFECTOS EN SALUD

Cuadro 10. Potencia acústica lineal de una calle adoquinada con diferente tipo de pavimento, en espectro y nivel global.

Tipo de pavimento	Espectro en frecuencias (Hz) en dBA								Nivel global (dBA)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Referencia	33	36	42	48	56	54	46	36	59
Bloques sin espiga	45	47	51	55	63	57	51	40	65
Bloques silenciosos	41	43	47	52	55	49	44	36	58

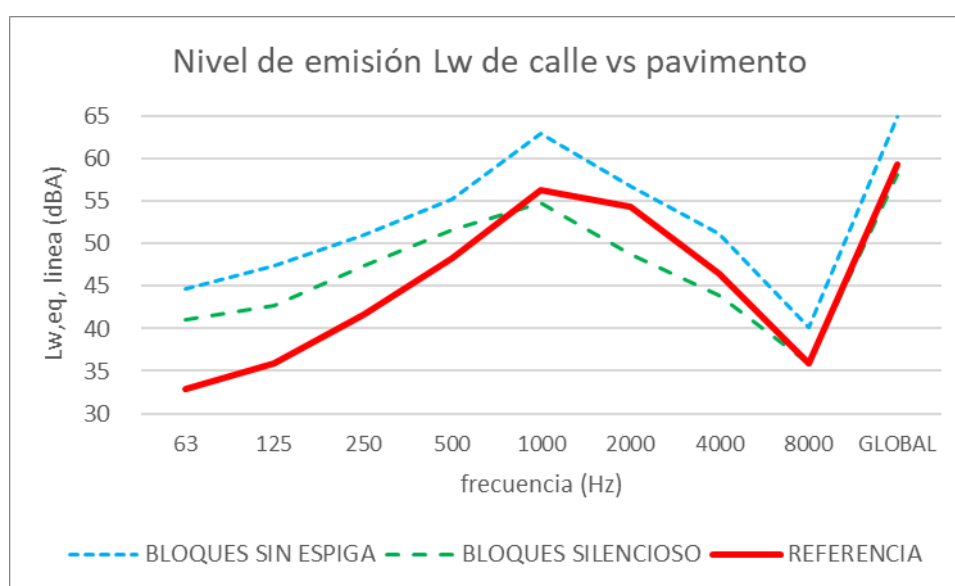


Figura 7. Espectros del análisis teórico del efecto de actuaciones en mejora de una calle con superficie tipo adoquín (Tecnalia)

Los resultados del cálculo indican que al aplicar los datos propuestos por defecto para un adoquín “sin espiga”, los niveles de tráfico urbano se incrementan en 6 dB respecto al pavimento de referencia. Sin embargo, la base de datos incluye otro tipo de adoquín, denominado “silencioso”. Al utilizarlo en el cálculo el nivel de emisión del tráfico urbano de la calle de ejemplo se reduce en 7 dB, respecto a la emisión asociada al otro tipo de adoquín. E incluso es 1 dB menor que la asociada al pavimento de referencia.

La base de datos de entrada para pavimentos que ofrece CNOSSOS como valores por defecto está basada en una base de datos holandesa de pavimentos. No existe una descripción técnica de las características no acústicas de varios de los tipos de pavimentos incluidos, por lo que en algunos casos su utilización no es evidente. Es el caso de los tipos de adoquín que se han utilizado para este ejemplo.

Como se ha comentado repetidamente, el objetivo de esta comunicación no es concluir sobre el interés de adoptar determinadas actuaciones. Sin embargo, el resultado de este último caso pretende llamar la atención sobre la posibilidad de generar datos de entrada al método que permitan cuantificar la eficacia de actuaciones correctoras respecto a un pavimento

convencional, como se ha hecho en la base de datos de pavimentos holandesa, utilizada como propuesta de datos por defecto en CNOSSOS.

BENEFICIOS DE MEDIDAS CORRECTORAS EN LA SALUD

Por otro lado, en el Anexo III de la Directiva 2015 [7], se presentan las formulaciones que se deben utilizar para cuantificar los efectos nocivos que la exposición al ruido ambiental tiene sobre la salud de las personas. Estas fórmulas son fruto de las evidencias identificadas por la Organización Mundial de la Salud, en el informe publicado en 2018 [8].

La cuantificación de estos efectos se puede utilizar para valorar los beneficios derivados de la implementación de soluciones, lo que es un argumento sólido para impulsar la mejora de la calidad acústica de nuestros entornos.

A continuación, se muestran dos ejemplos de la aplicación de los indicadores de salud para valorar medidas correctoras en dos casos teóricos.

Para ello, se utiliza la evaluación de una zona afectada por ruido ferroviario, con 124 personas expuestas a ruido en el exterior de sus viviendas superior a los objetivos de calidad acústica fijados en la legislación. En este ejercicio se muestra el efecto de reducir la emisión acústica en 3 dB. Como se ha visto anteriormente, es una mejora posible, por ejemplo, mediante amolado de carril.

Esta mejora implicaría reducir el número de personas afectadas a 77. La mejora se muestra tradicionalmente en el cambio en la exposición de la población en rangos de 5 dB a los parámetros de evaluación, L_{noche} y L_{den} . Sin embargo, al aplicar el Anexo III de la Directiva se pueden convertir esas exposiciones a número de personas con riesgo de sufrir efectos en la salud: alta molestia, interrupciones del sueño y cardiopatías isquémicas (en el caso de tráfico viario y aéreo). Se puede dar un paso más y aplicar los pesos por discapacidad indicados en el informe de la OMS para cada uno de los efectos en la salud. De esta forma, como se muestra en este ejercicio, se pueden convertir las personas con riesgo a pérdida de DALYs (años saludables). Por último, aceptando la convención del valor económico de un DALY, se podría llegar a convertir la mejora en reducción de ruido logrado a beneficio económico. En el ejercicio, se obtendría un beneficio de 423.000 € al año por amolar el carril, reduciendo 3 dB, en el tramo considerado.

PARÁMETROS DE CÁLCULO QUE APOYAN LA DEFINICIÓN DE SOLUCIONES Y CONSIDERACIÓN DE EFECTOS EN SALUD

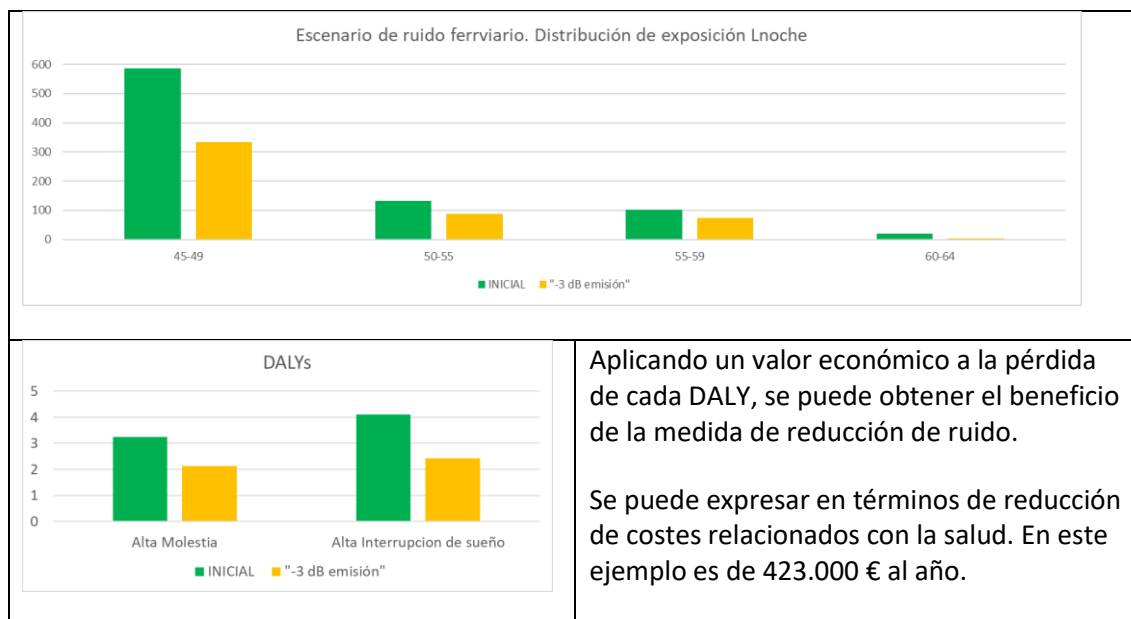


Figura 8. Ejemplo de cuantificación de los beneficios en la salud aportados por medidas correctoras (Tecnalia)

Este procedimiento permitiría comparar eficacia de diferentes líneas de actuación, en términos de los efectos derivados de la reducción de ruido lograda, realizar análisis de coste/beneficio para la toma de decisiones respecto a las medidas más eficientes y, como se decía inicialmente, sumar argumentos para invertir el presupuesto necesario para su ejecución.

CONCLUSIONES

El método CNOSSOS, en la medida que ofrece y exige una descripción de parámetros de infraestructura y vehículos que determinan la emisión acústica, tiene capacidad para cuantificar el efecto de las diferentes actuaciones posibles en emisión para reducir los niveles de ruido generados.

Además, en la medida que distingue entre la contribución al ruido de elementos de la infraestructura y del vehículo y define cómo se condicionan mutuamente, facilita la coordinación de esfuerzos en la mejora de ambos elementos para abordar situaciones conflictivas.

Los resultados de los ejercicios que se han presentado resaltan el interés de tener más datos para determinar valores propios para los parámetros definidos en CNOSSOS para representar la realidad de la generación de ruido, o la necesidad de justificar el uso de los valores que ofrece por defecto. En el caso del ruido ferroviario, cabe destacar que ADIF AV ha definido los valores a utilizar en la realización de modelizaciones acústica con CNOSSOS [9]. Sería interesante que la aplicación del método a tráfico viario también fuera estudiada para adaptarlo a las condiciones de nuestros pavimentos y al tráfico urbano de nuestras ciudades. Este esfuerzo mejoraría el resultado de los estudios de ruido y daría credibilidad al diagnóstico.

Especial interés tendría definir valores para los datos de entrada al método que permitan cuantificar la eficacia de actuaciones correctoras, modificaciones de pavimento o actividad de mantenimiento de infraestructuras y vehículos, por ejemplo. Una base de datos local de condiciones de emisión que recogiera el efecto de mejoras permitiría analizar la eficacia de diferentes líneas de actuación, como se ha mostrado en los ejercicios presentados, y definir estrategias. Cabe pensar que una iniciativa en este sentido también podría tener un efecto en incentivar el diseño de soluciones novedosas y reales, que se podrían incorporar a la base de datos, una vez suficientemente testadas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Comisión europea. DIRECTIVA (UE) 2015/996 DE LA COMISIÓN de 19 de mayo de 2015 por la que se establecen métodos comunes de evaluación del ruido en virtud de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. Bruselas : s.n., 2015.
- [2] Comisión europea. Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental
- [3] Comisión europea. DIRECTIVA (UE) 2021/996 DE LA COMISIÓN de 21 de diciembre de 2020 por la que se modifica, para adaptarlo al progreso científico y técnico, el anexo II de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en cuanto a los métodos comunes para la evolución del ruido. Bruselas: s.n., 2020.
- [4] ISO/TR 17534-4 [4] Acoustics - Software for the calculation of sound outdoors - Part 4: Recommendations for quality assured implementation of CNOSSOS EU calculation methods in software according to ISO 17534-1
- [5] Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- [6] LIFE E-VIA, "Electric Vehicle noise control by Assessment and optimisation of tyre/road interaction" LIFE18 ENV/IT/000201. <https://life-evia.eu/project/>
- [7] Comisión europea. «Diario Oficial de la Unión Europea la Directiva (UE) 2020/367 de la Comisión, de 4 de marzo de 2020 por la que se modifica el anexo III de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al establecimiento de métodos de evaluación para los efectos nocivos del ruido ambiental.
- [8] Organización Mundial de la Salud. Environmental Noise Guidelines for the European Region (WHO, 2018). ISBN 978 92 890 5356 3
- [9] ADIF AV. Guía para la aplicación del método CNOSSOS-EU en la modelización del ruido producido por las circulaciones ferroviarias en las infraestructuras de ADIF y ADIF AV. 2022.