

## **MÉTODO CNOSSOS PARA CÁLCULO DE RUIDO DE CARRETERAS. VALORACIÓN DE DATOS DE ENTRADA NECESARIOS Y EJEMPLO DE COMPARATIVA DE RESULTADOS**

**PACS:** 43.50 Rq

Aspuru Soloaga, Itziar; Fernandez Alcala, Pilar; Santander Pantioso, Alvaro.  
Tecnalia Research&Innovation  
Parque Tecnológico de Bizkaia, Edificio 700,  
Derio, España  
Tel: 902 760 000  
E-Mail: itziar.aspuru@tecnalia.com

**PALABRAS CLAVE** Contaminación Acústica, Ruido Ambiental, Gestión del Ruido

### **ABSTRACT**

De acuerdo con la nueva Directiva Europea, a partir de diciembre de 2018 los Mapas Estratégicos de Ruido (MER) se deberán realizar utilizando el método CNOSSOS-EU. La presente comunicación analiza las consecuencias de su aplicación en la realización y resultados de los diagnósticos de ruido de carreteras. Este trabajo ha sido realizado en colaboración con el Departamento de Infraestructuras Viarias de la Diputación Foral de Gipuzkoa. En la comunicación se analiza la necesidad de nuevos datos de entrada y se comparan los resultados con la tercera fase de los MER en una situación real. La comparativa se realiza sobre los indicadores de seguimiento fijados en la legislación.

### **INTRODUCCION**

El objetivo de la presente comunicación es analizar la necesidad de nuevos datos de entrada de carreteras al utilizar el nuevo método de cálculo CNOSSOS-EU, realizando además un primer análisis de las consecuencias de utilizar este método respecto al método de cálculo actual, el método de nacional de cálculo francés que calcula la emisión según la Guía del ruido de los transportes terrestres, apartado previsión de niveles sonoros, CETUR 1980, y la propagación según la NMPB –Routes 96.

La Directiva 2015/996 describe el método de evaluación del ruido ambiental, CNOSSOS, para realizar los Mapas Estratégicos de Ruido. Y establece que la utilización será vinculante a partir del 31 de Diciembre de 2018. Esto supone que los MER de la fase 4ª, a entregar el año 2022 deberán realizarse con este método. Por ello, el Departamento de Infraestructuras Viarias de la Diputación Foral de Gipuzkoa ha considerado de máximo interés analizar por adelantado las consecuencias de este cambio, realizando un análisis comparativo con el método francés utilizado actualmente, tanto en cuanto a datos de entrada, como en los resultados obtenidos.

## CALCULO DE EMISIÓN ACÚSTICA EN CNOSSOS

En este análisis se describen los parámetros clave del método CNOSSOS para entender su comportamiento y la sensibilidad de los resultados respecto a la calidad de los datos de entrada. En este sentido, cabe destacar que la nueva Directiva 2015/996 establece que la incertidumbre asociada a cada dato de entrada se mantenga en 2 dBA, considerando como tal el efecto exclusivo de cada uno de los datos de entrada en el resultado final del cálculo del Mapa Estratégico de ruido (valores Lden y Lnoche). Por otro lado, el análisis que se presenta también identifica y cuantifica los cambios respecto al método francés, CETUR 1980.

A continuación se analiza las variaciones entre ambos métodos dependiendo de la clasificación de los vehículos y de la pendiente de la carretera.

### Clasificación de Vehículos

El método CNOSSOS define 4 categorías de vehículos: vehículos de motor ligeros, vehículos pesados medianos, vehículos pesados y vehículos de dos ruedas. Las dos categorías de vehículos pesados se diferencian por el número de ejes, siendo los vehículos de más de 2 ejes, la categoría 3, mientras que los vehículos de 2 ejes corresponden a la categoría 2.

Comparando la clasificación de CNOSSOS respecto al método francés, utilizado actualmente, cabe destacar que el método francés solamente contempla dos categorías de vehículos (ligeros y pesados). Así pues, el cambio fundamental entre el método de cálculo utilizado en la actualidad y el método CNOSSOS, es que este segundo distingue dos tipos de vehículos pesados y añade la categoría de vehículos de dos ruedas, divididos en dos subcategorías.

A continuación se analiza la emisión asignada por CNOSSOS de las dos categorías de pesados para cuantificar la relevancia de distinguir en los datos de entrada la distribución de los pesados entre ambas categorías. Para ello se toma como ejemplo un eje con 1.000 vehículos pesados como IMH, circulando a 70km/h. En la tabla 1 se muestran las diferencias en emisión del eje si los pesados se asignaran a la categoría 2 de CNOSSOS, o la categoría 3, o a una combinación de ambas categorías (se plantea como ejemplo una distribución 50/50). La última columna cuantifica la diferencia de cada opción respecto al método actual.

Emisión pesados	CNOSSOS	Diferencias entre categorías		CETUR	Diferencias métodos
<b>Categoría 2 (1000)</b>	85,7 dBA	Cat 3 -Cat 2	2,6 dBA	92,6 dBA	6,9 dBA
<b>Categoría 3 (1000)</b>	88,4 dBA	Cat 3 - Mixto	1,2 dBA		4,2 dBA
<b>Mixto (500 cat2/500 cat3)</b>	87,2 dBA	Cat 2 - Mixto	1,2 dBA		5,4 dBA

Tabla 1. Emisión de pesados y diferencias en la asignación de categorías de CNOSSOS

Como se puede observar en la tabla 1, en el ejemplo elegido existe una diferencia en emisión de pesados de 2,6 dBA entre utilizar la categoría 2 o a la categoría 3, y esta diferencia se aminora si se utilizara un mix de ambas categorías.

De forma análoga se puede comprobar que el método francés calcula una emisión para los vehículos pesados superior al método CNOSSOS en cualquiera de sus categorías, siendo la mayor diferencia de 6,9 dBA, si se utiliza la categoría 2 de pesados, y de 4,2 dBA si se utiliza la categoría 3.

El análisis realizado anteriormente representa una situación ficticia donde sólo hay tráfico de vehículos pesados, y las diferencias entre ambos métodos son teóricas. En general, una carretera tiene tráfico de ligeros y pesados, por lo que posteriormente se analizará el efecto de la asignación de categorías de pesados al utilizar CNOSSOS en tres carreteras del Territorio de Gipuzkoa con diferentes porcentajes de vehículos pesados.

### Análisis del Efecto de la Pendiente

La corrección que aplica el método CNOSSOS en relación con la pendiente de la carretera depende del grado de pendiente y de cada categoría de vehículos. Cabe destacar que la corrección solamente se aplica a la emisión asignada a la propulsión y, por tanto, la categoría 4, vehículos de dos ruedas, no lleva asociada corrección por efecto de pendiente. El cálculo de la de la corrección sigue los siguientes criterios:

- En caso de pendiente positiva el efecto comienza en pendientes superiores a 2% para ligeros y en cualquier pendiente positiva para pesados.
- En el caso de pendiente negativa, el efecto se aplica para pendientes superiores al 6% para ligeros y de 4% para pesados.

### ESTUDIO DEL CALCULO DE LA EMISION EN EJES VIARIOS DE GIPUZKOA

Para poder analizar la emisión acústica del tráfico total, incluyendo vehículos pesados y ligeros, el Departamento de Infraestructuras Viarias de la Diputación Foral de Gipuzkoa ha seleccionado tres carreteras de la red foral de Gipuzkoa con datos reales de composición de tráfico que presentan diferentes condiciones de presencia de pesados en la distribución de tráfico. Los tramos elegidos para llevar a cabo este análisis son:

Carretera	IMD	% PESADOS	Velocidad
GI-636	22.152	2	Ligeros 90km/h Pesados 80km/h
A-15	12.756	23	Ligeros 120km/h Pesados 70km/h
N-1	30.100	44	Ligeros 120km/h Pesados 70km/h

Tabla 2. Tramos seleccionados para el estudio

### Emisión acústica de los ejes

A continuación se presentan tres tablas con la emisión global de cada una de las tres carreteras, calculada por ambos métodos, detallando la contribución de cada una de las categorías de vehículos. La emisión con CNOSSOS se ha calculado en tres supuestos de asignación de los vehículos pesados a las dos categorías definidas: utilizar únicamente una de ellas, o distribuir los pesados de forma equilibrada entre ambas categorías.

Tipo de Vehículos	Método CNOSSOS			Método francés CETUR	
	Contribución por categoría (dBA)		Emisión global	Contribución por categoría (dBA)	Emisión global
Ligeros	98,5			99,4	
Pesados, Cat 2	83,0		<b>98,6 dBA</b>	90,4	<b>99,9 dBA</b>
Pesados, Cat 3	85,7		<b>98,7 dBA</b>		
Pesados, 50% Cat 2/3	Cat2	80,0	83,7		
	Cat3	82,7			

Tabla 3. Resumen resultados GI-636, 2% de pesados

En esta carretera tanto la emisión calculada con CNOSSOS como la calculada con el método francés están dominadas por la presencia de vehículos ligeros. La emisión de vehículos ligeros calculada por CETUR también es superior a la calculada por CNOSSOS. Así, la emisión global de este eje es mayor en el método francés que en CNOSSOS (1dB de diferencia).

Tipo de Vehículos	Método CNOSSOS			Método francés CETUR	
	Contribución por categoría (dBA)		Emisión global	Contribución por categoría (dBA)	Emisión global
Ligeros	97,3			98,5	
Pesados, Cat 2	90,6		<b>98,8 dBA</b>	97,3	<b>100,9 dBA</b>
Pesados, Cat 3	93,0		<b>98,8 dBA</b>		
Pesados, 50% Cat 2/3	Cat2	87,4	92,0		
	Cat3	90,2			

Tabla 4. Resumen resultados A15, 23 % de pesados

En la segunda carretera analizada la emisión calculada con CNOSSOS y con el método francés sigue estando dominada por la presencia de ligeros, aunque en menor medida que en el caso anterior. El método francés asigna una emisión mayor a este eje (2dB).

Tipo de Vehículos	Método CNOSSOS			Método francés CETUR	
	Contribución por categoría (dBA)		Emisión global	Contribución por categoría (dBA)	Emisión global
Ligeros	100,4			100,8	
Pesados, Cat 2	97,1		<b>101,5 dBA</b>	103,8	<b>105,6 dBA</b>
Pesados, Cat 3	99,6		<b>103,1 dBA</b>		
Pesados, 50% Cat 2/3	Cat2	94,1	98,2		
	Cat3	96,8			

Tabla 5. Resumen resultados N-I, 44% pesados

En esta última carretera, ligeros y pesados contribuyen de forma similar a la emisión en CNOSSOS. Cabe destacar además que la decisión de la categoría de pesados a utilizar implica una diferencia en la emisión global de 1,6 dB. Por lo tanto, dado que el efecto de este dato es

del orden de 2 dB, al aplicar el método CNOSSOS sí sería importante diferenciar el tipo de pesados que circulan por la carretera.

En cuanto a la comparativa con el método de cálculo actual, el método francés considera que la emisión de esta carretera está dominada por la contribución de los vehículos pesados. Como ya se ha indicado, CNOSSOS emite menos nivel de ruido que el método francés y esta diferencia es más acentuada en la emisión de los pesados. Por lo tanto, la diferencia entre ambos métodos es más grande cuanto más presencia de pesados tiene el eje.

### Análisis del Efecto de la Pendiente

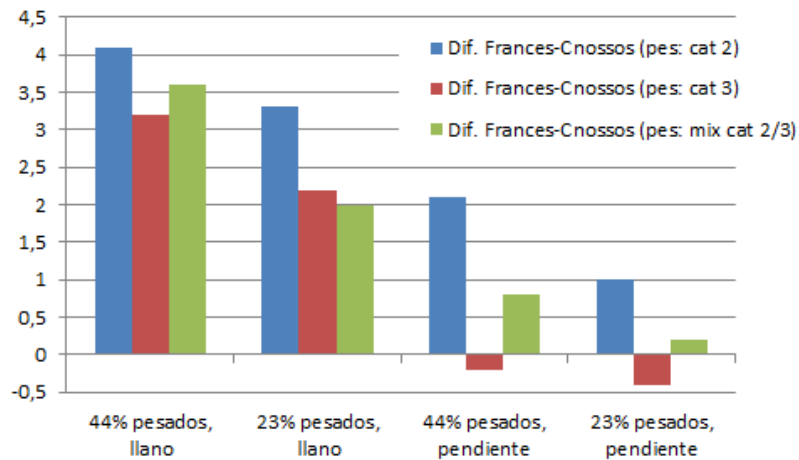
Para valorar los efectos de pendiente se realiza un cálculo teórico, aplicando el método CNOSSOS en las carreteras seleccionadas de la red de Gipuzkoa que tienen mayor presencia de pesados. A continuación se compara la emisión del tráfico ascendente por un tramo que tuviera una pendiente del 12 %, respecto a un trazado en llano.

Emisión global de la carretera (dBA)	Eje N-1 44% pesados	Eje A-15 23% pesados
Eje llano	83,8	80,5
Eje con pendiente ascendente del 12%	87,2	82,9
Efecto máximo de la pendiente	3,4	2,4

Tabla 6. Emisión global en función de la pendiente

Como se observa en la tabla 6, la consideración de la pendiente del eje es más relevante cuanto mayor porcentaje de pesados circulen por ella.

La figura siguiente muestra las diferencias de emisión entre el método francés y CNOSSOS en las dos carreteras evaluadas, con y sin pendiente (12%). Una vez más, se han calculado tres supuestos para la asignación de los vehículos pesados a las dos categorías definidas.



Gráfica 1. Diferencias de emisión en relación al efecto de la pendiente



Se puede observar que las diferencias entre ambos métodos se reducen y, en el caso de utilizar la categoría más ruidosa de pesados o un mix de ambas categorías, las emisiones calculadas por ambos métodos para la situación con tráfico ascendente llegan a ser similares.

### COMPARATIVA DE MAPAS DE RUIDO

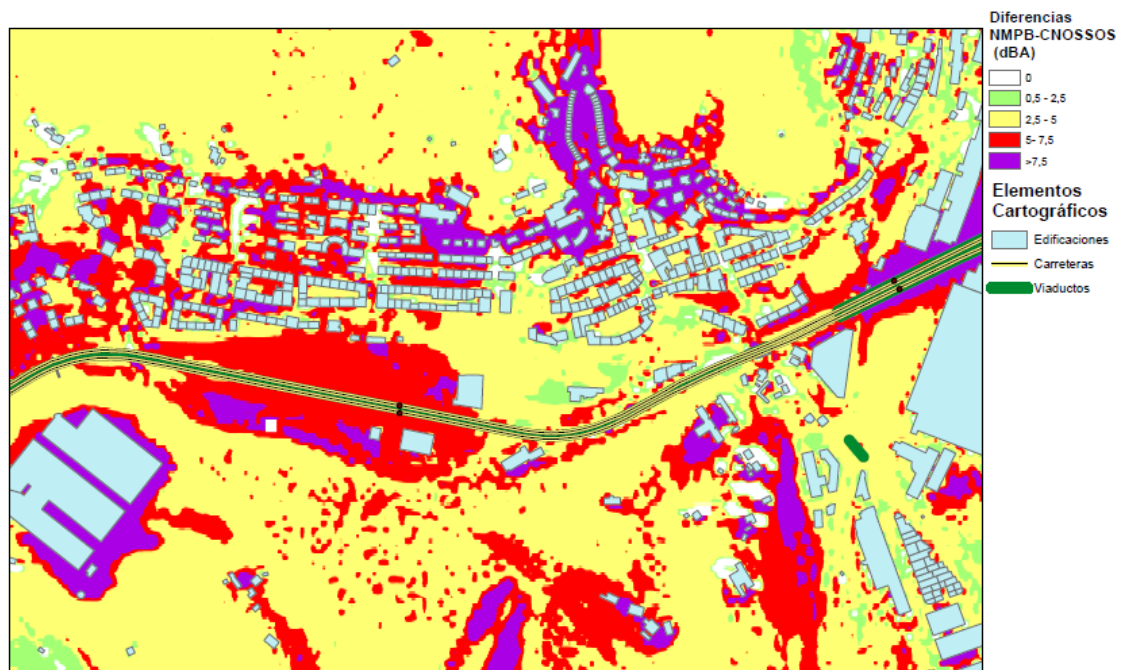
Para realizar esta comparativa se ha optado por realizar el mapa de ruido con ambos métodos de cálculos de un escenario en una situación real en un tramo de una carretera de la red de la Diputación Foral de Gipuzkoa. En el Mapa de Ruido se pueden cuantificar los efectos de las diferencias en el cálculo de la emisión del eje y también en las atenuaciones que representan la propagación del sonido en el entorno de la carretera. La zona seleccionada es un entorno complejo, en el que hay edificaciones, viaductos y túneles, además de una orografía compleja.

Las condiciones de tráfico de la carretera son las siguientes:

Eje	IMD	% PESADOS	Velocidad ligeros	Velocidad pesados
N-1 PK (418-420)	30.962	21,6%	100 km/h	80 km/h

Tabla 7. Condiciones de tráfico N-1

En la figura siguiente se puede observar la diferencia de niveles en el Mapa de Ruido calculado aplicando el método francés, CETUR y NMPB, y el método CNOSSOS. Para realizar esta comparación se ha considerado en ambos métodos el terreno absorbente, identificando las zonas densamente urbanizadas como reflectantes. Como se puede observar, los niveles calculados con el método CNOSSOS son inferiores en toda la zona, que representa una variedad extensa de situaciones de propagación del sonido.



Gráfica 2. Mapa de diferencias CETUR-CNOSSOS

Además de las diferencias en emisión analizadas anteriormente, a continuación se analiza en detalle los efectos debidos a la diferente consideración de los efectos de la propagación en ambos métodos. Para ello se han estudiado más en detalle las contribuciones de niveles en dos puntos receptores ubicados a 20 y 85 metros del eje, con propagación directa. Para este análisis inicial se han seleccionado dos puntos receptores, evitando aquellos que tienen efectos complejos de propagación (reflexiones u obstáculos a la propagación):

- Receptor ( $z = 157,5$  m), distancia de 20 m del eje ( $z = 156$  m), en Suelo Absorbente.
- Receptor ( $z = 154,5$ m), distancia de 85 m del eje ( $z = 156$  m), en Suelo Reflectante.

En la tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos en estos dos puntos de cálculo. El receptor con una mayor distancia de propagación se ha calculado con suelo absorbente y reflectante ara poder valorar cómo consideran los métodos el efecto del suelo:

	Tipo de suelo	Método	$L_{\text{día}}$	$L_{\text{tarde}}$	$L_{\text{noche}}$	$L_{\text{DEN}}$
Receptor a 20m	Absorbente	<b>CETUR y NMPB</b>	74,9	73,0	69,1	77,2
		<b>CNOSSOS</b>	69,9	67,6	62,3	71,3
		<b>Diferencia</b>	5,0	5,4	6,8	5,9
Receptor a 85m	Absorbente	<b>CETUR y NMPB</b>	64,9	63,4	59,7	67,6
		<b>CNOSSOS</b>	60,1	58,9	54,7	62,8
		<b>Diferencia</b>	4,8	4,5	5,0	4,8
Receptor a 85m	Reflectante	<b>CETUR y NMPB</b>	65,9	64,4	60,7	68,7
		<b>CNOSSOS</b>	61,8	60,6	56,5	64,6
		<b>Diferencia</b>	4,1	3,8	4,2	4,1

Tabla 8. Resultados de parámetros de ruido, calculados en ambos métodos

Además de analizar los niveles globales, presentados anteriormente, se han comparado las atenuaciones asociadas a cada uno de los efectos de la propagación del sonido, aislándolos así de las diferencias en el cálculo de la emisión, ya analizadas en los apartados anteriores.

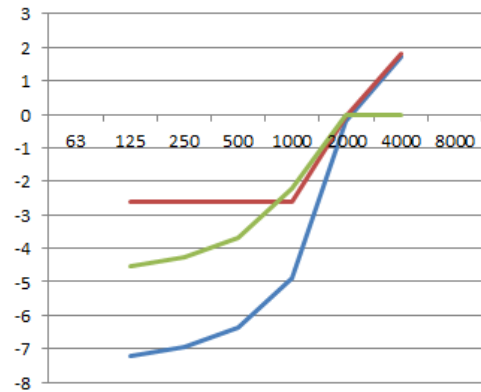
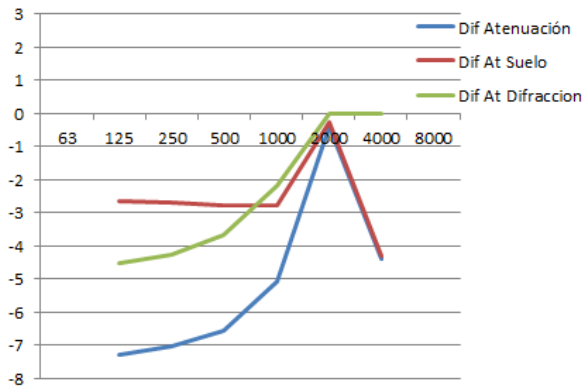
En este estudio se ha comprobado que no hay diferencias sustanciales entre ambos métodos en el cálculo de las atenuaciones debidas a la divergencia geométrica del sonido, ni al efecto de la atmosfera. Sin embargo, se han encontrado diferencias importantes en el cálculo de las atenuaciones por los efectos del suelo y de la difracción. En las siguientes gráficas se presentan las diferencias entre los dos métodos en los espectros de atenuación global y por cada uno de los dos efectos analizados. Se ha analizado la propagación en el camino directo de propagación en los receptores seleccionados y en diferentes condiciones de propagación (condiciones meteorológicas y tipo de suelo, en el receptor a más distancia).

Téngase en cuenta que valores negativos implican mayor atenuación en el método CNOSSOS frente al método francés.

Receptor ( $z = 157,5$ m) a 20 m del eje ( $z = 156$ ) en Suelo Absorbente

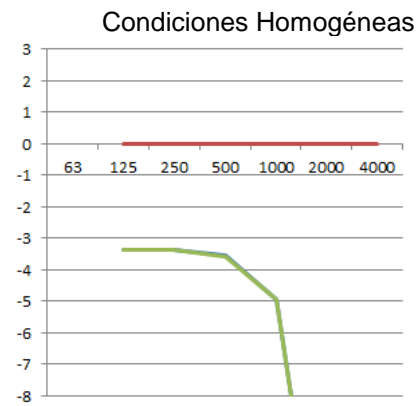
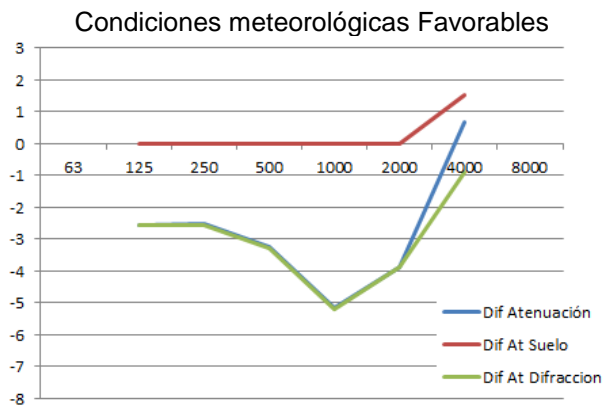
Condiciones meteorológicas Favorables

Condiciones Homogéneas

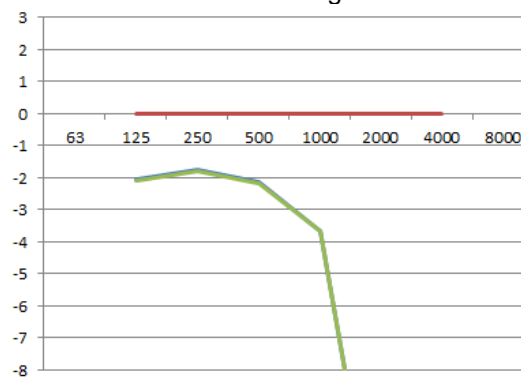
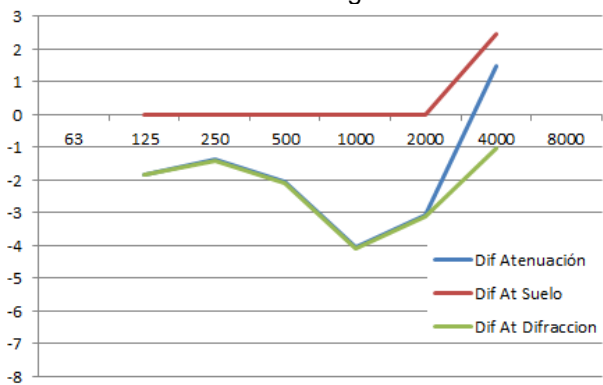


En este camino de propagación la NMPB, a diferencia de CNOSSOS, incrementa los niveles por efecto del suelo. Además, la atenuación por difracción es superior en CNOSSOS.

Receptor ( $z = 154,5\text{m}$ ) a 85 m del eje ( $z=156$ ) en Suelo Absorbente



Receptor ( $z = 154,5\text{m}$ ) a 85 m del eje ( $z=156$ ) en Suelo Reflectante





En la práctica totalidad de los casos las atenuaciones aplicadas por el método CNOSSOS son superiores a las calculadas por el método actual, NMPB. Se observa que estas diferencias son especialmente elevadas cuando el camino de propagación está cercano a bordes de difracción.

También se observa que las diferencias entre las atenuaciones de ambos métodos aumentan cuando el suelo es absorbente, dado que el método CNOSSOS en suelo absorbente considera un efecto mayor en las atenuaciones por efecto de suelo y por difracción.

## **CONCLUSIONES**

La presente comunicación lleva a cabo un análisis comparativo del actual método francés y el método CNOSSOS, en escenarios reales de la red foral de carreteras de Gipuzkoa. En este sentido, se han analizado los efectos del cambio de método tanto en el cálculo de la emisión como de la propagación acústica.

A la vista de los resultados obtenidos respecto al cálculo de la emisión acústica de carreteras se puede concluir que:

- Al utilizar CNOSSOS, en tramos de carreteras con presencia elevada de vehículos pesados es relevante la decisión de qué categoría de vehículos pesados utilizar.
- El método CNOSSOS calcula una emisión acústica inferior a la calculada por el método actual en todas sus categorías de vehículos. Esta diferencia es más acentuada en la emisión de los pesados. Por lo tanto, la reducción de los niveles de ruido calculados será más grande cuanto más presencia de este tipo de vehículos tenga la carretera.
- Por otro lado, la pendiente del eje puede ser un dato relevante para el método CNOSSOS puesto que incrementa la emisión global, y esta influencia aumenta con la presencia de vehículos pesados. Este efecto puede representar un incremento de emisión de 3,5 dBA en un caso extremo de tráfico únicamente ascendente con pendiente de 12 %, con 44 % de pesados, pudiendo llegar a una emisión similar a la del método francés. Por otro lado, con pendientes más moderadas, del 7%, tráfico en ambos carriles y un porcentaje de pesados del 10% este efecto es inferior a 1 dBA.

En relación al efecto de la propagación, el análisis realizado indica que este factor aumenta aún más las diferencias en los niveles de ruido calculados por ambos métodos.

En cualquier caso, el análisis llevado a cabo del cálculo de la propagación no se considera concluyente, puesto que deberá complementarse con estudios detallados que representen de forma simplificada cada uno de los efectos que se han identificado como más críticos. Además, el escaso recorrido de la implementación del método CNOSSOS en los modelos de cálculo hace ser cautos respecto a los resultados en situaciones complejas.

En este sentido, antes de utilizar el método de cálculo CNOSSOS para realizar Mapas Estratégicos de Ruido o estudios acústicos se deben revisar la calidad de los datos de entrada, condicionada por su relevancia en el nuevo método y es necesario comprobar la correcta implementación del método en los modelos de cálculo.