

MAPA DE RUIDO DE LA CIUDAD DE BADAJOZ MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS MATEMÁTICOS PREDICTIVOS

PACS: 43.50.Sr

Barrigón Morillas, Juan Miguel¹; Mellado Narciso, Miguel²; Gómez Escobar, Valentín¹; Méndez Sierra; Juan Antonio¹; Vílchez Gómez, Rosendo¹; Guzmán Jorna, David²; Gómez Alonso, Miguel Ángel²; Carmona del Río, Javier¹; Vaquero, José M.¹

¹ Universidad de Extremadura; Escuela Politécnica / Departamento de Física.

Avda. de la Universidad, s/n 10071 Cáceres, España.

Tel.: 34 927257195; Fax: 34 927257203.

² dBEx Ingenieros S.L.; Campus Universitario de Cáceres, Escuela Politécnica, Avda. Universidad, s/n, 10.071 Cáceres. España.

Tel. y Fax: 34 927257233.

* Correo: barrigon@unex.es

ABSTRACT

A noise map of the city of Badajoz is presented. The commercial Cadna A software (DataKustik) was used. Characteristic of the model and the configuration used for the model is also presented. For the determination of the vehicle flux, the streets of the city were categorized previously.

Results of the model are presented and they are used to evaluate the quantity of citizens affected by the different sound levels. Comparison of the model with sound weekly measurements showed small differences in the studied indexes.

RESUMEN

El mapa de ruido de la ciudad de Badajoz ha sido calculado a partir de la simulación informática de la ciudad, mediante el uso del programa Cadna A (DataKustik). Para la modelización del entorno sonoro se ha seguido la normativa y las recomendaciones establecidas por la legislación europea y nacional vigente y teniendo en consideración, como única fuente sonora, al tráfico rodado.

Se presentan las características del modelo utilizado y la configuración del cálculo realizada. Entre las primeras es de destacar el método de determinación del caudal de tráfico, para el cual se ha utilizado un paso previo de categorización de las calles de la ciudad en función del uso de las mismas como vías de comunicación.

Los resultados del modelo se acompañan de medidas de comprobación del mismo, para lo cual se han utilizado medidas semanales del ruido, que muestran diferencias no excesivamente importantes en los índices estudiados. Finalmente, se presenta datos sobre la cantidad de población sometida a los diferentes niveles sonoros.

INTRODUCCIÓN

La realización de mapas sonoros en nuestras ciudades puede llevarse a cabo bien mediante la realización de medidas de niveles sonoros en sus calles o, bien mediante la modelización del campo sonoro, usando, para ello, la ayuda de programas informáticos.

El primer tipo de estudios, basado en la realización de medidas de niveles sonoros en sus calles, posee varias dificultades, tanto en la elección de la sistemática de muestreo, como en la necesidad de unos mínimos recursos de equipos, personal, tiempo y dinero que permitan una adecuada caracterización del ruido en el entorno bajo estudio. En un intento de minimizar los recursos anteriores, nuestro grupo de investigación lleva tiempo trabajando en el establecimiento de un método de medida del ruido basado en la estratificación por usos de la vía pública, en el intento de encontrar un conjunto de definiciones de categorías de las vías públicas que, siendo generalizable a diferentes ciudades, permita, de la forma más objetiva posible, una catalogación de las calles en lo que se refiere a sus niveles de ruido^{1,2,3}.

El segundo tipo de estudios, basado en la modelización del entorno sonoro, superan en gran parte las limitaciones o necesidades del primer tipo de estudio, pero requieren una introducción de datos precisa y necesitan ser bien contrastados con medidas reales que informen sobre la precisión de los resultados. De igual forma, dado el gran número de diferentes fuentes sonoras que se encuentran en los ambientes sonoros cotidianos y la dificultad de incluir todas en la modelización, generalmente, ésta se suele limitar a un número discreto de ellas. Como ventajas importantes de las técnicas predictivas, basadas en la modelización y simulación por ordenador, se pueden indicar la posibilidad de discriminación de las contribuciones parciales en un receptor; la posibilidad de evaluar situaciones hipotéticas y futuras; la posibilidad de obtener resultados en zonas de difícil acceso, etc.

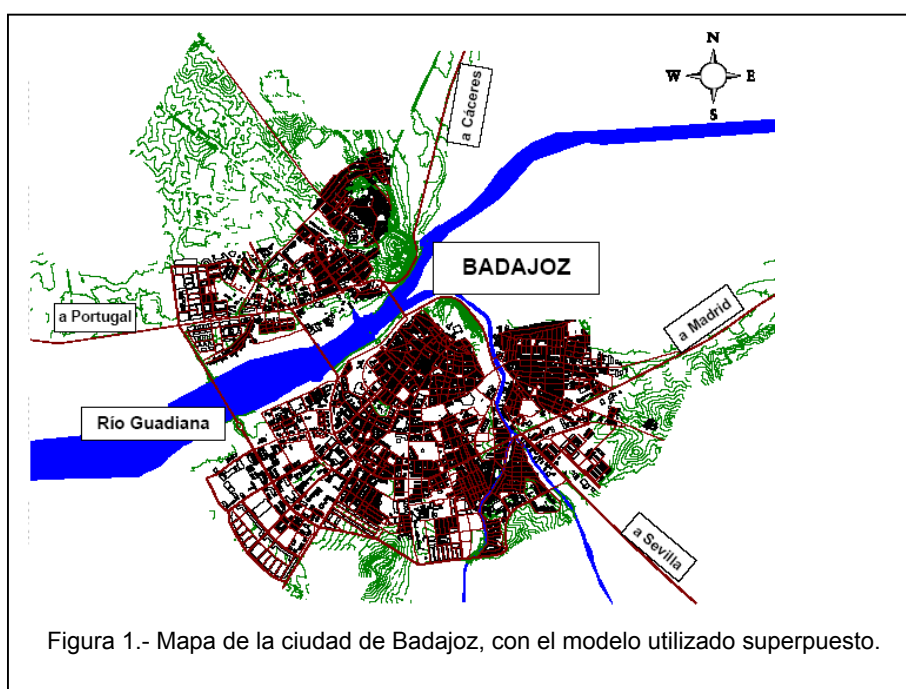
En el presente trabajo se presenta el mapa de ruido de la ciudad de Badajoz, obtenido a partir de la simulación, siguiendo la normativa y las recomendaciones establecidas por la legislación europea y nacional vigente y teniendo en consideración, como única fuente sonora, al tráfico rodado.

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

La Ciudad de Badajoz

La ciudad de Badajoz (figura 1), situada al suroeste de España, es la ciudad más grande de la región de Extremadura, con una población de unos 140.000 habitantes. Posee una situación estratégica en la frontera de Portugal y cuenta con una importante infraestructura de carreteras que la unen con Lisboa (a 200 km), Madrid (a 400 km), Cáceres (100 km) y Sevilla (a 200 km).

Dado al número de habitantes de la ciudad y, en cumplimiento de la legislación europea y nacional^{4,5,6} la ciudad de Badajoz debe considerarse como aglomeración urbana y, por tanto,



antes del 30 de junio de 2012 se debe elaborar un mapa estratégico de ruido de la misma.

El presente estudio se ha centrado en la parte residencial de la ciudad y para el mismo no se han considerado los barrios periféricos de la ciudad, ni tampoco, los núcleos urbanos secundarios alejados del núcleo urbano principal. En la figura 1 se puede observar un plano de la ciudad en el que se encuentra superpuesto el modelo utilizado.

Método de cálculo y software utilizado

Para el desarrollo del proyecto se han seguido las indicaciones estipuladas en la RECOMENDACIÓN DE LA COMISIÓN de 6 de agosto de 2003 relativa a las Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes publicados de conformidad con lo indicado en el punto 2.2 del anexo II de la DIRECTIVA 2002/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

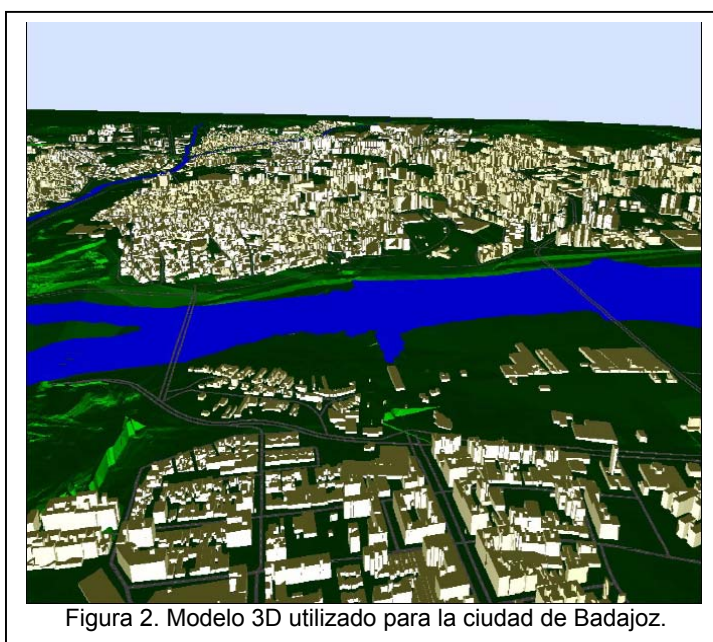
En la citada recomendación se indican los métodos de cálculo, que se deberían seguir, para los estudios predictivos de niveles de ruido en función de las diferentes fuentes de ruido a estudiar. En particular, para el presente trabajo se ha utilizado el método *RUIDO DEL TRÁFICO RODADO: el método nacional de cálculo francés «NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPC-CSTB)»*.

Para el cálculo predictivo se ha utilizado el Software Cadna A (Computer Aided Noise Abatement); diseñado para el cálculo, evaluación y predicción de la contaminación acústica generada por fuentes de ruido. Cadna A está programado en C/C++ bajo entorno Windows. Este paquete ha sido creado por la empresa Alemana DataKustik.

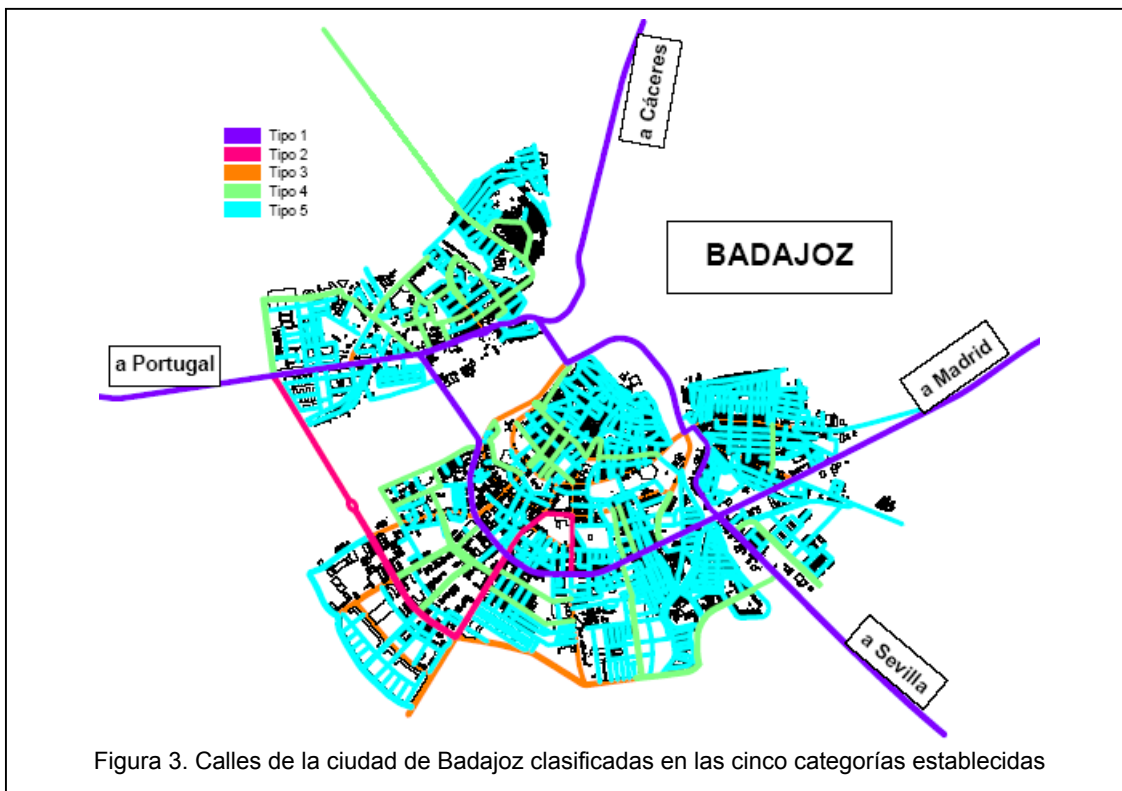
Características del modelo utilizado

Para la realización del estudio se han insertado en un modelo 3D todos los elementos que influyen en la propagación del sonido en espacio abierto según la ISO 9613-2. Para ello se ha reproducido a escala un escenario virtual donde están todos los elementos relevantes existentes en la actualidad. En la figura 2, se muestra una visión en tres dimensiones del modelo de la ciudad.

Las partes principales que componen el modelo de simulación son: a) el modelo de las fuentes de ruido (en nuestro caso las vías de tráfico rodado), b) el modelo del terreno; y c) el modelo de los edificios y el método de reparto de la población.



Respecto al modelo de las fuentes de ruido consideradas (las vías de tráfico rodado), se ha tenido en cuenta lo estipulado en el modelo predictivo de carreteras indicado anteriormente. La situación y trayectoria de las rutas de tráfico se obtuvo directamente de la cartografía existente, convirtiendo los ejes de las vías en la fuente lineal de ruido. La altura de la fuente sobre el suelo se estableció en 0.5 m. La potencia de emisión sonora se obtuvo a partir de la caracterización del flujo de tráfico de las vías (en lo que se refiere a número de vehículos por periodo, porcentaje de pesados, velocidad, tipo de flujo, etc.), teniendo en cuenta otros factores influyentes como el pavimento y la pendiente de la vía. Debido a la falta de información referida al número de vehículos por periodo, para obtener este dato se recurrió a englobar las calles de la ciudad en una serie de categorías dentro de las cuales las calles pudiesen considerarse equivalentes. De este modo, las calles no peatonales de la ciudad de Badajoz se dividieron en 5 categorías, en función de la funcionalidad de la vía. Esta división nos permite suponer que el flujo de tráfico de las vías de una misma categoría presenta características similares. La definición de estas categorías ya se ha publicado previamente^{2,3,7}. En la figura 3, se muestran las calles no peatonales de la ciudad de Badajoz categorizadas en los cinco tipos de calles utilizados. Para cada categoría se obtuvieron patrones relativos de distribución del tráfico hora a hora a partir de medidas insitu (de 15 minutos) y de medidas de larga duración (en torno a 1 semana) realizadas, en calles de cada uno de los 5 tipos de categoría, tanto en Badajoz como en otras ciudades de tamaño similar. Se obtuvo un patrón estándar para cada categoría.



Respecto al modelo del terreno, se utilizó la cartografía en 3D de la ciudad de Badajoz. Dicha cartografía contiene información de curvas de nivel cada 2.5 m de desnivel y múltiples cotas de nivel en puntos.

Finalmente, respecto al modelo de los edificios y reparto de la población, para los edificios, la distribución, forma, dimensiones en planta y altura de los mismos, se obtuvo directamente de la cartografía empleada. Se introdujo en ellos un coeficiente de absorción de 0.5 (típico en fachada). Para la evaluación del reparto de la población que nos permitiese evaluar los niveles de ruido a los que están sometidos los habitantes de la ciudad de Badajoz, fue necesario la distribución de la misma en los distintos edificios modelados de la ciudad. Para ello se partió del censo de población de la ciudad y, teniendo en cuenta las especificaciones del Plan

General de Ordenación Urbana de Badajoz, sólo se asignó población a los edificios residenciales, siendo esta asignación proporcional a la altura y área del edificio. El mencionado reparto se normalizó al número total de habitantes de cada barrio.

Configuración del cálculo

Para la realización de los cálculos los índices de ruido determinados fueron:

- ❑ Nivel Equivalente Día L_d (07/19), en dBA.
- ❑ Nivel Equivalente Tarde L_e (19/23), en dBA.
- ❑ Nivel Equivalente Noche L_n (23/07), en dBA.
- ❑ Nivel Equivalente Día/Tarde(+5)/Noche(+10) L_{dtn} , en dBA.

Para el cálculo se utilizaron dos configuraciones distintas de los puntos receptores. En primer lugar se eligió una malla de 4m x 4m por considerarse suficientemente representativa para las dimensiones de la zona de estudio y permitir obtener buena resolución en las calles más estrechas de la ciudad situadas en el casco antiguo. En segundo lugar, se obtuvo el nivel incidente justo en fachada de los edificios. En ambos casos los cálculos se efectuaron a la altura de 4 m del suelo. Mediante la primera configuración se obtuvo el mapa de ruido de curvas isofónicas de la ciudad, mientras que mediante la segunda se obtuvo el número de personas expuestas a los diferentes niveles sonoros.

Respecto a la configuración de las reflexiones, las únicas reflexiones que se trataron fueron las de primer orden. En el cálculo de los niveles en fachada no se tuvo en cuenta el sonido reflejado por la propia fachada.

Para el cálculo de la influencia de las condiciones meteorológicas consideró una temperatura de 10 °C y un humedad relativa del 70% además, se consideró en periodo diurno y nocturno un 50% y 100%, respectivamente, de probabilidad de ocurrencia de condiciones atmosféricas favorables a la propagación del sonido en todas las direcciones de propagación.

La absorción del terreno fue modelada mediante la introducción por defecto de un factor de suelo de 0 (suelo reflexivo) considerando que era el factor más adecuado a las características del terreno de la zona de estudio (cemento, hormigón).

Finalmente, debido al enorme tamaño del modelo y la gran cantidad de fuentes y receptores que entran en juego, se hizo necesarios ajustar ciertos parámetros en la configuración del cálculo para que los tiempos de cálculos fueran operativos. El cálculo se realizó considerando un radio máximo de búsqueda de fuentes centrado en el receptor de 500 m y una distancia máxima fuente-receptor para tener en cuenta reflexiones de 250 m.

RESULTADOS

Mapa de ruido de la Ciudad de Badajoz

En la figura 4, se muestran el mapa de ruido de la ciudad correspondientes al nivel Día/Tarde/Noche (L_{dtn}) de la Ciudad de Badajoz.

Método de comprobación del modelo

El método de comprobación se basó en posicionar, en el modelo, receptores en puntos donde se situaron estaciones de medida en campo y una vez insertado todos los elementos y configurados los datos de entrada al modelo, calcular los niveles de recepción en esos puntos. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos 'in situ' (medidas de 1 semana) con los obtenidos por el modelo.

Calle	Niveles "in situ"				Niveles calculados			
	Ldia	Ltarde	Lnoche	Ldtn	Ldia	Ltarde	Lnoche	Ldtn
Juan Pereda Pila	71.3	70.7	65.4	73,9	72.5	72.0	65.6	74.7
Fernado Calzadilla	69.0	68.5	62.1	71,2	68.8	68.2	60.7	70.5
Santa Marina	63.7	64.4	56.5	66,1	66.8	66.6	58.1	68.4
Obispo San Juan Ribera	63.3	62.2	57.8	66,0	62.3	62.3	54.7	64.4

Tabla 1.- Comparación de los niveles calculados con las medidas 'in situ'

Como se puede observar los datos de salida del modelo arrojan resultados bastante similares a los obtenidos en las tomas de registros 'in situ'. Así, de los doce índices comparable sólo en dos de ellos la diferencia entre el modelo y las medidas 'in situ' son superiores a 3 dB.

Población afectada

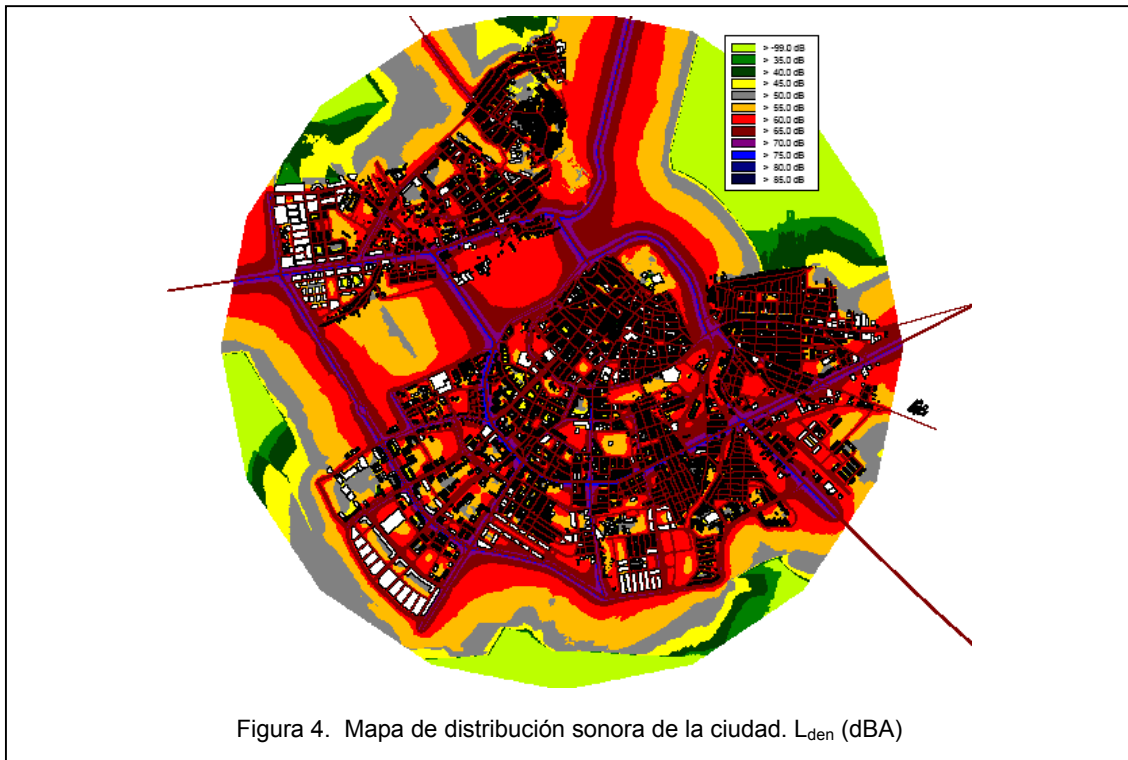


Figura 4. Mapa de distribución sonora de la ciudad. L_{den} (dBA)

Con el procedimiento descrito anteriormente de reparto de la población entre los edificios del modelo, se determinó el número de personas global en la ciudad de Badajoz expuesto a los diferentes rangos de niveles de ruidos evaluados con los índices L_n y L_{dtn} . Los resultados se muestran en la tabla 2.

Intervalo dB(A)	Número de Habitantes	
	L_{dtn}	L_n
Menor de 50.0	8445	22446
50.0- 55.0	6133	47140
55.0- 60.0	7707	35990
60.0- 65.0	38021	12547
65.0- 70.0	46010	1759
70.0- 75.0	12328	0.0
Mayor de 75.0	1238	0.0

Tabla 2.- Habitantes sometidos a los diferentes niveles sonoros obtenidos.

Como se aprecia, según los resultados del modelo, más del 80% de la población estaría sometido a L_{den} superiores a 60 dBA y, en lo que se refiere a valores nocturnos, menos del 20% de la población estaría sometido a valores de L_n inferiores a 50 dBA.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por Junta de Extremadura-Consejería de Educación, Ciencia y Tecnología y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

REFERENCIAS

- ¹ J.M. Barrigón Morillas, V. Gómez Escobar, J.A. Méndez Sierra, R. Vílchez-Gómez, J. Trujillo Carmona. "An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain" *Applied Acoustic* 2002: 63, 1061-1070.
- ² J.M. Barrigón Morillas, V. Gómez Escobar, J.A. Méndez Sierra, R. Vílchez-Gómez, J.M. Vaquero "Measurements of noise pollution in Badajoz City, Spain" *Acta Acustica united with Acustica*. 2005: 91(4), 797-801.
- ³ J.M. Barrigón Morillas, V. Gómez Escobar, J.A. Méndez Sierra, R. Vílchez Gómez, J.M. Vaquero Martínez, J. Trujillo Carmona J. "A categorization method applied to the study of urban road traffic noise". *J. Acoust. Soc. Am.* 2005: 116, 2844-2852.
- ⁴ Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, y la posterior Recomendación de la comisión de 6 de agosto de 2003 relativa a las Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales
- ⁵ Ley 37/2003, de 17 de Noviembre, del Ruido (BOE núm. 276 de 18/XI/2003).
- ⁶ R.D.1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental (BOE núm. 301 de 17/XII/2005).
- ⁷ V. Gómez Escobar, J.M. Barrigón, J.A. Méndez, R. Vílchez, "Estudio preliminar para la caracterización del ruido ambiental en la ciudad de Salamanca", *Revista Española de Acústica Volumen Especial*, 31 (2000) (Edición CD-Rom. ISBN 84-87985-03-3).