

## ÍNDICE PARA DETERMINACIÓN DE LA PRIORIDAD DE ACTUACIÓN EN LOS TRAMOS DE CARRETERA DE UN PLAN DE ACCIÓN CONTRA EL RUIDO

PACS: 43.50.Lj

Ruiz-Padillo, Alejandro<sup>1</sup>; Ramos-Ridao, Ángel<sup>2</sup>; Torija, Antonio J.<sup>3</sup>; Ruiz, Diego P.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Servicio de Carreteras de la Delegación Territorial de la Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía en Almería. E-mail: [ale@ugr.es](mailto:ale@ugr.es)

<sup>2</sup> Dpto. Ingeniería Civil E.T.S. de I.C.C.P. Universidad de Granada. E-mail: [ramosr@ugr.es](mailto:ramosr@ugr.es)

<sup>3</sup> ISVR, University of Southampton, Highfield Campus, SO17 1BJ Southampton, UK, E-mail: [ajtorija@ugr.es](mailto:ajtorija@ugr.es)

<sup>4</sup> Dpto. Física Aplicada Facultad de Ciencias, Campus Fuentenueva s/n, Universidad de Granada, 18071 Granada Tel: +34 958 244 161 Fax: +34 958 243 214 E-mail: [druiz@ugr.es](mailto:druiz@ugr.es).

### ABSTRACT:

The noise generated by road traffic is known for its importance within the overall environmental impacts. There no exists a regulated process to look for and to set up priorities among the different road sections that should be studied in the corresponding Action Plans against noise according to the Environmental Noise Directive (2002/49/EC). In this context, this work defines the so-called "priority road stretch index", which consists of a number of variables (called "priority road stretch variables") known for their special relationship with the problem of road noise, allowing us to sort out the different sections of the Action Plan by main priority for action. This paper also presents the application of the proposed methodology to the review of the Action Plan against Noise 2008-2012 of the road network of the regional government of Andalusia in the province of Almería.

### RESUMEN:

El ruido generado por el tráfico rodado en la actualidad destaca por su importancia en el conjunto de impactos medioambientales de las carreteras. Actualmente no existe un proceso reglado que establezca prioridades entre los diferentes tramos de carreteras incluidos en los correspondientes Planes de Acción contra el Ruido, de acuerdo con la Directiva Europea de Ruido Ambiental. Así, el presente trabajo define el denominado «índice de prioridad de tramo», que consta de la influencia de una serie de variables (llamadas «variables de prioridad de tramo»), destacadas por su especial relación con el problema del ruido en las carreteras, y permite ordenar por prioridad de actuación los tramos del Plan. En este trabajo se presenta además la aplicación de la metodología a la revisión del Plan de Acción contra el Ruido 2008-2012 de la Red de Carreteras Autonómicas de la provincia de Almería.

## 1. INTRODUCCIÓN.

Desde hace cientos de años y dadas las crecientes necesidades de la humanidad, la construcción de vías de comunicación ha sido uno de los primeros signos de civilización avanzada. Sin embargo, no sería hasta el siglo XX cuando se produjo la modernización de las carreteras en España, sobre todo a raíz de las crecientes necesidades que imponía el tráfico importante de automóviles, mediante la utilización de nuevos firmes y la mejora de trazado.

Ello ha tenido consecuencias en el medio ambiente y, hoy en día, el ruido, es considerado como una de las principales causas del deterioro ambiental que padecemos en nuestras ciudades. Además, la totalidad de los estudios realizados en esta materia concluyen que la principal causa del ruido urbano es el producido por el tráfico [5]. Por ello, el ruido del tráfico debe ser tenido en cuenta como un factor importante en la planificación del transporte y sus infraestructuras y se hace preciso el uso de la ingeniería para reducirlo [9].

Como marco para estas actuaciones nos encontramos la normativa de referencia en la materia, emanada en su totalidad 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 (llamada comúnmente «Directiva Europea de Ruido Ambiental»), ya que establece los criterios, parámetros, plazos y formas de actuación en relación con el ruido ambiental en general y acerca del ruido procedente de las carreteras en particular [7]. En el caso concreto de las carreteras, los plazos fijados para la generación de los mapas estratégicos de ruido (MER) son los siguientes [4]:

- a) 30-06-2007: ejes viarios con más de 6.000.000 veh/año.
- b) 30-06-2012: todos los grandes ejes viarios, definidos como cualquier carretera regional, nacional o internacional, con un tráfico superior a 3.000.000 veh/año.

De igual modo, la Directiva define los Planes de Acción contra el Ruido (PAR) como aquellos «encaminados a afrontar las cuestiones relativas al ruido y a sus efectos, incluida la reducción del ruido si fuere necesario» [4], y que en materia de contaminación acústica debida al tráfico de las carreteras habrán de estar aprobados:

- a) Antes del día 18 de julio de 2008, los correspondientes a los ámbitos territoriales de los MER de los ejes viarios de más de 6.000.000 veh/año.
- b) Antes del día 18 de julio de 2013, los correspondientes a los ámbitos territoriales de los MER de los ejes viarios de más de 3.000.000 veh/año.

Además, los PAR se revisarán, y en caso necesario se modificarán, cuando se produzca un cambio importante de la situación existente del ruido, y al menos cada cinco años a partir de la fecha de su aprobación, que es su período de vigencia [6].

De acuerdo con todo lo anterior, mediante los MER las autoridades competentes de las infraestructuras viarias pueden detectar aquellos tramos donde debe centrarse el PAR correspondiente, pero la normativa que obliga a ello no determina cuáles pueden o deben ser estas medidas de atenuación del ruido. Además, estos planes deben ser sometidos a información pública y contar con un plan de financiación para su período de vigencia de 5 años [6], lo cual, en el contexto actual de limitación presupuestaria y de acuerdo con la siempre obligada eficiencia en el gasto público, hace que sea preciso solventar esta debilidad del proceso y poder realizar una planificación ordenada por prioridad de las actuaciones de los PAR que permita dotar de mayor eficiencia a las mismas y además pueda mostrarse a la opinión pública de una forma razonada y coherente.

Con este objetivo se plantea el desarrollo de una metodología que permita ordenar por prioridad mediante un índice ponderado los diferentes tramos de carretera que presentan problemas de ruido y que, por tanto, precisan de actuación dentro del correspondiente PAR, basada en criterios objetivos que adicionalmente, posibilite la elección justificada de las mejores opciones de actuación ante los ciudadanos, como marca la normativa europea.

## 2. METODOLOGÍA.

### 2.1. Selección de las Variables de Prioridad de Tramo.

Como resultado del estudio de los factores que influyen en el fenómeno de generación, propagación y atenuación del ruido debido al tráfico rodado, se ha observado el elevado número de factores que influyen en muy diferente grado de importancia [1], de modo que para determinar las variables que intervienen en la identificación de los tramos de carreteras incluidos en los PAR y el establecimiento de prioridades entre ellos se realizó una selección de aquellas que son más representativas, denominadas «variables de prioridad de tramo» (VPT):

#### 2.1.1. Datos de tráfico: la IMD y el porcentaje de vehículos pesados (%vp).

Como se deduce de la normativa, el primer factor al que debe atenderse al estudiar las carreteras en relación con el ruido, antes incluso de pasar a determinar el nivel sonoro que soporta su entorno, es precisamente el tráfico que presenta, puesto que los horizontes temporales para la generación de los MER y la formulación de los PAR vienen definidos por la normativa europea en función del volumen de tráfico anual de los ejes viarios [4].

Habitualmente, los datos de tráfico de las carreteras obtenidos de los planes de aforos arrojan datos de IMD, de ahí que (traduciendo los valores de volumen de tráfico de la Directiva a datos de IMD) se distingan claramente tres grupos de carreteras según su obligatoriedad de estudio en relación con el ruido:

- a) Grupo I: carreteras con  $IMD > 16.438$  veh/día, con obligación de predecir el nivel sonoro en 2007 y definir el PAR en 2008.
- b) Grupo II: carreteras con  $16.438 \text{ veh/día} \geq IMD > 8.219$  veh/día, en las que el mapa sonoro debía estar listo para 2012, así como el PAR correspondiente en 2013.
- c) Grupo III: carreteras con  $IMD \leq 8.219$  veh/día, para las que no es necesario generar los MER y, por tanto, no existe obligación de incluirlas, a priori, en los PAR.

Al dato de la IMD añadimos el porcentaje de pesados (%vp) de cada tramo, para asignar mayor prioridad a aquellas carreteras con mayor volumen de tráfico y mayor número de vehículos comerciales [9], puesto que los vehículos pesados suelen ser responsables en un alta proporción del ruido generado por el tráfico de las carreteras.

#### 2.1.2. Quejas de los ciudadanos respecto al ruido del tráfico ( $E_Q$ ).

Como se ha visto, es posible que, para carreteras de bajo tráfico, no sea necesario proceder siquiera al estudio del ruido generado por ellas. Sin embargo, consideramos importante identificar grupos de vecinos que hayan presentado quejas al respecto del ruido [8], de modo que si existen datos concretos de problemas con el ruido ambiental es recomendable, aunque no venga obligado por la normativa, estudiar los niveles sonoros que soporta un determinado tramo de carretera conflictivo y así discernir si es preciso o no adoptar medidas.

#### 2.1.3. Atenuación necesaria ( $\Delta L$ ).

Como es obvio, el nivel de presión sonora generado por el tráfico rodado es la variable más importante [10] no sólo a la hora de valorar unas u otras actuaciones, sino también como punto de inicio de la metodología, que obviamente es aplicada en aquellos tramos en que se rebasan los objetivos de calidad acústica establecidos por la normativa según la zonificación acústica. Además, el grado de incumplimiento de la misma va en redundancia de la prioridad de actuación que haya que establecer para los tramos de carreteras así como en la elección, según su eficacia, de entre las diferentes soluciones técnicas posibles.

Para ello, obtenemos el nivel de atenuación que es necesario alcanzar con las medidas anti-ruido, según la siguiente expresión:

$$\Delta L = L_{\text{exist}} - L_{\text{obj}}, \quad (\text{ec. 1})$$

donde:  $\Delta L$  es la atenuación necesaria.

$L_{\text{exist}}$  es el índice de ruido existente obtenido del MER.

$L_{\text{obj}}$  es el índice de ruido del objetivo de calidad acústica buscado.

#### 2.1.4. Existencia de centros sensibles al ruido ( $E_{\text{CS}}$ ).

A partir de los datos de los usos del suelo adyacente a las carreteras podremos, en primer lugar, realizar la zonificación acústica que nos dará el objetivo de calidad acústica, pero también atender a la existencia de centros de ámbito docente, cultural o sanitario que pudieran verse afectados por su ruido [4] (datos que englobaremos en la variable  $E_{\text{CS}}$ ).

#### 2.1.5. Superficie y población expuestas al ruido ( $S_{\text{exp}}$ y $P_{\text{exp}}$ ).

De los MER detallados generados para cada tramo de carretera pueden extraerse los datos de superficie, viviendas y población expuestas, de modo que cuanto mayores sean la extensión ( $S_{\text{exp}}$ ) y el número de habitantes ( $P_{\text{exp}}$ ) afectados por el ruido ambiental debido a la carretera, mayor prioridad podrá asignarse a las medidas necesarias para paliar el problema.

#### 2.1.6. La existencia o planificación de otras medidas contra el ruido ( $E_{\text{MAR}}$ ).

Los datos geométricos de la carretera y la topografía de la zona adyacente, incluyendo los terrenos y las edificaciones, además de caracterizar la infraestructura para la simulación acústica que da lugar a los MER, pueden influir en la formulación del PAR. De entre ellos destaca especialmente la existencia de alguna medida de atenuación acústica bien ya implantada previamente al estudio, bien planificada con anterioridad al estudio o bien decidida en un tramo adyacente al que se esté tratando en ese momento, pues todo ello condiciona la asignación de prioridades [8], así que su información será recogida en la variable  $E_{\text{MAR}}$ .

Además, los parámetros de ordenación del territorio o planificación urbanística pueden evidenciar la existencia de nuevas infraestructuras planificadas que sirvan de alternativa al tramo de carretera conflictivo, así como otras redes adyacentes que también pudieran serlo en la actualidad. Puede ser el caso de una variante de población o una modificación importante del trazado de la carretera que afecte al tramo estudiado, por lo que la metodología no sería de aplicación y habría que tratarlo como un caso muy particular.

### 2.2. Índice de Prioridad de Tramo.

El «índice de prioridad de tramo» (IPT) se compone de la suma de los valores que son dados de forma ponderada a las VPT, de forma que es un número que varía entre 0 y 100 y cuanto mayor sea su valor, mayor será la prioridad que debe tener en el PAR el tramo en cuestión. Por tanto, su definición puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$IPT = \sum_{n=1}^8 VPT_n \quad (\text{ec. 2})$$

### 2.3. Diagrama de Flujo de Aplicación de la Metodología.

Para una mayor sencillez de aplicación de la metodología se presenta un diagrama de flujo, representado en la figura 1, en el que se van extrayendo ordenadamente las VPT, así como se introduce la generación de los MER correspondientes, además de incluso dar como

opción definitiva la alternativa 0 o actuación nula al no existir problema de ruido en el tramo. A ello ha de añadirse la información de las medidas anti-ruido existentes, tomada directamente de las características de la carretera, que nos da la variable  $E_{MAR}$ .

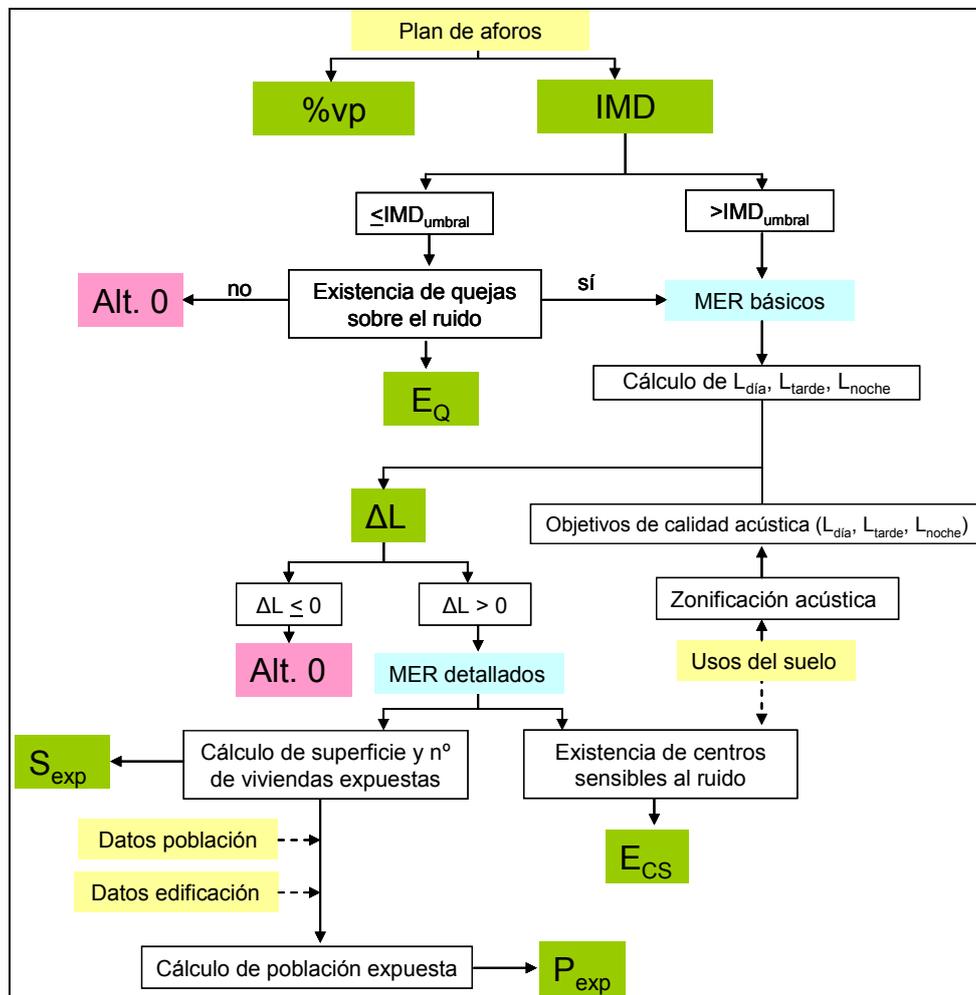


Fig. 1: Diagrama de flujo de aplicación de la metodología y obtención de las VPT.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 3.1. Concreción a la Red de Carreteras de Andalucía.

Una vez determinadas las VPT, es preciso normalizar y ponderar sus valores para que puedan ser introducidos en la definición del IPT, según su importancia.

Por tanto, para la aplicación de la metodología al caso concreto de la Red de Carreteras de Andalucía, previamente se realizó un estudio estadístico de los valores más típicos que se presentan para cada variable en su ámbito, a partir de los datos publicados de los Planes de Aforos [3] y de los MER de Andalucía. Así, en primer lugar, a partir de dicho estudio y a la luz de la experiencia recogida en el artículo de Naish D., 2010 [8], pero adaptando el método desarrollado en él al propósito de nuestro trabajo, se ha asignado un peso o ponderación dentro del índice, es decir, el rango de puntos que se aplica a cada variable, tal y como se muestran en la tabla 1.

*Tabla 1: Listado y ponderación de variables de prioridad de tramo.*

Nº	Variables de prioridad de tramo		Peso (%)
1	$\Delta L$	Atenuación necesaria de nivel sonoro	40
2	$P_{exp}$	Población expuesta	20
3	$S_{exp}$	Superficie expuesta	10
4	IMD	Intensidad media diaria de vehículos	10
5	%vp	Porcentaje de vehículos pesados	5
6	$E_Q$	Existencia de quejas de ciudadanos respecto al ruido del tráfico	5
7	$E_{CS}$	Existencia de centros sensibles al ruido	5
8	$E_{MAR}$	Existencia de medidas previas anti-ruido	5
TOTAL			100

Para las cinco primeras variables se han establecido unos intervalos de valores, de modo que al encuadrar el dato de la variable en uno de ellos se le pueda relacionar un valor ponderado de acuerdo con el peso fijado dentro del IPT. Por su parte, las tres últimas variables adoptan un valor binario (afirmativo o negativo) que se traduce igualmente a un valor numérico según el peso asignado en la metodología. En las tablas 2 a 9 se han recogido estos intervalos y valores posibles de las magnitudes presentadas, así como la puntuación correspondiente a la VPT relacionada.

*Tabla 2:  
Intervalos y ponderación de la variable  $\Delta L$ .*

$\Delta L$ (dB(A))	Puntos
0	0
1	5
2	10
3	15
4-5	20
6-10	25
11-15	30
16-20	35
>20	40

*Tabla 3:  
Intervalos y ponderación de la variable  $P_{exp}$ .*

$P_{exp}$ (nº pers.)	Puntos
0	0
1-50	2
51-100	4
101-200	6
201-500	8
501-1000	10
1001-2000	12
2001-5000	14
5001-10000	16
10001-20000	18
>20000	20

*Tabla 4:  
Intervalos y ponderación de la variable  $S_{exp}$ .*

$S_{exp}$ (km <sup>2</sup> )	Puntos
[0-0,1]	0
(0,1-0,2]	2
(0,2-0,5]	4
(0,5-1]	6
(1-2]	8
>2	10

*Tabla 5:  
Intervalos y ponderación de la variable IMD.*

IMD (veh/día)	Puntos
0-500	0
501-1000	1
1001-2000	2
2001-5000	3
5001-7500	4
7501-10000	5
10001-15000	6
15001-25000	7
25001-50000	8
50001-75000	9
>75000	10

*Tabla 6:  
Intervalos y ponderación de la variable %vp.*

%vp (%)	Puntos
[0-2]	0
(2-5]	1
(5-10]	2
(10-20]	3
(20-30]	4
>30	5

*Tabla 7:  
Valores y ponderación de la variable  $E_Q$ .*

$E_Q$ (¿existen quejas sobre el ruido?)	Puntos
Sí	5
No	0

*Tabla 8:*  
 Valores y ponderación  
 de la variable  $E_{CS}$ .

$E_{CS}$ (¿existen edificios sensibles al ruido?)	Puntos
Sí	5
No	0

*Tabla 9:*  
 Valores y ponderación de la variable  $E_{MAR}$ .

$E_{MAR}$ (¿existen medidas anti-ruido?)	Puntos	(*) ¿hay medidas anti-ruido ya planificadas?	Puntos
Sí	0	Sí	0
No	(*)	No	5

3.2. Aplicación del IPT a los Tramos de Carreteras Autonómicas del PAR 2008-2012 de la Provincia de Almería.

El PAR de la Red de Carreteras de Andalucía publicado en 2008, apoyado los MER generados en 2007 sobre las carreteras de más de seis millones de vehículos al año, presentaban problemas de ruido debido al tráfico. En el caso concreto de la provincia de Almería sólo aparecía un tramo que podía englobarse dentro del mencionado grupo I de carreteras, la A-1000, que discurre de la N-340a en Huércal de Almería a la A-7 en Viator [2].

Sin embargo, la aplicación de la metodología según el diagrama de la figura 1 a las carreteras de titularidad autonómica de Almería en la revisión del PAR 2008 cinco años después, en 2013, ya no comprendería la carretera A-1000, puesto que su tráfico ha descendido de los 16.438 veh/día, aunque se sitúa muy cercano a ese valor, mientras que incluiría la A-1051, de la A-7 en Aguadulce a El Parador de las Hortichuelas, carretera que fue abierta al tráfico precisamente en el año 2008 y al no disponer de datos fiables de IMD en esos momentos no fue incluida en el PAR, pero cuyo tráfico es el más elevado de la red autonómica en la provincia. Por otra parte, la carretera A-1201, variante oeste de Pulpí abierta al tráfico en 2007, pese a no alcanzar el valor de la IMD umbral ese año ni ahora, sí presenta numerosas quejas de ciudadanos al respecto del ruido provocado por el tráfico en sus viviendas en el tramo entre las intersecciones con la A-350 y la A-1201R, por lo que también ha sido analizada.

Así, los datos de los tres tramos de carreteras estudiados se resumen en la tabla 10, junto con los valores de las VPT, así como el valor resultante del IPT de cada tramo.

*Tabla 10: Datos de tramos de carreteras de aplicación de la metodología.*

	A-1000		A-1051		A-1201	
	Dato	VPT	Dato	VPT	Dato	VPT
$L_{exist}$ (dB(A))	74		77		67	
$L_{obi}$ (dB(A))	65		65		65	
$\Delta L$ (dB(A)) (según ec. 1)	9	25	12	30	2	10
$P_{exp}$ (nº pers.)	600	10	210	8	16	2
$S_{exp}$ (km <sup>2</sup> )	0,08	0	0,32	4	0,08	0
IMD (veh/día)	15.767	7	33.615	8	4.116	3
%vp (%)	3%	1	5%	1	6%	2
Quejas sobre el ruido	NO	0	NO	0	SÍ	5
Centros sensibles al ruido	SÍ	5	NO	0	NO	0
Medidas anti-ruido existentes	NO	5	NO	5	SÍ	0
Medidas anti-ruido planificadas	NO		NO		NO	
IPT (según ec. 2)		53		56		22

Por tanto, el orden de prioridad sería el siguiente: A-1051, A-1000 y A-1201, es decir, es más urgente actuar sobre el tramo de la A-1051 (que no estaba incluido en el PAR) que sobre el previsto de la A-1000 (pese a la mayor población afectada y la cercanía de colegios), mientras que la actuación menos prioritaria, empero las quejas, sería la necesaria para la A-1201, que tampoco aparecía en el PAR al no cumplir los requisitos exigidos en la normativa.

#### 4. CONCLUSIONES.

En este trabajo se muestran los resultados preliminares del desarrollo de una metodología para la decisión sobre la prioridad de actuación en los tramos de carretera de un PAR, mediante la aplicación del «índice de prioridad de tramo» (IPT) a partir de los valores ponderados y normalizados de unas determinadas «variables de prioridad de tramo» (VPT).

Concretada la metodología a la Red de Carreteras de Andalucía, se han definido los valores ponderados de las VPT dentro del índice, y su aplicación a la revisión del PAR 2008-2012 previsto por la Junta de Andalucía para las carreteras de la provincia de Almería ha mostrado varios casos diferentes y un determinado orden de prioridad según el IPT.

#### AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España a través del proyecto TEC2012-38883-C02-02.

Se agradece a la Dirección General de Infraestructuras de la Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía por la facilidad en el acceso a los datos necesarios.

Antonio J. Torija agradece la financiación de la Universidad de Málaga y de la Comisión Europea en virtud del Acuerdo de Subvención núm. 246550 del 7 Programa Marco de I+D de la UE, concedido dentro de Programa People, «Co-funding of Regional, National and International Programmes» (COFUND).

#### REFERENCIAS.

- [1] Ausejo M., Tabacchi M., Recuero M., Asensio C., Pagán R y Pavón I. Design of a noise action plan based on a road traffic noise map. *Acta Acustica United with Acustica* 97 (2011) 492-502.
- [2] Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía (COPT). Plan de Acción Contra el Ruido de la Red Autonómica de Carreteras de Andalucía con tráfico superior a seis millones de vehículos al año (2008).
- [3] Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía (COFV). Plan General de Aforos de Andalucía (2012).
- [4] Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* nº 189, de 18 de julio de 2002. Páginas 12 a 25.
- [5] García Sanz B. y Garrido F. J. La contaminación acústica en nuestras ciudades. Colección Estudios Sociales nº 12. Fundación "la Caixa". Barcelona, 2003.
- [6] Murphy E. y King E. A. Strategic environmental noise mapping: Methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directive and their policy implications. *Environmental International* 36 (2010) 290-298.
- [7] Murphy E. y King E. A. Scenario analysis and noise action planning: Modelling the impact of mitigation measures on population exposure. *Applied Acoustics* 72 (2011) 487-494.
- [8] Naish D. A method of developing regional road traffic noise management strategy. *Applied Acoustics* 71 (2010), 640-652.
- [9] Ouis D. Annoyance from road traffic noise: a review. *Journal of Environmental Psychology* (2001) 21, 101-120.
- [10] Torija A. J., Ruiz D. P., Alba-Fernández V. y Ramos Ridao Á. Noticed sound events management as a tool for inclusion in the action plans against noise in medium-sized cities. *Landscape and Urban Planning* 104 (2012) 148-156.