

## EI MÉTODO DE CATEGORIZACIÓN. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE UN MUESTREO ESTRATIFICADO

PACS Nº 43.50 SR

Barrigón Morillas, Juan Miguel<sup>1</sup>; Gómez Escobar, Valentín<sup>1</sup>; Rey Gozalo, Guillermo<sup>1,2</sup>; Vílchez-Gómez, Rosendo<sup>1</sup>; Trujillo Carmona, José<sup>1</sup>; Méndez Sierra, Juan Antonio<sup>1</sup>; Carmona del Río, Javier<sup>1</sup>; Prieto Gajardo, Carlos<sup>1</sup>; Atanasio Moraga, Pedro<sup>1</sup>; Montes González, David<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Laboratorio de Acústica, Universidad de Extremadura

Avda. de la Universidad, s/n, Cáceres, 10003 (SPAIN). Tel.: +34 927 25 71 95. Fax: +34 927 25 72 03. E-mail: barrigon@unex.es

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Chile; 5 Poniente 1670, Talca, Región de Maule (Chile). Tel: +56 071 342800

### ABSTRACT

In the last decades, sampling methods based on a previous stratification of the streets of the studied city have been studied. In this paper, we review the main assumptions, possibility, limitations, strengths, possible applications... of these 'street stratification methods', particularizing sometimes in the *Categorization Method*. Comparison of their results with the *grid method* [they only sampling method cited in an international standard (ISO 1996-2)]. Possible interactions with prediction methods are also discussed.

### RESUMEN

Desde hace algunos años, se viene investigando en un método de muestreo fundamentado en una estratificación previa de las calles de una ciudad a partir de un conjunto de definiciones. En este trabajo pretendemos realizar una revisión de sus premisas, procedimiento, aportaciones, ventajas, inconvenientes, aplicabilidad a la realización de mapas de ruido... Entre otros aspectos, se compararan sus resultados con los del *Método de Cuadrícula*, método de muestreo y realización de mapas de ruido recogido en una normativa internacional (ISO 1996-2). También se analizarán sus interrelaciones con los métodos informatizados de realización de mapas de ruido.

## INTRODUCCIÓN

El ruido está reconocido como uno de los principales contaminantes que afecta al ciudadano y, por ello, se han dedicado múltiples esfuerzos a su caracterización y estudio. Para conocer los niveles sonoros a los que están expuestos los ciudadanos contemporáneos, se han propuesto dos tipos de metodologías: por un lado, la medida *in situ* de los niveles sonoros y, por otro lado, la predicción de estos niveles sonoros mediante ecuaciones teóricas, con la ayuda de ordenadores. Cada tipo de metodología tiene sus ventajas e inconvenientes y, por tanto, sus limitaciones de uso, pero no es intención de este trabajo de discutirlos, sino que este trabajo se va a centrar en el análisis de una metodología de selección de puntos de medida dentro de los que hemos denominado métodos *in situ*: la estratificación de viales.

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

- En primer lugar, hacer una revisión y análisis de diferentes estudios que han utilizado el método estratificado de viales para la evaluación del ruido urbano.
- En segundo lugar, analizar las potencialidades y limitaciones del método de estratificación de viales.
- En tercer lugar, comparar el método con otros métodos de medida *in situ*.

Para la consecución de los dos últimos objetivos se particularizará en una propuesta particular de método de estratificación de viales: el *Método de Categorización* propuesto por el grupo de investigación del Laboratorio de Acústica de la Universidad de Extremadura.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Técnicas de muestreo espacial del ruido urbano

En 1987 Brown y Lam en su trabajo "*Urban noise surveys*" [Brown y Lam, 1987a] realizan una extensa recopilación de las diferentes técnicas de muestreo espacial del ruido urbano en las que se pueden dividir los métodos de estudio del ruido urbano mediante medidas *in situ*. Estos autores agrupan las diferentes metodologías en los siguientes cuatro grupos:

- Muestreo al azar.
- Muestreo estratificado por usos del suelo.
- Muestreo orientado hacia el receptor
- Muestro orientado hacia la fuente.

Además de recoger ejemplos de diferentes trabajos realizados con cada uno de los grupos de metodologías, complementan esta recopilación con un análisis de las capacidades y limitaciones de cada uno de ellos.

La denominación "muestreo al azar", quizás no sea del todo correcta, pues, en algunos casos, en estudio incluidos en esta denominación, la selección de los puntos de muestreo es arbitraria, a juicio del evaluador [Thi Phan et al., 2010], que tiene el claro peligro de sesgar la representatividad de los resultados si en la elección de los puntos de medida se priman los lugares más ruidosos [García, 2006]. Además, también se incluyen en esta denominación el conocido como *Método de Cuadrícula*, en el que, por un intento de proporcionar una mejor cobertura del área de estudio, la selección de puntos viene impuesta por el tipo de malla superpuesta al plano de la zona a estudiar [Zannin et al., 2001, Sommerhoff et al., 2004, Martín et al., 2006]. La representatividad de los resultados que se obtienen por el *Método de Cuadrícula* (único método que aparece recogido en una normativa internacional [ISO 1996-2, 1987, 2007]) depende, en gran medida, de la densidad de puntos de muestreo y de las características urbanas de la zona [Brown y Lam, 1987a, Gómez Escobar et al., 2012].

En el "muestreo estratificado por usos del suelo" los puntos de muestreos se distribuyen de forma arbitraria o aleatoria de acuerdo con las categorías de planificación de la ciudad: uso

comercial, uso residencial, uso industrial... Algunas de estas categorías, como por ejemplo 'uso residencial', son tan extensas o importantes que si queremos evaluar la totalidad de una ciudad, el muestro estratificado se convierte en el primer tipo de muestreo: arbitrario o aleatorio. También, como indica Romeu, los niveles sonoros son similares en cada categoría de usos de la tierra [Romeu et al., 2006], es decir, que no se tratan de estratos independientes sino subpoblaciones. Por lo tanto, este muestreo puede presentar las mismas desventajas que el "muestreo al azar", indicadas por Romeu: "*noise levels are highly dependent on the volume of traffic, which is not necessarily different for different types of land use*" [Romeu et al., 2006] aunque ya mostradas en estudios muy anteriores [Attenborough y Clark, 1976].

El 'muestreo orientado al receptor' es un muestreo aplicado a entornos reducidos: hospitales, colegios... y, cuando son utilizados en estudios de gran escala, necesitan del apoyo de otras técnicas de muestreo [Murphy y King, 2011].

Finalmente está el 'muestreo orientado hacia la fuente', muestreo en el que se basan los actuales y extendidos programas informáticos de predicción sonora. En este tipo de muestreo "*las correspondientes medidas de ruido se pueden llevar a cabo en emplazamientos seleccionados totalmente al azar*" [García, 2006].

### **Muestreo estratificado de viales**

Cada una de estas metodologías de muestreo espacial descritas anteriormente tiene, como se ha indicado anteriormente, una serie de limitaciones y de capacidades que han de ser conocidas para poder dar un adecuado uso a los valores sonoros medidos. En busca de métodos alternativos a los descritos por Brown y Lam en su trabajo que tengan menos limitaciones y más ventajas que estos, y recogiendo las ideas planteadas en su análisis de las diferentes metodologías espaciales de toma de muestras, varios autores han optado por un 'muestreo estratificado de viales' [Barrigón Morillas et al., 2002, Calixto et al., 2003, Romeu et al., 2006, Rey Gozalo, 2012a] que es el tipo de muestreo en el que se centra este trabajo.

El 'muestreo estratificado de viales' parte del hecho de que, actualmente, la fuente de ruido urbano mayoritaria, desde el punto de vista temporal como espacial, es el tráfico rodado. Por lo tanto, el estudio sonoro de un emplazamiento o de una ciudad se va a ver muy influenciado por el grado de entendimiento del comportamiento de ésta. El tráfico discurre por vías urbanas pero no todas presentan el mismo nivel sonoro, existiendo una gran variabilidad. El valor sonoro va a depender principalmente del flujo y de la composición del mismo pero también de otras características urbano-arquitectónicas. Debido a esta gran variabilidad, un muestreo estratificado, podría limitar la incertidumbre y, por tanto, aumentar la precisión. Además, en muchos casos la estructura propuesta en los métodos de muestre estratificados epresenta bastantes similitudes con otras definiciones de carácter administrativo [Germán, 2009, Suárez et al., 2011].

A pesar de la propuesta reciente de los mencionados estudios de ruido basados en el 'muestreo estratificado de viales', ya anteriormente algunos autores habían realizados acercamientos a esta metodología. Así, Purkis, en 1964, publicó el trabajo "*Transport noise and town planning*" [Purkis, 1964], en el que, no como estrategia de muestreo sino como planteamiento de presentación de los resultados obtenidos, se realiza una diferenciación entre grupos de calles y se le asignan unos rangos sonoros diurnos y nocturnos a cada una de estos grupos que, efectivamente, poseen una estructura que puede acercarse a una estratificación. Además, en este artículo se aborda la relación ineludible entre la contaminación acústica y la planificación urbana. En España, uno de los primeros estudios de los niveles sonoros en los que se alude a la estratificación de las vías urbanas es el realizado a finales de siglo pasado en Valladolid [Sánchez y González, 1992].

### **El Método de Categorización**

El año 1999, el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Extremadura, retoma estos estudios preliminares y propone un muestreo estratificado de viales denominado *Método de Categorización*. Este método se basa en un conjunto de categorías que estructuran las calles de una ciudad de acuerdo a su función como medio de comunicación. La definición de las distintas categorías se ha ido perfeccionando en diferentes estudios y, en la actualidad es la que se muestra, a continuación:

- Categoría 1: Vías de utilización preferente para comunicar la ciudad con otras zonas peninsulares (carreteras, para ciudades del tipo estudiado, de carácter nacional) y para intercomunicar estas vías entre ellas a través de la zona urbana (en general, serán vías de dirección indicada o señalizada).
- Categoría 2: Vías urbanas que dan acceso desde las de la categoría anterior a nodos de distribución principales de la ciudad (se entiende por nodo de distribución principal a aquellas rotondas, glorietas, o similares que, estando en la zona central de la ciudad, unen al menos cuatro calles, dando la posibilidad de, una vez en ellas, acceder o dirigirse desde o hacia al menos tres zonas diferenciadas de la ciudad. En esta definición no se incluyen nodos análogos, que hayan quedado incluidos en las vías de la categoría anterior). También se incluyen en esta categoría las vías que son usadas de forma alternativa a las de la categoría anterior dada la saturación que éstas pueden presentar en muchas ciudades.
- Categoría 3: Se incluyen en ella, por un lado, las vías que comunican la ciudad con otras zonas regionales (carreteras, por tanto, de carácter regional o comarcal) y, por otro, las vías urbanas que dan acceso desde las anteriores a centros de interés o que comunican, de forma clara, las anteriores entre sí.
- Categoría 4: Vías de intercomunicación entre las anteriores. Además, se incluyen en esta categoría, las principales vías de los diferentes barrios que no han sido incluidas en categorías previas.
- Categoría 5: Se incluyen en ella, todas las calles de la ciudad (excepto las peatonales) que no han sido incluidas en las categorías anteriores.
- Categoría 6: Calles peatonales o de tráfico restringido.

El método se ha aplicado, primeramente, en algunas ciudades españolas de un tamaño poblacional medio-grande (55.000 a 220.000 habitantes), con resultados satisfactorios: un alto coeficiente de correlación significativo entre el nivel sonoro y el flujo del tráfico y una estratificación significativa de los distintas categorías [Barrigón Morillas et al 2002, 2005a, 2005b]. En estudios posteriores, la aplicación del método se amplió a ciudades de mayor y menor tamaño [Barrigón et al., 2010; Rey Gozalo et al., 2013a]. A modo de ejemplo, en la Figura 1, se muestra la categorización de la ciudad de Navalmoral de la Mata (Cáceres). Además, en la tabla 1 se muestran los valores sonoros medios de las cinco primeras categorías en varias ciudades españolas, observándose la diferenciación entre estas categorías.

Se encontró que el *Método de Categorización* no sólo permitía una estratificación significativa de los niveles medios de las distintas categorías, sino que también las categorías tenían un alto porcentaje de sensibilidad y de capacidad predictiva [Carmona et al., 2011, Rey Gozalo et al., 2013a].

Los resultados de la aplicación del método parecen demostrar que, por tanto, para las ciudades estudiadas, en un rango de más de dos órdenes de magnitud en el tamaño poblacional, el método permite, con un reducido número de puntos de muestreo, un elevado conocimiento global de la situación acústica de la ciudad.

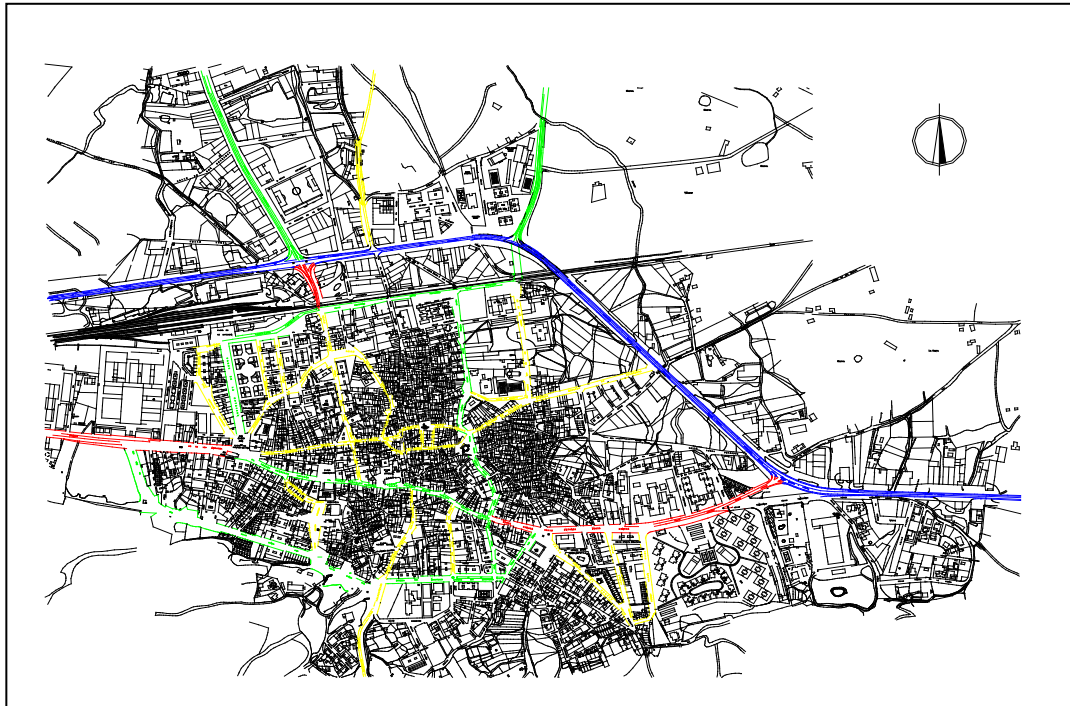


Figura 1. Categorización de la ciudad de Navalmoral de la Mata (Cáceres). Categoría 1 en azul; Categoría 2 en rojo; Categoría 3 en verde; Categoría 4 en amarillo y Categoría 5 el resto de calles, excepto peatonales.

Localidad	Población (miles)	Nivel y desviación estandar (dBA)				
		Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5
Castuera (Badajoz)	7	68,5±1,6	64,5±1,6	63,0±0,9	58,6±2,1	52,3±2,8
Olivenza (Badajoz)	12	70,2±1,5	67,4±2,0	64,4±2,0	61,0±1,8	56,6±1,7
Navalmoral de la Mata (Cáceres)	17	70,5±1,1	66,4±1,2	65,0±2,4	61,3±3,4	55,0±2,1
Plasencia (Cáceres)	40	71,5±0,8	69,5±0,8	67,1±1,5	64,7±1,3	59,7±3,2
Cáceres	92	70,9±1,8	69,6±1,7	68,0±1,5	64,6±0,7	59,1±2,7
Vitoria	221	74,8±1,7	71,4±1,6	70,7±1,7	68,7±1,5	63,1±3,0
Sevilla	700	76,5±1,2	73,7±1,4	72,2±1,1	67,8±1,5	61,9±2,8

Tabla 1.- Niveles sonoros medios medidos en las diferentes categorías, en varias ciudades españolas.

### **Comparación del *Método de Categorización* con el *Método de Cuadrícula***

Una vez comprobada las capacidades y posibilidades del *Método de Categorización*, parecía recomendable comparar los resultados obtenidos con otro método de muestreo. Para ello, fue elegido el *Método de Cuadrícula*, método que viene recogido en una normativa internacional, ISO 1996-2, normativa muy utilizada como guía para el procedimiento de medida [ISO 1996-2, 1987, 2007]. En dos ciudades con diferentes características sociodemográficas y urbano-arquitectónicas los resultados mostraron no sólo las ventajas del *Método de Categorización* a la hora presentar una menor incertidumbre en la estimación de los niveles sonoros y el porcentaje de exposición y molestia sonora sino también las ventajas en cuanto al coste del estudio, facilidad de asignar población afectada, etc. [Barrigón et al., 2011, Rey Gozalo et al., 2012b].

### **Potencialidades y desarrollos pendientes de los muestreos estratificados**

En los primeros trabajos realizados por el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Extremadura, se analizó el funcionamiento del *Método de Categorización* en el periodo diurno (7:00-23:00) y a través de medidas *in situ* de corta duración [Barrigón Morillas et al 2002, 2005a, 2005b], demostrándose la existencia de una estratificación de los niveles sonoros diurnos asociada a las definiciones propuestas.

Dado el uso y recomendación extendida de los indicadores sonoros de larga duración, se hacía necesario el estudio de la existencia de una estratificación en los indicadores asociados a los diferentes horarios. En este sentido, Romeu y colaboradores, en sus diferentes trabajos, indican, de una forma preliminar, el buen funcionamiento de este método en otros periodos [Romeu et al., 2006] y cómo los niveles de corta duración pueden estimar los valores reales para el periodo diurno [Romeu et al., 2011]. En esta línea también se centran los últimos estudios de nuestro grupo, realizados en las ciudades de Cáceres y Plasencia a partir de medidas de larga duración y cuyos resultados muestran cómo también esta estratificación está presente en otros periodos diarios [Rey Gozalo et al., 2013b, 2013c].

Otro aspecto de interés puede deducirse de los datos presentados en la tabla 1, en ella puede verse la existencia de una posible relación de los resultados obtenidos con el *Método de Categorización* con variables poblacionales. Este hecho fué analizado en el trabajo "*Possible relation of noise levels in streets to the population of the municipalities in which they are located*" [Barrigón et al., 2010]. En él se estudiaron un conjunto de 20 ciudades con diferentes localizaciones y características demográficas. Los niveles sonoros diurnos de las categorías presentaron una relación lineal significativa con respecto a variables demográficas y, a su vez, significativamente distinta entre las categorías. Estos resultados, dada la gran variabilidad poblacional de las ciudades analizadas, deja abierta la posibilidad de poder estimar los niveles sonoros en función de características demográficas, mejorando relaciones previas con la densidad de población (Galloway et al., 1974; Stewart et al., 1999).

Por otro lado, es importante destacar que si en la toma de muestra se tiene un especial cuidado en que la distancia a la fuente sonora sea fija (o al menos, conocida), los niveles sonoros obtenidos mediante el uso de esta metodología pueden servir de base para la entrada de datos en los diferentes métodos de cálculo o métodos de predicción sonora. Además, el 'muestreo estratificado de viales' aporta la posibilidad de calibrar los modelos y comprobar las estimaciones de los programas de predicción sonora [WG-AEN, 2007], con un número reducido de medida. En este sentido, es de reseñar que diferentes investigadores, a partir de una estratificación previa de las vías urbanas y la utilización de GIS, han demostrado una seria competencia a los métodos de cálculo tradicionales [Doygun y Kusat, 2008, Ko et al., 2011].

## CONCLUSIONES

El uso de un muestreo estratificado ha demostrado su utilidad en el estudio del ruido urbano, permitiendo, con un reducido número de puntos de muestreo, un elevado conocimiento global de la situación acústica de la ciudad.

Ha quedado demostrada la existencia de una estratificación estadísticamente significativa del ruido existente en las ciudades a partir de unas definiciones previas de las categorías y abre la posibilidad de estimar los niveles sonoros en función de características demográficas.

Ha mostrado su utilidad, al menos como complemento, para los métodos de realización de mapas de ruido mediante predicción o cálculos y muestra la posibilidad de ser una alternativa.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Consejería de Empleo, Empresa e Innovación - Gobierno de Extremadura (GR10175), Fondo Social Europeo y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).



## BIBLIOGRAFÍA:

- Attenborough, K. y Clark, S. (1976). Background noise levels in the United Kingdom. *Journal of Sound and Vibration* 48, 359-375.
- Barrigón Morillas, J.M.; Gómez Escobar, V.; Méndez Sierra, J.A.; Vílchez-Gómez, R. y Trujillo Carmona, J. (2002). An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. *Applied Acoustics* 63, 1061-1070
- Barrigón Morillas, J.M.; Gómez Escobar, V.; Méndez Sierra, J.A.; Vílchez-Gómez, R. y Vaquero, J.M. (2005a). Measurements of noise pollution in Badajoz City, Spain. *Acta Acustica united with Acustica* 91, 797-801.
- Barrigón Morillas, J.M.; Gómez Escobar, V.; Méndez Sierra, J.A.; Vílchez-Gómez, R.; Vaquero, J.M. y Trujillo Carmona, J. (2005b). A categorization method applied to the study of urban road traffic noise. *Journal of the Acoustical Society of America* 116, 2844-2852.
- Barrigón Morillas, J.M.; Gómez Escobar, V.; Rey Gozalo, G. y Vílchez-Gómez, R. (2010). Possible relation of noise levels in streets to the population of the municipalities in which they are located. *Journal of the Acoustical Society of America* 128, EL86-EL92.
- Barrigón Morillas, J.M.; Gómez Escobar, V.; Méndez Sierra, J.A.; Vílchez-Gómez, R.; Carmona del Río, F.J. y Trujillo Carmona, J. (2011). Analysis of the prediction capacity of a categorization method for urban noise assessment. *Applied Acoustics* 72, 760-771.
- Brown, A.L. y Lam, K.C. (1987). Urban noise surveys. *Applied Acoustics* 20, 23-39.
- Calixto, A., Diniz, F.B., Zannin, P.H.T. (2003). The statistical modeling of road traffic noise in an urban setting. *Cities* 20, 23-29.
- Carmona del Río, F.J.; Gómez Escobar, V.; Trujillo Carmona, J.; Vílchez-Gómez, R.; Méndez Sierra, J.A.; Rey Gozalo, G. y Barrigón Morillas, J.M. (2011). Application of a street categorization method to the study of urban noise: the Valladolid (Spain) study. *Environmental Engineering Science* 28, 811-817.
- Doygun, H. y Kusat Gurun, D. (2008). Analysing and mapping spatial and temporal dynamics of urban traffic noise pollution: a case study in Kahramanmaraş, Turkey. *Environment Monitoring and Assessment* 142, 65-72.
- Galloway, W. J., Eldred, K. McK., and Simpson, M. A. (1974). "Population distribution of the United States as a function of outdoor noise level," EPA Report No. 550/9-74-009, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- García, A. (2006). La contaminación Acústica: Fuentes, Evaluación, Efectos y Control. Sociedad Española de Acústica.

- Germán González, M. (2009). Análisis del ambiente sonoro y de la reacción humana al ruido en espacios urbanos de la Ciudad de México. Tesis de la Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Gómez Escobar, V., Barrigón Morillas, J.M., Rey Gozalo, G., Víchez-Gómez, R., Carmona del Río, J., Méndez Sierra, J.A. (2012). Analysis of the Grid Sampling Method for Noise Mapping. *Archives of Acoustics* 37, 499-514.
- ISO1996-2 (1987). Description and measurement of environmental noise. Part 2: Acquisition of data pertinent to land use. International Organization for Standardization, Suiza.
- ISO 1996-2 (2007). Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels. International Organization for Standardization, Suiza.
- Ko, J.H.; Chang, S.I. y Lee, B.C. (2011). Noise impact assessment by utilizing noise map and GIS: A case study in the city of Chungju, Republic of Korea. *Applied Acoustics* 72, 544-550.
- Martín, M.A, Tarrero, A.I., González, J., Machimbarrena, M. (2006). Exposure-effect relationships between road traffic noise annoyance and noise cost valuations in Valladolid, Spain. *Applied Acoustics* 67, 945-958.
- Murphy, E. y King, E.A. (2011). Scenario analysis and noise action planning: Modelling the impact of mitigation measures on population exposure. *Applied Acoustics* 72, 487-494.
- Purkis, H.J. (1964). Transport noise and town planning. *Journal of Sound and Vibration* 3, 323-334.
- Rey Gozalo, G. (2012a). Análisis y evaluación de un método de muestreo para la realización de mapas de ruido: El Método de Categorización. Tesis doctoral. Universidad de Extremadura, Cáceres.
- Rey Gozalo, G., Barrigón Morillas, J.M., Gómez Escobar, V. (2012b). Analysis of Noise Exposure in Two Small Towns. *Acta Acustica united with Acustica* 98, 884-893.
- Rey Gozalo, G., Barrigón Morillas, J.M., Gómez Escobar, V. (2013a). Urban streets functionality as a tool for urban pollution management. *Science of the Total Environment* 461-462, 453-461.
- Rey Gozalo, G., Barrigón Morillas, J.M., Gómez Escobar, V., Vílchez-Gómez, R., Méndez Sierra, J.A., Carmona del Río, F.J., Prieto Gajardo, C. (2013b). Study of the categorisation method using long-term measurements. *Archives of Acoustics* (aceptado).
- Rey Gozalo, G., Barrigón Morillas, J.M., Gómez Escobar, V. (2013c). Analysis of the application of the categorization method to continuous measurements (enviado para su publicación).
- Romeu, J., Jiménez, S., Genescá, M., Capdevila, R. (2006). Spatial sampling for night levels estimation in urban environments. *Journal of the Acoustical Society of America* 120, 791-800.
- Romeu, J.; Genescà, T.; Pàmies, T. y Jiménez, S. (2011). Street categorization for the estimation of day levels using short-term measurements. *Applied Acoustics* 72, 569-577.
- Sánchez, J.I. y González, J. (1992). Estrategia de medida del ruido de tráfico por criterios urbanísticos. *Revista Española de Acústica* 23, 13-18.
- Sommerhoff, J., Recuero, M., Suárez, E. (2004). Community noise survey of the city of Valdivia, Chile. *Applied Acoustics* 65, 643-656.
- Suárez, E.; Barros, J.L.; Báez, A.; Stevens, J.; Romero, R.; Álvarez, J.; González, C. y Rey Gozalo, G. (2011). Mapa de ruido de la comuna de Santiago de Chile mediante modelación. *Proceedings of Internacional Symposium of Acoustics, INGEACUS, Valdivia, Chile.*
- Stewart, C. M., Russel, W. A., and Luz, G. A. (1999). "Can population density be used to determine ambient noise levels?", in 137th Meeting ASA, Forum Acusticum, Berlin, Germany.
- Thi Phan, H.Y., Yano, T., Sato, T., Nishimura, T. (2010). Characteristics of road traffic noise in Hanoi and Ho Chi Minh City, Vietnam. *Applied Acoustics* 71, 479-485.
- WG-AEN (Working Group Assessment of Exposure to Noise) (2007). Good practice guide for strategic noise mapping and the production associated data on noise exposure. WG-AEN, Position Paper 2. European Commission, Bruselas.
- Zannin, P.H., Diniz, F.B., Calixto, A., Barbosa, W.A. (2001). Environmental noise pollution in residential areas of the city of Curitiba. *Acta Acustica united with Acustica* 87, 625-628.