

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE CATEGORIZACIÓN A LOCALIDADES DE DIFERENTES TAMAÑOS

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.

Laboratorio de Acústica, Departamento de Física Aplicada, 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: guille@unex.es, barrigon@unex.es*, valentin@unex.es, vilchez@unex.es, jmenendez@unex.es, jcarmona@unex.es, carlosprieto@unex.es}

Resumen

Nuestro grupo de investigación lleva varios años trabajando en el *método de categorización*. A lo largo del tiempo se han estudiado localidades de diversos tamaños.

En el presente trabajo se resumen los resultados de aplicación del método en más de 15 localidades (españolas, en su mayor parte) con poblaciones que varían en varios órdenes de magnitud.

Los resultados muestran que el *método de categorización* con un número muy reducido de medidas permite una caracterización muy razonable del ruido urbano. Por otro lado, los resultados también muestran cómo parámetros como la población de la localidad, su densidad o el área urbana parecen influir en los valores sonoros que se miden.

Palabras-clave: Ruido urbano, metodología de medida.

Abstract

During the last decade, our research group has been developing a sampling procedure for urban noise assessment (the *categorization method*). In these years an important number of towns and cities have been studied.

This paper summarizes the results of the application of the categorization method to more than 15 towns or cities (located in Spain, mainly) whose populations vary by several orders of magnitude. Results show that the *categorization method* allows a very reasonable characterization of urban noise with a very small number of measurements. Besides, results show that the measured urban noise levels seem to be influenced by parameters such as the population size, inhabited area and density.

Keywords: Urban noise, sampling methodology.

PACS no. 43.50 Rq¹, 43.50 Sr², 43.50 Lj³

¹ Community noise, noise zoning, by-laws, and legislation.

² Instrumentation and techniques for noise measurement and analysis.

³ Transportation noise sources: air, road, rail, and marine vehicles.

1 Introducción

El Laboratorio de Acústica de la Universidad de Extremadura lleva algunos años investigando en el desarrollo de un método de muestreo para la realización de estudios de ruido urbano. Este método de muestreo, denominado *método de categorización*, se basa en la suposición de que el tráfico representa la mayor fuente de variabilidad del ruido, tanto espacial como temporalmente. Por lo tanto, el conjunto de categorías se definen basándose en la diferente utilidad que las calles de las ciudades tienen como medio de comunicación entre las diferentes zonas de la ciudad o entre la ciudad y otros núcleos urbanos u otras zonas del territorio.

El *método de categorización* constituye una alternativa al método de muestreo conocido como *método de cuadrícula*, que es el único método que aparece recogido en una normativa internacional [1, 2] a pesar de las limitaciones e inconvenientes descritas por diferentes organismos y autores [1, 2, 3, 4, 5]. También se ha investigado sobre la aplicabilidad de este método de muestreo para la calibración y comprobación de las estimaciones de los métodos de predicción [6].

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión de algunos de los resultados obtenidos en diferentes estudios realizados con el *método de categorización*, los cuales muestran su buen funcionamiento.

Los primeros trabajos realizados con este método se llevaron a cabo en las ciudades de Cáceres, Badajoz, Mérida, Vitoria y Salamanca [4, 7, 8]. Estos estudios se ampliaron a otras ciudades como Zafra, Plasencia y Valladolid, en las cuales se desarrollaron otros métodos analíticos potentes que nos permitieron contrastar los resultados satisfactorios obtenidos en las ciudades anteriores [9, 10] y analizar el funcionamiento de dicho método en otros periodos horarios además del periodo diurno [11].

Una vez analizado el funcionamiento del *método de categorización* en distintas ciudades se estudiaron globalmente un total de 20 ciudades [12]: La Coronada, Castuera, Guareña, Campo Maior (Portugal), Miajadas, Olivenza, Coria, Zafra, Navalmoral de la Mata, Villanueva de la Serena, Almendralejo, Plasencia, Mérida, Cáceres, Badajoz, Salamanca, Vitoria, Valladolid, Málaga y Sevilla.

Actualmente, existen diferentes líneas de investigación para el desarrollo del *método de categorización* desde el punto de vista de su aplicabilidad subjetiva, comparación con otras metodologías... Algunos de los resultados de estas investigaciones han sido publicados y, entre ellos, la comparación de la capacidad predictiva de los métodos de muestreo de cuadrícula y de categorización [13].

2 Metodología

2.1 Método de Muestreo

Tal y como se ha mencionado en el apartado anterior, el método de muestreo en el que se centra el presente trabajo es el *método de categorización*. A continuación vamos a revisar la metodología seguida por el método para su aplicación al estudio del ruido urbano en una ciudad.

En primer lugar, es necesario asociar las diferentes calles de una ciudad a alguna de las categorías que el método ha definido y a partir de las que se formula la hipótesis de que es posible estratificar el ruido existente en las vías urbanas. Sus definiciones son [14]:

- 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. 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 (no se ha incluido para el presente trabajo).

A partir de estas definiciones se procede a la asignación de las calles a alguna de ellas. Para comprender bien el proceso, hay que tener en cuenta que el concepto de calle, desde el punto de vista funcional, difiere del que posee desde un punto de vista administrativo. Así, una calle con un nombre determinado desde el punto de vista administrativo, puede dividirse en dos o más partes que posean funcionalidades de comunicación diferentes, de forma que cada una de ellas pueda pertenecer a una categoría distinta. Para la asignación de las calles a las diferentes categorías, se siguen las siguientes pautas:

1. En primer lugar, se necesita una información básica de la ciudad: planos actualizados, localización de los centros de interés o focos de movilización de los ciudadanos (centros de ocio, burocráticos, comerciales, industriales, residenciales, etc.). Asimismo, se requiere conocer si existen peculiaridades que puedan afectar al uso de la vía como medio de comunicación; como puede ser, por ejemplo, restricciones al paso de vehículos.
2. A partir de la información recogida en el punto anterior y únicamente trabajando sobre los planos de la ciudad, se estudia la estructura que, sobre el papel, parece más lógica para: la realización de desplazamientos entre la ciudad y otras zonas peninsulares y regionales, la realización de movimientos entre las diferentes zonas de la ciudad y entre éstas y los centros de interés y para el movimiento en el interior de los diferentes barrios de la ciudad. También en este punto cuando ello es posible, se cuenta con el asesoramiento de alguien que conozca la ciudad. Al finalizar este punto se alcanza una categorización preliminar de la ciudad bajo estudio.
3. Una vez establecida esta categorización previa de la ciudad mediante el empleo de planos y la información recabada, se pasa a estudiarla *in situ*. En esta etapa se realizan las comprobaciones pertinentes respecto a toda la información con la que se ha trabajado anteriormente, con el objetivo final de hacerse una idea precisa de la utilización de las diferentes calles de la ciudad como medio de comunicación del tráfico rodado.

4. Como resultado final de las pautas anteriores, se llega a una catalogación final de todas las calles de la ciudad en las categorías existentes. Podría suceder que, en alguna ciudad, a partir de las definiciones de las categorías, alguna de las categorías pueda no tener calles asociadas.

Tras esta asignación, se procede a la selección de los puntos de muestreo en las distintas categorías. La selección de los puntos de muestreo dentro de cada categoría se hace de forma aleatoria. A priori, se considera que 10 puntos de muestreo por categoría, independientemente de la longitud total de las calles asociadas a cada categoría, es un número suficiente para caracterizar la categoría y para poder, posteriormente, mediante análisis estadísticos, comprobar si el ruido estaba efectivamente estratificado de acuerdo a las definiciones propuestas. En algunas ciudades, debido a la pequeña extensión del grupo de calles asociado a alguna de sus categorías o a limitaciones temporales, el número de puntos de muestreo puede ser inferior.

Con respecto, a la realización de las medidas en calle, el procedimiento empleado es el recomendado por la ISO 1996-2 [1, 2] aunque, dado que el *método de categorización* está enfocado al tráfico como fuente fundamental de ruido, la posición específica del sonómetro es similar, en las distintas medidas realizadas, respecto a las líneas de tráfico por donde transitaban los vehículos.

Debido a la imposibilidad de realizar medidas de larga duración en todos los puntos muestreados, la técnica de muestreo temporal utilizada en la mayor parte de las ciudades, se basa en medidas de corta duración. Estas medidas, en un número de tres o cuatro por punto, de una duración de 15 minutos, son realizadas durante el periodo diurno y en días laborables.

En cada medida de 15 minutos de duración se rellenan la correspondiente hoja de toma de datos con información acerca del flujo de tráfico, tipo de vehículos, condiciones meteorológicas, dimensiones de la calle, tipo de superficie de rodadura... La ponderación temporal utilizada en las medidas ha sido la ponderación rápida (F) y en cuanto a la ponderación en frecuencias, se ha utilizado la ponderación A.

2.2 Método analíticos

Una vez completado el trabajo de campo, se calcula el valor sonoro correspondiente a cada punto de muestro, cuyo resultado proviene de la media energética de los valores sonoros registrados en las 3 ó 4 medidas realizadas en dicho punto. A continuación, calculados los valores sonoros en cada punto de muestreo, se lleva a cabo un análisis estadístico descriptivo, inferencial y de la capacidad predictiva para cada una de las categorías.

En el análisis descriptivo se utilizan diferentes parámetros de síntesis de la información: medidas de centralización (media y mediana), de dispersión (desviación estándar, varianza y rango), de forma (coeficiente de asimetría y de aplanamiento o curtosis)... como también, diferentes representaciones gráficas (diagramas de barras, de sectores y de cajas).

En el análisis inferencial se plantean diferentes hipótesis para analizar la presencia de diferencias significativas entre los valores sonoros medios de las distintas categorías. Para resolver estas hipótesis, se utilizan las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y de la U de Mann-Whitney [15, 16].

Finalmente, dentro del análisis de los valores sonoros registrados en las distintas categorías, se lleva a cabo un análisis de *características operativas del receptor* (ROC) o curvas ROC [17, 18] para encontrar la mejor clase y analizar la capacidad predictiva del *método de categorización* [10]. Este análisis mide la capacidad del *método de categorización* para discriminar entre las diferentes categorías.

Además de este conjunto de análisis realizados en cada una de las ciudades evaluadas, se lleva a cabo un análisis global del funcionamiento del *método de categorización* a través del estudio de la regresión lineal significativa entre el L_{eq} (dBA) y diferentes variables demográficas: número de habitantes, superficie urbana y densidad poblacional. Para ello, se realiza un análisis de la covarianza (ANCOVA) [12].

3 Resultados y discusión.

Tal y como se indicó anteriormente, las ciudades de Mérida, Cáceres, Badajoz, Salamanca y Vitoria fueron las primeras analizadas a través del *método de categorización*. En el año 2005 se publicó un trabajo que engloba los resultados obtenidos en estas cinco ciudades y que mostraba, en todos los casos, la presencia de diferencias significativas en los valores medios de las categorías no adyacentes y la mayoría de los casos, entre los valores medios de las categorías adyacentes de las ciudades estudiadas [4]. Estos resultados indicaban la estratificación del ruido urbano y la confirmación de la idoneidad del procedimiento de estratificación utilizado.

A continuación, como complemento a este trabajo, se analizan los valores sonoros registrados en las distintas categorías de estas ciudades (procedentes de muestreos recientes) con otros análisis estadísticos potentes y alternativos a los utilizados inicialmente: análisis descriptivos de las desviaciones inter e intracategoría, prueba no paramétrica de la U de Mann-Whitney con la corrección Holm y el análisis ROC.

Con respecto al análisis descriptivo, en la Tabla 1 se muestran algunos de los parámetros descriptivos analizados como son la media y la desviación estándar del nivel sonoro equivalente registrado en las distintas categorías de las ciudades analizadas.

Tabla 1 - L_{eq} (dBA) promedio, con su desviación estándar, registrado en las distintas categorías de las ciudades de Mérida, Cáceres, Badajoz, Salamanca y Vitoria

Ciudad	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5
Mérida	71,2±1,9	70,3±2,4	66,8±1,6	62,8±3,1	59,0±1,6
Cáceres	70,9±1,8	69,6±1,7	68,0±1,5	64,6±0,7	59,1±2,7
Badajoz	73,4±1,2	71,5±1,5	68,0±1,5	65,9±2,3	57,5±4,4
Salamanca	75,0±2,0	72,2±2,5	70,9±1,4	67,8±2,3	60,6±5,1
Vitoria	74,8±1,7	71,4±1,6	70,7±1,7	68,7±1,5	63,1±3,0

A tenor de los resultados mostrados en la Tabla 1, se observa cómo el nivel sonoro equivalente promedio disminuye progresivamente de la categoría 1 a la categoría 5. También, en general, la desviación estándar sigue una evolución de la categoría 1 a la categoría 5, aunque en este caso ascendente. Este comportamiento distinto que presentan las categorías para estos parámetros descriptivos nos puede indicar la presencia de una estratificación significativa de los niveles sonoros asociados a las diferentes categorías.

Por último, en esta tabla, se puede ver cómo los valores sonoros medios registrados en las distintas categorías de las ciudades presentan cierta tendencia ascendente a medida que aumentamos su tamaño poblacional: Mérida tiene una población de 55.568 habitantes en una superficie urbana de 10,87 km² y Vitoria una población de 221.270 habitantes en una superficie urbana de 30,00 km² [19]. Esta tendencia será analizada posteriormente.

Otro aspecto interesante en el estudio descriptivo de la estratificación de los niveles medios sonoros en las distintas categorías, es la comparación de la variabilidad intracategoría e intercategoría. En la Tabla 2 se muestra la desviación estándar entre categorías adyacentes.

Tabla 2 - Desviación estándar del L_{eq} (dBA) registrado entre categorías adyacentes de las distintas ciudades evaluadas.

Ciudad	Categorías 1 y 2	Categoría 2 y 3	Categoría 3 y 4	Categoría 4 y 5
Mérida	2,2	2,7	3,1	3,1
Cáceres	1,8	1,8	2,1	3,4
Badajoz	1,7	2,3	2,2	5,5
Salamanca	2,6	2,1	2,4	5,3
Vitoria	2,4	1,6	1,9	3,7

La mayor parte de los valores de la desviación estándar intercategoría adyacente (Tabla 2) son superiores a los valores intracategoría (Tabla1). Por lo tanto, estos resultados junto a la presencia de niveles medios distintos en las diferentes categorías apoyan la existencia de una estratificación en los niveles sonoros.

A continuación, el siguiente paso fue corroborar los resultados obtenidos en el análisis descriptivo con un análisis inferencial. Para ello se utilizó, en primer lugar, la prueba de Kruskal-Wallis, que nos indicó la existencia de diferencias altamente significativas en los valores medios de las distintas categorías de las ciudades evaluadas (p-valor < 0,001) .

El siguiente paso que nos planteamos, dados los resultados obtenidos en la prueba de Kruskal-Wallis (ya que si las diferencias no hubiesen sido significativas carecería de sentido realizar el siguiente análisis inferencial), fue analizar la significación de las diferencias entre las distintas combinaciones de parejas de categorías. Este análisis de comparaciones múltiples se llevó a cabo a través de la prueba de la U de Mann-Whitney, como se ha indicado anteriormente. Una consecuencia de las comparaciones múltiples es un aumento del error de significación como consecuencia del aumento de comparaciones. Para intentar evitar dicho error se utilizó la corrección Holm [20]. En las Tabla 3 se muestra los resultados obtenidos de la prueba de la U de Mann-Whitney.

Tabla 3 - P-valores resultantes de la prueba de U de Mann-Whitney aplicada sobre los valores del L_{eq} (dBA) registrados en los distintos puntos muestreados en las categorías de las ciudades evaluadas. P-valor < 0,001(***) , p-valor < 0,01(**) , p-valor < 0,05 (*) y p-valor > 0,05 (n.s.).

Ciudad	Pares de Categorías									
	1-2	1-3	1-4	1-5	2-3	2-4	2-5	3-4	3-5	4-5
Mérida	$5,4 \cdot 10^{-1}$ (n.s.)	$2,1 \cdot 10^{-3}$ (**)	$1,2 \cdot 10^{-4}$ (***)	$7,2 \cdot 10^{-4}$ (***)	$6,3 \cdot 10^{-3}$ (**)	$6,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$6,3 \cdot 10^{-3}$ (**)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$6,0 \cdot 10^{-3}$ (**)
Cáceres	$3,2 \cdot 10^{-1}$ (n.s.)	$3,2 \cdot 10^{-3}$ (**)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$5,8 \cdot 10^{-2}$ (n.s.)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)
Badajoz	$1,8 \cdot 10^{-2}$ (*)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,5 \cdot 10^{-3}$ (**)	$5,2 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,8 \cdot 10^{-2}$ (*)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$3,8 \cdot 10^{-4}$ (***)
Salamanca	$1,8 \cdot 10^{-2}$ (*)	$6,5 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$8,9 \cdot 10^{-2}$ (n.s.)	$1,3 \cdot 10^{-3}$ (**)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$4,5 \cdot 10^{-3}$ (**)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$2,6 \cdot 10^{-4}$ (***)
Vitoria	$7,6 \cdot 10^{-4}$ (***)	$3,3 \cdot 10^{-4}$ (***)	$3,3 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,9 \cdot 10^{-4}$ (***)	$4,5 \cdot 10^{-1}$ (n.s.)	$1,2 \cdot 10^{-2}$ (*)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ (***)	$2,1 \cdot 10^{-2}$ (*)	$3,3 \cdot 10^{-4}$ (***)	$1,7 \cdot 10^{-3}$ (**)

Los resultados de la Tabla 3 muestran que la mayor parte de los pares de categorías comparadas presentan diferencias significativas en sus valores sonoros medios para un intervalo de confianza del 95%, excepto en algunas ciudades entre las categorías 1-2 y 2-3

A continuación, una vez analizadas las diferencias significativas en los valores medios, se llevó a cabo el análisis de la capacidad predictiva de las distintas categorías a través de las curvas ROC. En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4 - Valor predictivo obtenido (%) del análisis ROC de los valores del L_{eq} (dBA) registrados en las distintas categorías y globalmente para las ciudades evaluadas

Ciudad	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5	Global
Mérida	54,5	42,9	75,0	70,0	81,8	76,2
Cáceres	53,8	50,0	60,0	100,0	100,0	88,1
Badajoz	72,7	60,0	87,5	72,7	90,0	84,7
Salamanca	66,7	60,0	63,6	72,7	90,9	88,3
Vitoria	90,0	80,0	66,7	58,3	81,8	78,1

Los resultados de la Tabla 4 muestran que a pesar de que algunas categorías no presentan porcentajes elevados de predicción sonora, si se realiza este análisis de forma global para la ciudad todas presentan porcentajes superiores al 75%.

Del estudio realizado en estas cinco ciudades, con esta nueva metodología analítica, se corrobora el buen funcionamiento del *método de categorización* que se obtuvo en el trabajo publicado por Barrigón Morillas *et al.* en el año 2005 [4]. Este procedimiento analítico se trasladó a un total de 27 ciudades con un rango de población entre 2.200 y 700.000 habitantes aproximadamente y cuyos resultados, muy satisfactorios con respecto al funcionamiento del *método de categorización*, aparecen recogidos en la tesis doctoral realizada por Rey Gozalo [21]. Además, en las ciudades que fue posible, por ejemplo en Plasencia y Cáceres, se analizó el funcionamiento del método en otros periodos horarios además del periodo diurno. Los resultados también mostraron una estratificación en sus niveles sonoros [11, 21].

Un aspecto importante y que indicábamos en la Tabla 2, donde aparecen las ciudades en orden ascendente según su tamaño poblacional, es el aumento de los niveles sonoros de las distintas categorías con el tamaño de la población. Esta tendencia no sólo se observó para estas cinco ciudades sino también para un total de veinte ciudades que fueron analizadas por el *método de categorización* [12]: La Coronada, Castuera, Guareña, Campo Maior (Portugal), Miajadas, Olivenza, Coria, Zafra, Naval Moral de la Mata, Villanueva de la Serena, Almendralejo, Plasencia, Mérida, Cáceres, Badajoz, Salamanca, Vitoria, Valladolid, Málaga y Sevilla. Estas veinte ciudades comprenden un rango de población de 2.200 a 700.000 habitantes y con un área urbana de 0,57 km² a 59 km² aproximadamente.

Dada esta tendencia ascendente de los niveles sonoros con el tamaño de la población se estudió la posible relación lineal significativa entre la variable sonora - nivel sonoro equivalente de las distintas de categorías y de la ciudad- y las variables poblacionales -número de habitantes, superficie urbana y densidad poblacional-.

A continuación, en la Tabla 5, se muestran los modelos lineales resultantes y su coeficiente de determinación (R^2) para las distintas variables estudiadas.

A tenor de los resultados mostrados en la Tabla 5, se extraen distintos aspectos de gran importancia:

- Las pendientes de los modelos lineales obtenidos para las variables superficie y población son similares para las categorías 1, 2 y 3. Esto se debe principalmente a que según el *método de categorización*, estas tres categorías corresponden a vías que, en mayor o menor medida, serán utilizadas por la mayoría de los habitantes del núcleo de población.
- La pendiente de los modelos lineales para la categoría 5, es la menor. Una vez ya en las calles de barrio, aunque el nivel sonoro se incremente con el tamaño de ciudad, este incremento ya no es tan importante como en las categorías anteriores.
- Las variables superficie y población son las que presentan una relación lineal más estrecha con respecto al nivel sonoro equivalente registrado tanto en las distintas categorías como globalmente.
- El coeficiente de determinación calculado para las distintas categorías es bastante superior al obtenido para el nivel sonoro equivalente global de la ciudad. Las incertidumbres asociadas a las estimaciones del nivel sonoro en las calles son inferiores a las asociadas a las estimaciones del nivel sonoro medio de la ciudad. Este hecho es muy importante, pues la existencia de estas relaciones puede permitirnos realizar estimaciones no sólo del nivel de ruido medio de una ciudad, sino también de los niveles de sonido en las diferentes calles de las ciudades.

Tabla 5 - Modelos lineales y coeficientes de determinación resultantes de la relación del L_{eq} (dBA) con el logaritmo de la población, superficie y densidad, tanto globalmente como en las categorías 1 a 5.
 P-valor < 0,001(***), p-valor < 0,01(**) y p-valor > 0,05 (n.s.).

Variable Independiente	Variable Dependiente	Modelo lineal	R ²
Log ₁₀ Población	L_{eq} (dBA) Categoría 1	$y_1 = 4,30x + 51,64$	0,70 (***)
	L_{eq} (dBA) Categoría 2	$y_2 = 4,19x + 49,68$	
	L_{eq} (dBA) Categoría 3	$y_3 = 4,47x + 46,28$	
	L_{eq} (dBA) Categoría 4	$y_4 = 4,97x + 41,03$	
	L_{eq} (dBA) Categoría 5	$y_5 = 3,19x + 44,30$	
	L_{eq} (dBA) Global	$y = 2,25x + 51,41$	0,33 (**)
Log ₁₀ Superficie	L_{eq} (dBA) Categoría 1	$y_1 = 5,03x + 67,57$	0,77 (***)
	L_{eq} (dBA) Categoría 2	$y_2 = 5,01x + 65,12$	
	L_{eq} (dBA) Categoría 3	$y_3 = 5,18x + 62,85$	
	L_{eq} (dBA) Categoría 4	$y_4 = 5,91x + 59,38$	
	L_{eq} (dBA) Categoría 5	$y_5 = 3,86x + 55,87$	
	L_{eq} (dBA) Global	$y = 2,98x + 59,50$	0,44 (**)
Log ₁₀ Densidad	L_{eq} (dBA) Categoría 1	$y_1 = 8,33x + 39,46$	0,11 (***)
	L_{eq} (dBA) Categoría 2	$y_2 = 6,18x + 45,21$	
	L_{eq} (dBA) Categoría 3	$y_3 = 9,30x + 31,12$	
	L_{eq} (dBA) Categoría 4	$y_4 = 8,06x + 32,97$	
	L_{eq} (dBA) Categoría 5	$y_5 = 3,31x + 46,09$	
	L_{eq} (dBA) Global	$y = 1,34x + 66,87$	0,01 (n.s.)

Finalmente, a través de un análisis de la covarianza (ANCOVA) se analizaron las diferencias entre las distintas rectas, pendiente y ordenada, resultantes de la relación del L_{eq} (dBA) de cada categoría y las variables poblacionales: población, superficie y densidad.

Tabla 6 - Modelos lineales y coeficientes de determinación resultantes de la relación del L_{eq} (dBA) con el logaritmo de la población, superficie y densidad, tanto globalmente como en las Categorías 1 a 5. P-valor < 0,001(***)).

Variable Independiente	Pendiente Prueba F (p-valor)	Ordenada Kruskal-Wallis (p-valor)
Log ₁₀ Población	0,47 (n.s.)	< 2,2 · 10 ⁻¹⁶ (***)
Log ₁₀ Superficie	0,39 (n.s.)	< 2,2 · 10 ⁻¹⁶ (***)
Log ₁₀ Densidad	0,94 (n.s.)	2,2 · 10 ⁻¹² (***)

Los resultados de la Tabla 6 muestran cómo las pendientes no muestran diferencias significativas, en cambio las ordenadas sí las presentan con un intervalo de confianza superior al 99,9 %. Por lo tanto, en un estudio global del nivel sonoro existente en las calles de las ciudades, las cinco categorías definidas por el *método de categorización* se corresponden con niveles de ruido estadísticamente distinguibles.

4 Conclusiones

En este trabajo se han recopilado algunos de los análisis llevados a cabo en el estudio del funcionamiento del método de muestreo desarrollado por el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Extremadura: el *método de categorización*. Los resultados obtenidos muestran la adecuada definición de las categorías para estratificar el ruido urbano analizado tanto independientemente, para cada una de las ciudades, como globalmente. Las cinco categorías definidas por el *método de categorización* se corresponden con niveles de ruido estadísticamente distinguibles, mostrando que, aunque puntualmente, en algunas ciudades, encontremos solapamientos entre algunas categorías, globalmente, las categorías definidas representan una estratificación del ruido urbano que puede, en promedio, considerarse existente en todas las ciudades, en el rango de nuestro estudio.

Finalmente, a partir de modelos lineales encontrados, se podrían realizar estimaciones no sólo del nivel de ruido medio de una ciudad, sino también de los existentes en las diferentes calles de las ciudades. Las incertidumbres asociadas a las estimaciones del nivel sonoro en las calles fueron inferiores a las asociadas a las estimaciones del nivel sonoro medio de la ciudad.

Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, la Junta de Extremadura, Consejería de Economía, Comercio e Innovación y el Fondo Social Europeo.

Bibliografía

- [1] ISO 1996-2. *Description and measurement of environmental noise. Part 2: Acquisition of data pertinent to land use*. International Organization for Standardization, Suiza, 1987.
- [2] ISO 1996-2. *Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels*. International Organization for Standardization, Suiza, 2007.
- [3] Brown, A.L. y Lam, K.C. (1987). Urban noise surveys. *Applied Acoustics*, Vol. 20(1), 1987, pp. 23-39.
- [4] Barrigón Morillas, J.M.; Gómez Escobar, V.; Méndez Sierra, J.A.; Vílchez-Gómez, R.; Vaquero, J.M. y Trujillo Carmona, J. A categorization method applied to the study of urban road traffic noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 117(5), 2005, pp. 2844-2852.
- [5] WG-AEN (Working Group Assessment of Exposure to Noise). *Good practice guide for strategic noise mapping and the production associated data on noise exposure*. WG-AEN, Position Paper 2. European Commission, Bruselas, 2007.
- [6] Suárez, E.; Barros, J.L.; Báez, A.; Stevens, J.; Romero, R.; Álvarez, J.; González, C. y Rey Gozalo, G. Mapa de ruido de la comuna de Santiago de Chile mediante modelación. *INGEACUS 2011 - Proceedings of Internacional Symposium of Acoustics*, Valdivia (Chile), 9-11 de Noviembre de 2011, pp. 21-22.
- [7] Barrigón Morillas, J.M.; Gómez Escobar, V.; Méndez Sierra, J.A.; Vílchez-Gómez, R. y Trujillo Carmona, J. An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. *Applied Acoustics*, Vol. 63(10), 2002, pp. 1061-1070.
- [8] 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*, Vol. 91(4), 2005, pp. 797-801.
- [9] Rey Gozalo, G.; Barrigón Morillas, J.M.; Gómez Escobar, V.; Carmona del Río, F.J.; Vílchez-Gómez, R. y Méndez Sierra, J.A. El método de categorización aplicado al estudio de ruido de una ciudad extremeña de pequeño tamaño. *Proceedings de Tecniacústica, Cádiz. Revista de Acústica*, Volumen Especial 40, 2009.
- [10] 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. Application of a street categorization method to the study of urban noise: the Valladolid (Spain) study. *Environmental Engineering Science*, Vol. 28(11), 2011, pp. 811-817.
- [11] Rey Gozalo, G.; Barrigón Morillas, J.M.; Gómez Escobar, V.; Rubio Alamillo, E.; Méndez Sierra, J.A.; Vílchez-Gómez, R.; Carmona del Río, F.J. y Prieto Gajardo, C. Análisis de la estratificación de ruido de la ciudad de Plasencia a través de medidas de larga duración. *Proceedings de Tecniacústica, Cáceres. Revista de Acústica*, Volumen Especial 42, 2011.
- [12] Barrigón Morillas, J.M.; Gómez Escobar, V.; Rey Gozalo, G. y Vílchez-Gómez, R. 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*, Vol. 128(2), 2010, pp. EL86-EL92.
- [13] Barrigón Morillas, J.M.; Gómez Escobar, V.; Méndez Sierra, J.A.; Vílchez-Gómez, R.; Carmona del Río, F.J. y Trujillo Carmona, J. Analysis of the prediction capacity of a categorization method for urban noise assessment. *Applied Acoustics*, Vol. 72(10), 2011, pp. 760-771.

- [14] Gómez Escobar, V.; Barrigón Morillas, J.M.; Méndez Sierra, J.A. y Vílchez-Gómez, R. (2000). Estudio preliminar para la caracterización del ruido ambiental en la ciudad de Salamanca. *Revista de Acústica*, Volumen Especial 31, 2000.
- [15] Mann, H.B. y Whitney, D.R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 18(1), 1947, pp. 50-60.
- [16] Kruskal, W.H. y Wallis, W.A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of American Statistical Association*, Vol. 47(260), 1952, pp. 583-621.
- [17] Barkana, B.D. y Uzkent, B. Environmental noise classifier using a new set of feature parameters based on pitch range. *Applied Acoustics*, Vol. 72(11), 2011, pp. 841-848.
- [18] Catal, C.; Alan, O. y Balkan, K. (2011). Class noise detection based on software metrics and ROC curves. *Information Science*, Vol. 181 (21), pp. 4867-4877.
- [19] Instituto Nacional de Estadística. *Padrón municipal: cifras oficiales de población*. INE, España. 2010.
- [20] Holm, S. (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*, Vol. 6(2), 1979, pp. 65-70.
- [21] Rey Gozalo, G. *Análisis y evaluación de un método de muestro para la elaboración de mapas de ruido: el Método de Categorización*. Tesis Doctoral. Cáceres, 2012.