

## CARACTERIZACIÓN SUBJETIVA DE PAISAJES SONOROS DE MADRID

PACS: 43.50.Rq

Oliveira Núñez, Paula; De la Prida Caballero, Daniel; Pedrero González, Antonio; Díaz Sanchidrián, César  
Grupo de investigación en Acústica Arquitectónica. Universidad Politécnica de Madrid  
Avda. Juan de Herrera 4. 28040 Madrid (España)  
Tel. 91 336 42 49  
E-Mail: arquilav.arquitectura@upm.es

### ABSTRACT.

This work aims to investigate the importance and the consideration of the affection that the subjective parameters have when evaluating the raw material produced in different soundscapes. Thus, it is tried to demonstrate the repercussion that these can have on the perception of environmental noise. With this, it is intended to promote this area of acoustics, just as we are currently using objectively weighted pressure levels to assess noise annoyance

For this, different classifications and analyzes of sound landscapes of Madrid streets have been carried out, mainly, according to their subjective and architectural parameters.

### RESUMEN.

Este trabajo tiene como objetivo la investigación de la importancia y consideración de la aficción que los parámetros acústicos subjetivos tienen a la hora de valorar la molestia producida en diferentes paisajes sonoros. Así, se pretende demostrar la repercusión que estos pueden llegar a tener sobre la percepción del ruido ambiental. Con esto, se pretende promover esta área de la acústica, al igual que, actualmente, se utilizan objetivamente los niveles de presión ponderados para evaluar la molestia del ruido.

Para ello se han realizado diferentes clasificaciones y análisis de paisajes sonoros de calles de Madrid, principalmente, en función de sus parámetros subjetivos y arquitectónicos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La caracterización psicoacústica de sucesos sonoros está tomando, en los últimos años, especial relevancia en todos los campos de la acústica. La acústica medioambiental no es una excepción, como puede observarse por el creciente interés en la caracterización de los paisajes o ambientes sonoros (soundscapes).

La caracterización de los sucesos sonoros mediante los índices acústicos tradicionales está pasando a un segundo plano. La nueva corriente científica tiende a complementar y/o sustituir los parámetros objetivos de la acústica clásica, tales como el nivel en decibelios, por parámetros psicoacústicos. Estos parámetros, relativos a la percepción subjetiva del ruido, fueron presentados por Zwicker y Fastl [1]. Entre ellos destacan *loudness*, *sharpness*, *roughness*, *fluctuation strength* y *tonality*. Estudios recientes [2]–[6] se sirven de estos parámetros para estudiar la subjetividad de los paisajes o ambientes sonoros.

La publicación de la norma ISO 12913-1:2014 [7] y el desarrollo de la segunda parte, denominada en su estado actual como ISO/DIS 12913-2 [8], confirman esta corriente hacia la caracterización psicoacústica de los espacios sonoros.

La investigación que se resume en esta publicación tiene como objetivo principal analizar, mediante parámetros psicoacústicos, el comportamiento de una muestra representativa de emplazamientos urbanos de la ciudad de Madrid (España). Para ello se busca contestar a dos preguntas, relacionadas con la caracterización de espacios sonoros, para el entorno urbano de la ciudad de Madrid. Las dos preguntas propuestas se presentan a continuación:

- ¿Se comporta un espacio sonoro de manera repetible, pudiendo considerarse representativa una medida lleva a cabo en éste en un día aleatorio?
- ¿Se comportarán de modo similar espacios sonoros con características arquitectónicas similares?

## 2. METODOLOGÍA

El proceso de la investigación se dividió en diferentes etapas. En primer lugar, se procedió a la selección de los espacios sonoros, en función de sus características arquitectónicas. A continuación, se llevó a cabo una campaña de grabaciones en los puntos seleccionados. Una vez se tuvieron las grabaciones, se procedió al análisis psicoacústico de las grabaciones por diversos métodos y se llevó a cabo un clasificador automatizado. En este apartado, se describen cada una de las metodologías utilizadas para las distintas etapas de la investigación.

### 2.1 Selección de los espacios sonoros

La selección de los espacios sonoros se llevó a cabo en función de sus características arquitectónicas. Trabajos anteriores, como el realizado por Brambilla et al. [5] ya estudian la relación entre la geometría de los espacios urbanos y la percepción subjetiva, si bien este tan sólo se centra en plazas.

La selección se ha basado en el trabajo de Hernández [9], que estudia la arquitectura urbana de la ciudad de Madrid en torno a una serie de características arquitectónicas. En él se incluye una tabla de 119 emplazamientos representativos de la ciudad de Madrid, definiendo cada punto mediante el ángulo de sección urbana, la relación entre el ámbito peatonal y el ancho de la calle, el ancho de la calle y la relación entre la superficie de viario y la superficie construida que vierte a la calle.

Mediante estos parámetros se llevó a cabo una clasificación inicial que permitió obtener una colección de categorías de espacios urbanos de la ciudad de Madrid. De algunas de las categorías se seleccionaron varios puntos de grabación, mientras que de otras se seleccionó tan solo uno. La selección se llevó a cabo de este modo para comprobar si puntos con características arquitectónicas similares son categorizados en el mismo clúster en función de sus parámetros psicoacústicos mientras que aquellas individuales permanecen aisladas. Asimismo, para este primer estudio se omitieron algunas de las categorías detectadas, ya que correspondían a espacios urbanos muy específicos y, por tanto, con escasa representatividad.

En total, se seleccionaron 18 puntos de grabación. A cada uno de ellos se le asignó un nombre en clave, del estilo  $XX_n$ , donde  $XX$  son las dos primeras iniciales de la calle en la que se ubica dicho punto y  $n$  corresponde al número de repetición, en el caso de medidas repetidas. Los puntos que han sido medidos tan sólo una vez se codifican tan solo como  $XX$ .

## **2.2 Grabación de los espacios sonoros**

La grabación de los espacios sonoros se produjo entre los meses de mayo de 2016 y junio de 2017. Se evitaron los días de lluvia y con velocidades de viento elevadas, que pudieran inducir ruido en los micrófonos de medida, por lo que no se realizaron normalmente durante los meses de invierno. Las mediciones se llevaron a cabo en periodo diurno, entre las 8:30h y las 14:30h.

Se estableció la duración de las grabaciones en 15 minutos.

Para realizar las grabaciones se utilizó el sistema de registro Sonoscout, a través de un analizador Pulse y con un Simulador de Cabeza y Torso Tipo 4100, todos ellos de Brüel and Kjaer.

Además de las grabaciones, se anotó el flujo de tráfico durante el periodo de grabación. Para ello se tomó el flujo de vehículos ligeros, pesados y motos para todos los sentidos de circulación, mediante contadores manuales. Se anotaron también las condiciones meteorológicas e incidencias que pudiesen ser de interés durante la etapa de análisis.

## **2.3 Análisis de las grabaciones**

Para el análisis de los resultados se dividió cada grabación en fragmentos de 10 s. con un solapamiento entre fragmentos de 5 s.

De cada uno de los fragmentos se extrajo, mediante el software B&K Sound Quality, una colección de parámetros psicoacústicos, de los que finalmente se utilizaron el loudness [sonos], el roughness [asper], el sharpness [acum] y el fluctuation strength [vacil]. También se calculó el nivel en dB(A), aunque se prefirió el uso del loudness en lugar del dB(A) a la hora de llevar a cabo el análisis.

De los parámetros anteriormente calculados se extrajeron resultados en término de medias y desviaciones típicas, así como los percentiles 5, 10, 50 y 95, tal y como proponen Rychtáriková y Vermeir [3]. Los resultados de los percentiles de cada parámetro se normalizaron con respecto a la media y desviación típica. De este modo se podrá estudiar con mayor facilidad la relación entre los distintos estadísticos para las diferentes grabaciones.

A partir de los percentiles, se llevaron a cabo dos tipos de clasificador automatizado. Por un lado, se realizó un clasificador jerárquico con un número límite de 10 clústeres. Por otro, se llevaron a cabo dos clasificadores de tipo k-means con 5 y 7 clústeres. El tamaño de 5 y 7 clusters, para

el clasificador de tipo k-means se determinó a partir del análisis de la silueta del clasificador, que permite estudiar cómo de separados se encuentran los clústeres entre sí.

### 3. RESULTADOS

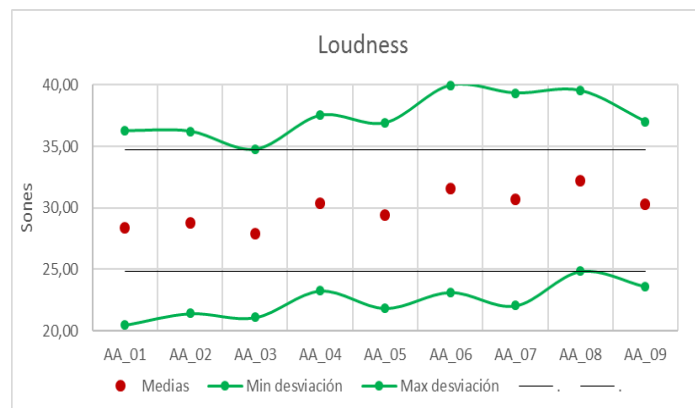
Se llevaron a cabo 70 grabaciones en total. De los 18 puntos de medida, 9 puntos se midieron entre 5 y 10 veces, en distintos días del año. Estas repeticiones no se llevaron a cabo siguiendo un patrón temporal específico, grabándose en días aleatorios durante el año de recolección.

En este apartado, se presentan los resultados del análisis de las grabaciones. En primer lugar, se muestran los resultados del análisis estadístico de medias y desviaciones. A continuación, se presentan los resultados del análisis de percentiles mediante gráficos radiales. Finalmente, se exponen los resultados del clustering automatizado.

#### 3.1 Análisis de medias y desviaciones típicas.

En primer lugar, se analizaron las medias y desviaciones de cada uno de los parámetros, para las distintas repeticiones de un mismo ambiente. Se trataba, de este modo, de detectar tendencias de estabilidad. Aunque los resultados no fueron altamente esclarecedores, sí se pudo observar cierta estabilidad, como se representa en la *Gráfica 4*.

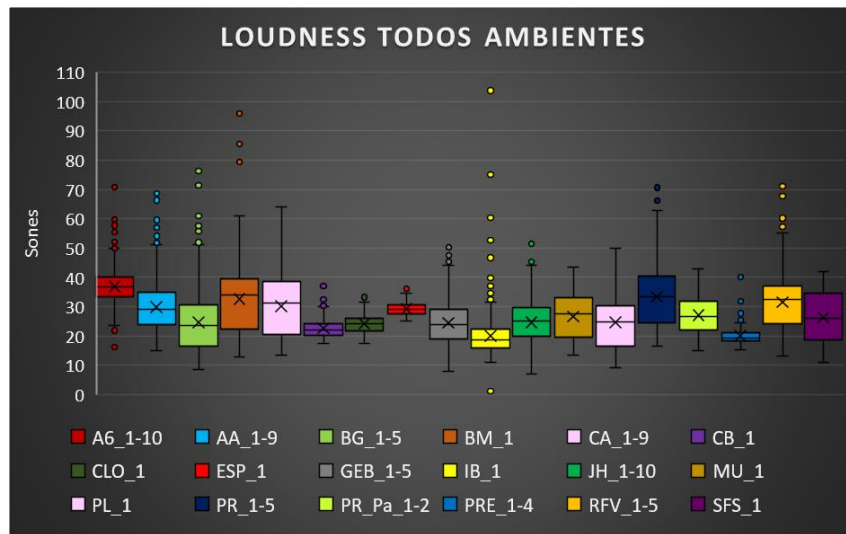
En ella se presentan las medias y desviaciones para las distintas repeticiones del punto AA. Se puede observar que la media de todas las repeticiones se encuentra en el entorno de 30 sonos. Además, la media de cada uno de los puntos de medida cae dentro de las desviaciones mínimas. Repitiendo este análisis para todos los parámetros, se valoró la repetibilidad, de manera simplificada.



Gráfica 1: Análisis de medias y desviaciones para el punto de medida AA.

Por otro lado, teniendo en cuenta los valores de todas las medidas tomadas, se representaron también, para cada uno de los parámetros subjetivos, las gráficas de cajas y bigotes. De esta forma, se pretendía observar las diferencias y similitudes existentes entre los parámetros obtenidos en los diferentes ambientes sonoros.

En el ejemplo de la *Gráfica 2*, se pueden observar los rangos de valores que toma el Loudness para cada uno de los ambientes. A su vez, se pueden observar aquellos ambientes con valores psicoacústicos similares, que se podrán comparar posteriormente en relación a sus características arquitectónicas.

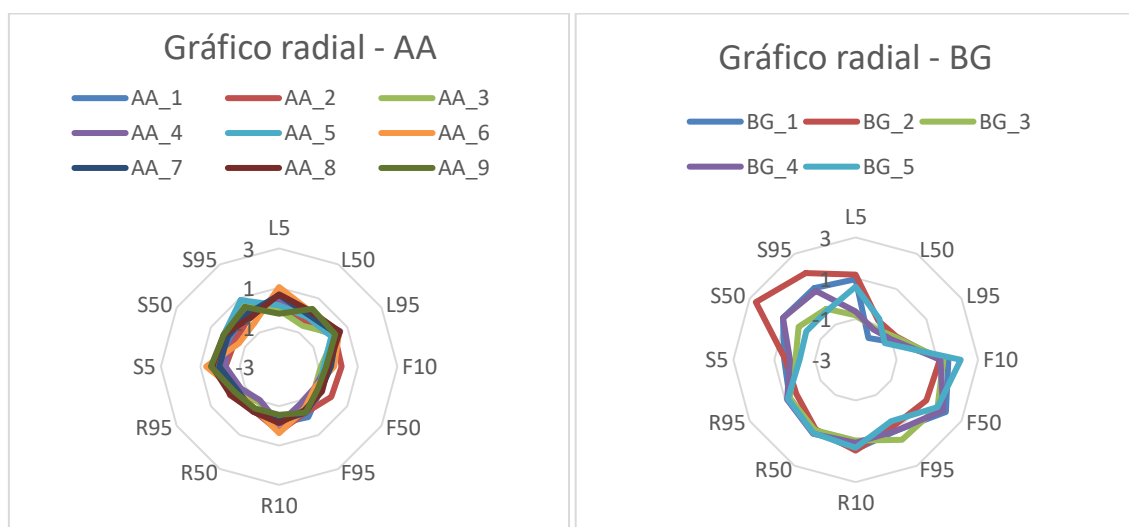


Gráfica 2: Representación de cajas y bigotes de los valores de Loudness obtenidos en los diferentes ambientes sonoros evaluados.

### 3.2 Análisis de percentiles mediante gráficos radiales

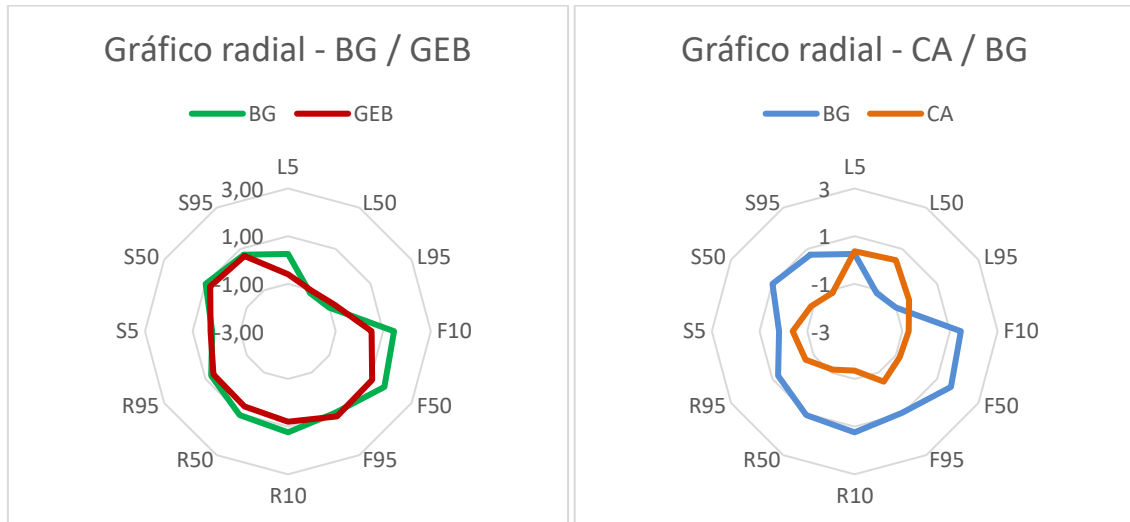
Finalizado el análisis de medias y desviaciones, se tomaron los percentiles de los parámetros psicoacústicos obtenidos en cada una de las grabaciones y se presentaron en gráficos radiales. La finalidad de la presentación en forma de gráficos radiales es la de observar, de un vistazo, la agrupación entre las distintas grabaciones de un mismo ambiente, solapando éstas en un mismo gráfico. Del mismo modo, representando en la misma gráfica los valores de ambientes distintos, se puede observar cómo de similares son, con respecto a los percentiles de sus parámetros psicoacústicos.

La Gráfica 3 presenta dos ejemplos de solapamiento de medidas repetidas. En la izquierda se puede observar el solapamiento de las distintas grabaciones del punto AA. En el gráfico de la derecha, se representa el solapamiento entre las distintas grabaciones del punto de medida BG.



Gráfica 3: Solapamiento entre mediciones sucesivas de un mismo ambiente sonoro. Izquierda, ambiente AA. Derecha, ambiente BG

Como se puede apreciar en la gráfica de la izquierda, los percentiles de las distintas grabaciones del punto AA se encuentran muy próximos entre sí, para todas las repeticiones. El mismo resultado se puede encontrar, en la gráfica de la derecha, para las medidas del punto BG. Sin embargo, como se puede observar, una de las grabaciones presenta un comportamiento ligeramente distinto, no siguiendo el comportamiento de las demás. Si se revisa la hoja de toma de datos se puede observar que ese día se produjeron eventos sonoros excepcionales.



Gráfica 4: Solapamiento entre mediciones sucesivas de distintos ambientes sonoros. Izquierda, ambientes similares. Derecha, ambientes dispares.

En la Gráfica 4 se puede observar, mediante dos ejemplos, qué ocurre cuando se solapan grabaciones de distintos ambientes. En la izquierda, se puede apreciar cómo se solapan las medidas de los ambientes BG y GEB. Estos son, en términos arquitectónicos, muy similares. En la derecha, se puede apreciar el solapamiento entre BG y CA. El solapamiento entre ambientes con características similares es elevado. Sin embargo, para ambientes con características arquitectónicas diferentes el solapamiento es bajo o inexistente.

### 3.3 Análisis mediante clasificadores

El análisis de los percentiles también se llevó a cabo mediante un clasificador jerárquico con un número máximo de 10 clústeres, así como mediante dos clasificadores de tipo k-mean para 5 y 7 clústeres. La elección del número de clústeres para el clasificador de tipo k-mean se basó en la representación de la silueta, que da una imagen de cuán aislados se encuentra un clúster de sus contiguos.

Diversas publicaciones [10] sugieren que, para colecciones de datos reducidas, como la de este estudio, se utilice un clasificador de tipo jerárquico. Del análisis de los resultados de los clasificadores, se pudo observar que este tipo de clasificador tiende a disgregar los datos lo más posible, en clústeres separados. Esta característica es deseable, para la comprobación de las hipótesis propuestas en la investigación, dado que permite comprobar la fuerza de la unión entre las distintas grabaciones de un mismo ambiente.

A continuación, se puede observar el resultado del clasificador jerárquico.



Tabla 1: Resultados del clasificador de tipo jerárquico para tamaño máximo de 10 clusters.

Clúster	Puntos de medida
Clúster 1	<b>BG_1,3-5</b> GEB_1-5 JH_1-10
Clúster 2	AA_1-10 RFV_1-5 SFS_1-5 BM PR MU
Clúster 3	CA_Pa 1-9 PR_Pa
Clúster 4	A6_1-10
Clúster 5	<b>BG_2</b>
Clúster 6	CB
Clúster 7	CLO
Clúster 8	PRE
Clúster 9	ESP
Clúster 10	IB

Como se puede apreciar, aquellos puntos de los que se realizaron diversas grabaciones permanecen agrupados en el mismo clúster, con excepción de la medida BG\_2. Estos resultados ya se mostraron mediante el análisis visual de los gráficos radiales y son corroborados mediante el clasificador automatizado. Este hecho confirma la fuerte repetibilidad de los ambientes medidos.

Por lo otro lado, se puede observar que los ambientes con características arquitectónicas similares se agrupan juntos en clústeres, mientras que aquellos que son muy distintos a los demás, se agrupan aislados en clústeres individuales. Este hecho también permite comprobar la fuerte relación existente entre la arquitectura de los puntos y los parámetros psicoacústicos. Se produce, sin embargo, una excepción. El punto de medida JH no debería agruparse juntamente con BG y GEB, si se atiende a las características arquitectónicas.

#### 4. CONCLUSIONES

- El análisis de medias y desviaciones permite observar ciertas tendencias con respecto a la repetibilidad de los ambientes, pero no permiten la extracción de resultados claros.
- El análisis numérico y gráfico de los percentiles sugiere que, en ausencia de eventos sonoros excepcionales, las distintas grabaciones de un mismo ambiente sonoro tienen un comportamiento similar, probándose de este modo la repetibilidad de los ambientes. Asimismo, se observa que ambientes sonoros similares poseen comportamientos psicoacústicos similares.

- El análisis mediante clasificadores no deja lugar a la interpretación y corrobora los resultados obtenidos mediante el análisis gráfico de los percentiles. Si bien el clasificador jerárquico es muy disgregativo, lo que llevaría a separar los datos lo más posible, las diversas grabaciones de un mismo punto se agrupan juntas en un mismo clúster. Lo mismo ocurre con los puntos cuyas características arquitectónicas son similares.
- Se deben analizar más detalladamente las irregularidades encontradas, como la agrupación conjunta de JH con BG y GEB. El análisis de otros parámetros medidos como las condiciones meteorológicas o el flujo de tráfico pueden aportar información relevante en este sentido.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. Fastl and E. Zwicker, *Psychoacoustics: Facts and Models*, 3rd ed. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- [2] A. Fiebig, V. Acloque, S. Basturk, M. Di Gabriele, M. Horvat, M. Masullo, R. Pieren, K. S. Voigt, M. Yang, K. Genuit, and B. Schulte-Fortkamp, "Education in Soundscape-A seminar with young scientists in the COST Short Term Scientific Mission „Soundscape-Measurement, Analysis, Evaluation “," *Proceeding ICA 2010, 20th Int. Congr. Acoust. 2010*, no. August, pp. 1–7, 2010.
- [3] M. Rychtáriková and G. Vermeir, "Soundscape categorization on the basis of objective acoustical parameters," *Appl. Acoust.*, vol. 74, no. 2, pp. 240–247, 2013.
- [4] D. A. Hall, A. Irwin, M. Edmondson-Jones, S. Phillips, and J. E. W. Poxon, "An exploratory evaluation of perceptual, psychoacoustic and acoustical properties of urban soundscapes," *Appl. Acoust.*, vol. 74, no. 2, pp. 248–254, Feb. 2013.
- [5] G. Brambilla, L. Maffei, M. Di Gabriele, and V. Gallo, "Merging physical parameters and laboratory subjective ratings for the soundscape assessment of urban squares.," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 134, no. 1, pp. 782–90, 2013.
- [6] G. Klaus and F. André, "Do we need psychoacoustics within soundscape?," 2016.
- [7] *ISO 12913-1:2014 Preview Acoustics -- Soundscape -- Part 1: Definition and conceptual framework*. International Organization for Standardization, 2014.
- [8] *ISO/DIS 12913-2 Preview Acoustics -- Soundscape -- Part 2: Data collection and reporting requirements*. International Organization for Standardization.
- [9] A. Hernandez Aja, "Tipología de calles de Madrid," Madrid, 1991.
- [10] MathWorks, "Applying Unsupervised Learning," in *Machine Learning with MATLAB*, 2016, p. 15.