

ESTUDIO DE LA CORRELACIÓN ENTRE CARACTERÍSTICAS VIARIAS Y DIVERSOS PARÁMETROS ACÚSTICOS SUBJETIVOS EN LA CIUDAD DE VALLADOLID

PACS: 43.50.Rq

Ruiz Pablo¹; Machimbarrena, María²; Daniel de la Prida³, Tarrero A.I¹, Martín M^a Ángeles¹, Corral Lidia¹

¹. Departamento de Física Aplicada, E. Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid; Valladolid, España;

². Departamento de Física Aplicada, ETS de Arquitectura, Universidad de Valladolid; Valladolid, España; mario@opt.uva.es

³ Grupo de investigación en Acústica Arquitectónica - ETS de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid; Madrid, España

Palabras Clave: paisaje sonoro, parámetros psicoacústicos, sonoridad, nitidez

ABSTRACT

The objective of the study is to investigate the possible correlation between urban roads/streets parameters with psychoacoustic parameters, using as support the cartographic information provided by the City Council of Valladolid, geometric data obtained from google maps, traffic data and recording data made on site. Initially, a categorization has been made in clusters based on road parameters (urban mobility criteria, traffic and geometric). Once the categorization has been made, several measuring points have been selected in which recordings with binaural microphones have been made during periods of 15 minutes. From the recorded signals, the loudness and sharpness at the measurement points have been calculated and a new categorization of the measurement points has been made based on the results of psychoacoustic parameters obtained.

RESUMEN

El objetivo del estudio es investigar la posible correlación entre parámetros viarios con parámetros psicoacústicos, usando como soporte la información cartográfica suministrada por el Ayuntamiento de Valladolid, datos geométricos obtenidos de google maps, datos de tráfico y datos de grabaciones sonoras efectuadas in situ. Para ello, inicialmente se ha realizado una categorización en clústeres en base a parámetros viarios (criterios de movilidad urbana/tráfico y geométricos). Una vez hecha la categorización se han seleccionado diversos puntos de medida en los que se han realizado grabaciones con micrófonos binaurales durante periodos de 15 minutos. A partir de las señales grabadas se han calculado el nivel de sonoridad y la nitidez asociados a los puntos de medida y se ha realizado una nueva categorización de dichos puntos en base a los resultados de los parámetros psicoacústicos obtenidos.

INTRODUCCIÓN

El nacimiento del concepto de paisaje sonoro entendido como la relación entre el ser humano y su entorno sonoro, se remonta a la década de los 60, cuando R.Murray Schafer en Vancouver y Michael Southworth en Boston iniciaron sendos proyectos de investigación [1,2] orientados ambos a estudiar, mediante el estudio de grabaciones y paseos sonoros, la relación entre los individuos y el espacio sonoro. Desde entonces la investigación y el concepto de paisaje sonoro han ido evolucionando, pudiéndose aplicar a entornos urbanos, naturales, musicales...

Por lo que respecta al paisaje sonoro urbano, son muchas las condiciones de contorno que lo conforman: Además de trabajar con sonidos de distinta intensidad, duración, componente espectral y evolución temporal, hay que tener en cuenta el espacio físico en el que se producen y la relación del ser humano con ese entorno. Hoy por hoy no existe un método estandarizado para catalogar o describir los paisajes sonoros urbanos, aunque sí existe una normativa internacional ISO 12913-1 [3] que establece el marco conceptual y explica los factores más relevantes a tener en cuenta a la hora de realizar medidas e informes en estudios de paisaje sonoro. También aporta indicaciones relativas a la planificación, diseño y gestión de paisajes sonoros. La parte 2 de esta norma, está previsto que trate específicamente y en detalle sobre metodologías de medida y redacción de informes sobre paisajes sonoros. Por tanto, en ausencia de normativa precisa, se han desarrollado muchas propuestas para abordar este tipo de estudios ya sea a partir de la realización de paseos sonoros [4–6], del estudio del contenido semántico del paisaje sonoro [7,8], del estudio de la evolución temporal de los sonidos [9,10] o mediante distintas técnicas de clusterización [11–13].

En España, al igual que en el resto de Europa, existe mucha información objetiva relativa al ruido ambiental en las ciudades, ya que desde la aprobación en 2002 de la Directiva Europea sobre la Gestión del Ruido Ambiental [14] y su correspondiente trasposición y desarrollo en España [15–17] todas las aglomeraciones urbanas deben elaborar mapas estratégicos de ruido y actualizarlos cada cinco años. Todos los resultados disponibles se pueden encontrar en <http://sicaweb.cedex.es/>. Sin embargo, la información aportada por los mapas de ruido se basa en índices objetivos tales como L_{den} , L_d , L_e y L_n , o incluso L_{Aeq} , parámetros que no sirven adecuadamente para describir el paisaje sonoro urbano y por tanto la relación de los sonidos con los ciudadanos. En este sentido se puede decir que en España desde hace aproximadamente una década se han realizado muy diversas aproximaciones al tema [13,18–23], pero sin embargo no existen estudios comparativos ni estudios realizados de acuerdo a la misma metodología. La intención de este trabajo es emular un estudio ya existente [13] con el fin de valorar la idoneidad de la metodología y de los resultados obtenidos en este caso. Todos los detalles del presente estudio se encuentran recogidos en [24].

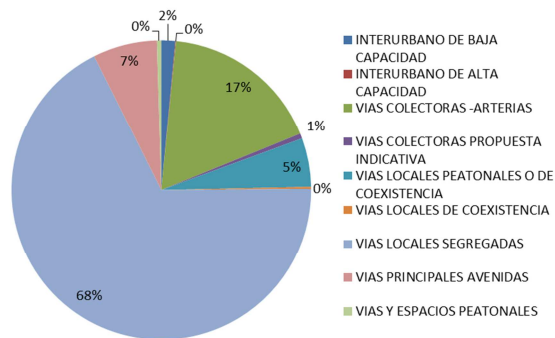
OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es la realización de un estudio del paisaje sonoro en la ciudad de Valladolid análogo, pero no idéntico, al realizado por Oliveira y de la Prida en Madrid [13]. Inicialmente el estudio pretendía verificar si espacios con características urbanísticas y arquitectónicas similares se comportan de forma análoga desde el punto de vista de los parámetros psicoacústicos sonoridad (loudness), nitidez (sharpness) aspereza (roughness) y fuerza de fluctuación (fluctuation strength). Sin embargo, debido a limitaciones temporales y de recursos, el estudio se ha modificado y limitado ligeramente tal y como se expondrá en el epígrafe siguiente.

METODOLOGÍA

El estudio se ha realizado de acuerdo a la siguiente metodología:

1.- Categorización¹ de las calles de la ciudad de acuerdo a un criterio urbanístico/arquitectónico. En este caso, dado que no se disponía de una cartografía con toda la información urbanística y arquitectónica integrada (ancho de viales, de aceras, alturas de edificios, superficie de viario, superficie construida que vierte a la calle...) se optó por categorizar las calles de Valladolid de acuerdo a la cartografía suministrada por el Ayuntamiento, realizado ateniéndose a criterios de movilidad urbana. La Figura 1 muestra la distribución del viario en Valladolid. Como se puede observar, la mayoría del tipo de viario corresponde a vías locales segregadas (68%), vías colectoras-arterias (17%), y casi en igual porcentaje las vías principales avenidas (7%) y vías locales peatonales o de coexistencia (5%). Teniendo en cuenta este viario y el hecho de que las vías locales peatonales o de coexistencia tienen características similares a las vías locales segregadas, la categorización del viario de Valladolid se ha reducido a lo descrito en la Tabla 1. En lo sucesivo se optará por trabajar siempre con tres categorías, lo cual limita significativamente el estudio realizado como se comentará más adelante.



TIPO-DE-VAIA	CLÚSTER
Vías locales segregadas	1
Vías colectoras - arterias	2
Vías principales avenidas	3

Figura 1: Categorización del viario en Valladolid

Tabla 1: Distribución del viario en Valladolid

2.- Selección de 42 puntos de medida en base a la categorización anteriormente realizada. Del total de las grabaciones sonoras realizadas, el 57 % corresponden a vías locales segregadas (clúster V1), el 31 % a vías colectoras-arterias (clúster V2) y el 12% a vías principales-avenidas (clúster V3).

3.- Obtención de diversos parámetros urbanísticos y arquitectónicos de interés en los puntos de medida. En este caso se han obtenido la *Altura Media*: Es la media aritmética entre la altura del edificio de delante y la altura del edificio de detrás (en los casos en los que hay edificios a ambos lados de la calle), el *Ancho de calle* y el *Ancho de viario*. Esto se ha realizado empleando la herramienta 'Google Earth Pro' y en las coordenadas exactas de cada punto de medida. El cálculo de los parámetros arquitectónicos se ha realizado sólo en aquellos puntos que tenían edificios a ambos lados de la calle (23 registros en total).

4.- Realización de grabaciones estéreo de 15 minutos de duración en todos los puntos de medida. Para la realización de las grabaciones se contó con una grabadora manual TASCAM DR-100 MK III y micrófonos binaurales MS-TFB-2-11847. La calibración de la cadena de

¹ Todas las categorizaciones se han realizado empleando MATLAB según lo descrito en [24]

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

medida se describe en [24]. Simultáneamente se realizó un conteo de vehículos pesados, ligeros y motos en cada punto de medida y se realizó una categorización básica en función de los vehículos ligeros.

5.- Para los 23 puntos anteriormente mencionados, realización de una nueva categorización en base a los parámetros urbanísticos y arquitectónicos anteriormente, así como a la variable “número de vehículos ligeros”. Esta categorización, que tiene en cuenta el tráfico así como las características geométricas del entorno de medida, se espera que se correlacione mejor con los parámetros psicoacústicos que se obtengan.

6.- A partir de las grabaciones realizadas y empleando una rutina implementada en Matlab, se extraen los indicadores estadísticos de los parámetros psicoacústicos L_5 , L_{50} y L_{95} y S_5 , S_{50} y S_{95} para Loudness y Sharpness respectivamente. Se escogen estos indicadores estadísticos ya son los que mejor caracterizan los ruidos grabados [11].

7.- Categorización de los puntos de medida en función de sus parámetros psicoacústicos y estudio de la posible correspondencia con las categorías obtenidas en los apartados 1 (42 puntos de medida) y 5 (23 puntos de medida).

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS MISMOS

Categorización con 42 Puntos de Medida

Las Tablas 2 y 3 así como la figura 2, muestran los resultados de la categorización del conjunto completo de medida en base a los parámetros “vehículos ligeros” y a los parámetros estadísticos psicoacústicos calculados respectivamente. Como ya se ha comentado, al formar la categorización en tres clases, ninguna de las tres queda muy bien definida, cabiendo en cada categoría ambientes sonoros bastante diversos.

CLÚSTER	Nº DE COCHES	CLÚSTER	CARACTERÍSTICAS
T1 (12%)	[entre 358 y 554]	PSICO 1 (29%)	Nivel bajo del loudness y alto del sharpness
T2 (50%)	[entre 137 y 298]	PSICO 2 (14%)	Nivel medio del loudness y bajo del sharpness
T3 (38%)	[entre 14 y 110]	PSICO 3 (57%)	Nivel elevado del loudness y medio-alto del sharpness

Tabla 2: Clústers tráfico (ligeros)

Tabla 3: Clústers psicoacústicos

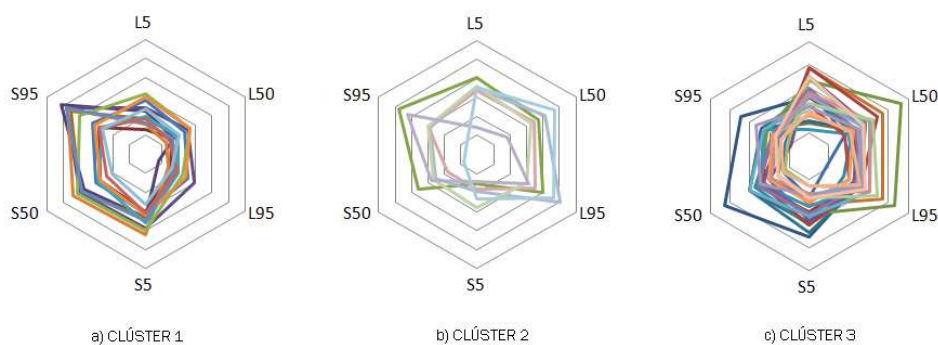


Figura 2: Características asociadas a cada una de las categorías o clústers psicoacústicos.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

La Figura 3 muestra, para cada clúster viario, la correspondencia con los clústeres psicoacústicos reflejados en la Tabla 3 y en la Figura 2. Como se puede observar, no hay una correspondencia clara entre los clústeres viarios y los psicoacústicos, ya que en vías del mismo tipo, hay niveles psicoacústicos muy diferentes. Esto puede deberse a que incluso en un mismo tipo de vía, la afluencia y velocidad del tráfico son muy variables. Es por ello que a continuación se analiza la correspondencia entre el tráfico y los parámetros psicoacústicos tal y como se muestra en la Figura 4. En este caso se observa que aunque tampoco hay una correspondencia clara entre los clústeres de tráfico y los psicoacústicos, se cumple que en los ambientes donde el número de coches es elevado (clúster 1 de tráfico) el ambiente sonoro resulta tener niveles elevados de sonoridad [$26,1 < L_{95} < 49,27$ fonios] y niveles medios de nitidez [$1,52 < S_{95} < 1,81$ acums] (clúster psicoacústico 3) mientras que en escenarios de tráfico donde el número de coches es bajo (clúster de tráfico 3), el ambiente sonoro (56% de los registros) se caracteriza por tener niveles bajos de sonoridad [$18,92 < L_{95} < 33,6$ fonios] y altos de nitidez [$1,6 < S_{95} < 1,89$ acums] (clúster psicoacústico 1). En resumen, parece que más que el tipo de vía atendiendo al criterio de movilidad, el paisaje sonoro está condicionado por el tráfico (afluencia y velocidad) del entorno.

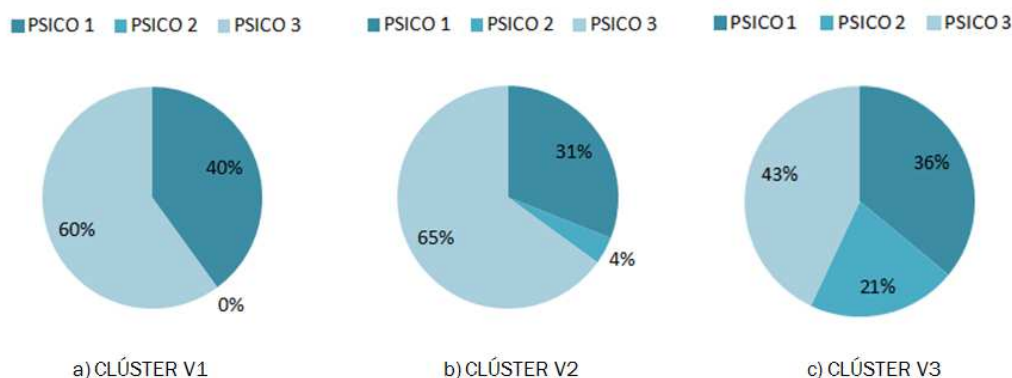


Figura 3: Comparativa entre clústeres viarios y clústeres psicoacústicos

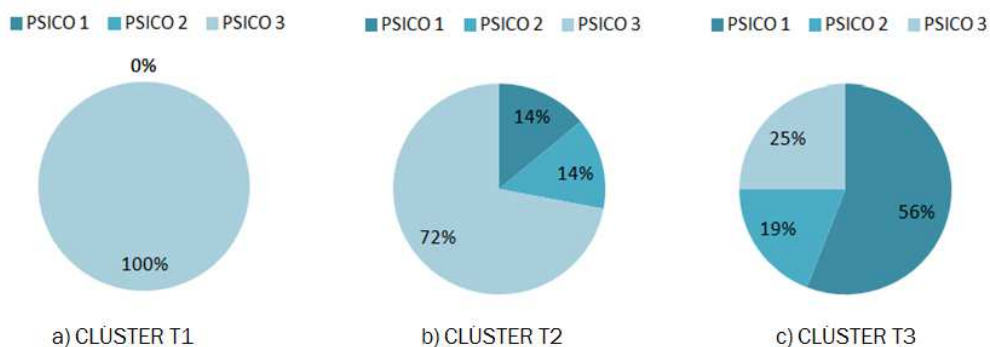


Figura 4: Comparativa entre clústeres tráfico y clústeres psicoacústicos

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Categorización con 23 Puntos de Medida

Con el fin de intentar obtener correlaciones mejores, se ha realizado una nueva categorización de los 23 puntos de medida de los que se dispone información tanto urbanística / arquitectónica como del número de vehículos ligeros, empleando estos parámetros para la realización de la categorización. Para este subconjunto de puntos se realiza igualmente una nueva categorización en base a los parámetros estadísticos psicoacústicos. Los resultados se muestran en las Tablas 4 y 5 y la Figura 5. Nuevamente, al categorizarse sólo en tres clases, se observa que las categorías son

CLÚSTER	CARACTERÍSTICAS
ARQ-TRAF 1 (26%)	(147<Nºcoches<437)
	(14,5<Altura media<35,5 metros)
	(23<Anchura de la calle<28 metros)
	(13<Anchura del viario<23 metros)
ARQ-TRAF 2 (30%)	(150<Nºcoches<268)
	(12<Altura media<24,5 metros)
	(16<Anchura de la calle<20 metros)
	(5<Anchura del viario<10 metros)
ARQ-TRAF 3 (44%)	(24<Nºcoches<107)
	(13 metros<Altura media<22,5 metros)
	(8<Anchura de la calle<25 metros)
	(5<Anchura del viario<19 metros)

amplias y no muestran una tendencia clara ni por lo que respecta a las características urbanísticas ni psicoacústicas, con lo cual es difícil detectar una posible correlación entre clústeres.

Tabla 4 : Porcentaje y características de clústers arq/tráfico.

CLÚSTER	CARACTERÍSTICAS
PSICO 1 (26%)	Nivel bajo del loudness Nivel alto del sharpness
PSICO 2 (48%)	Nivel medio del loudness Nivel bajo del sharpness
PSICO 3 (26%)	Nivel alto del loudness Nivel medio-alto del sharpness

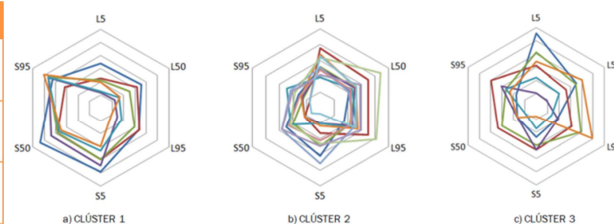


Tabla 5 y Figura 5: Porcentaje y características de clústers psicoacústicos.

Para este subconjunto de datos las características de los clústeres psicoacústicos son análogas a las obtenidas con el conjunto completo de datos de medida (ver Tabla 3), pero no así el porcentaje de puntos en cada uno de los clústeres.

La Figura 6 muestra para cada clúster arquitectónico/tráfico, la correspondencia con los clústeres psicoacústicos obtenidos en este caso. Al igual que ocurría para el conjunto completo de datos de medida (Figuras 3 y 4), no se observan correspondencias unívocas, aunque sí se observa una mejor correspondencia entre condiciones arquitectónicas/tráfico y el ambiente sonoro resultante. Por ejemplo, en el caso del clúster arq/tráfico 1, cuyos registros se caracterizan por tener una gran afluencia de coches así como parámetros arquitectónicos (altura media, ancho de la calle y anchura viario) superiores al resto de clústeres, todos los registros se corresponden con ambientes sonoros con elevados niveles de sonoridad y niveles bajos de nitidez: clúster 2 (67%) y clúster 3 (33%) psicoacústicos. Esto puede ser debido a que una gran afluencia de tráfico aumenta los niveles de sonoridad, mientras que los valores altos de los parámetros arquitectónicos (principalmente el ancho de la vía y el ancho de la calle) facilitan la dispersión del ruido, generándose un ambiente sonoro con baja nitidez.

Para el clúster arq/tráfico 2, cuyos registros se caracterizan por tener una afluencia media de coches así como parámetros arquitectónicos (altura media, ancho de la calle y anchura viario) con niveles bajos con respecto al resto de clústeres, el 86% de los registros se corresponden con ambientes sonoros con niveles elevados de sonoridad y niveles medios de nitidez (clúster psicoacústico 2). Este resultado es coherente pues la afluencia de tráfico sigue siendo

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

importante (sonoridad alta) mientras que al disminuir sensiblemente la altura de edificios y ancho de calle y vía, la nitidez aumenta ligeramente (hay menos reflexiones en edificios, por ejemplo). Sin embargo en el clúster arq/tráfico 2 también hay un 14% de registros que se corresponden con ambientes sonoros cuyos niveles de sonoridad son bajos y cuyos niveles de nitidez son altos (clúster psicoacústico 1). Posiblemente estos registros se correspondan con los registros de menor tráfico incluidos en el clúster.

Por último, el clúster arq/tráfico 3, cuyos registros se caracterizan por tener una afluencia baja de coches así como parámetros arquitectónicos (altura media, ancho de la calle y anchura viario) con niveles medios con respecto al resto de clústeres, tienen en su mayoría (90%) ambientes sonoros con niveles bajos de sonoridad y niveles variables de nitidez (clúster psicoacústicos 1 y 3) Este resultado también resulta coherente pues como ya se ha comentado, la sonoridad parece estar directamente relacionada con el tráfico, mientras que la nitidez parece depender de las condiciones espaciales de contorno, que en este caso no son extremas (altas o bajas) y por tanto dan lugar a ambientes sonoros con valores variables de nitidez.

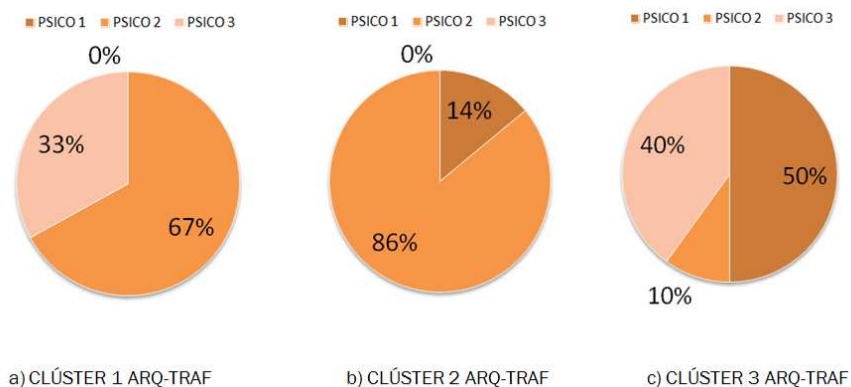


Figura 6: Comparativa clusters arquitectónico_tráfico / clústers psicoacústicos.

CONCLUSIONES

El estudio presentado ha puesto de manifiesto la influencia que tienen sobre la percepción sonora los parámetros considerados (tráfico, urbanísticos, arquitectónicos). A pesar de no haber encontrado correlaciones claras entre los parámetros psicoacústicos y el resto de parámetros considerados, sí se observa la influencia sobre la nitidez. Es necesario continuar investigando en esta línea incluyendo otros parámetros psicoacústicos como son la aspereza y la fuerza de fluctuación, así como otros factores urbanísticos/arquitectónicos con el fin de detectar posibles correlaciones más evidentes. Esto permitiría en un futuro elaborar mapas de percepción sonora, que junto con los mapas de ruido, describan tanto objetiva como subjetivamente la acústica de los espacios urbanos, para beneficio de los ciudadanos.

AGRADECIMIENTOS

No habría sido posible realizar este trabajo sin la desinteresada colaboración del profesor Enrique Rodrigo, del departamento de Urbanística de la E.T.S. de Arquitectura de la UVA quien proporcionó la información de todos los viales extraída de la cartografía GIS facilitada también desinteresadamente por el Ayuntamiento de Valladolid.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

REFERENCIAS

- [1] WORLD SOUNDSCAPE PROJECT. <https://www.sfu.ca/sonic-studio/WSP/index.html>
- [2] Southworth M. The sonic environment of cities. 1967.
- [3] ISO 12913-1:2014 - Acoustics -- Soundscape -- Part 1: Definition and conceptual framework.
- [4] Semidor C. Listening to a City With the Soundwalk Method. Acta Acustica united with Acustica 92(6):959-964, November 2006
- [5] Adams M, Bruce N, Davies W, Cain R, Jennings P, Carlyle A, et al. Soundwalking as a methodology for understanding soundscapes. Proc. Institute of Acoustics 2008.
- [6] Yong Jeon J, Young Hong J, Jik Lee P. Soundwalk approach to identify urban soundscapes individually. J Acoust Soc Am 2013;134:803–12. doi:10.1121/1.4807801.
- [7] Kang J, Zhang M. Semantic differential analysis of the soundscape in urban open public spaces. Build Environ 2010;45:150–7. doi:10.1016/j.buildenv.2009.05.014.
- [8] Dubois D, Guastavino C, Raimbault M. A Cognitive Approach to Urban Soundscapes: Using Verbal Data to Access Everyday Life Auditory Categories .
- [9] Botteldooren D, De Coensel B, De Muer T. The temporal structure of urban soundscapes. J Sound Vib 2006;292:105–23. doi:10.1016/J.JSV.2005.07.026.
- [10] Torrija AJ, Ruiz DP, Ramos-Ridao Á. Modelo para la predicción de la estructura temporal y Espectral de los paisajes sonoros urbanos basado en redes neuronales. Tec 2009 - Cádiz.
- [11] Rychtáriková M, Vermeir G. Soundscape categorization on the basis of objective acoustical parameters. Appl Acoust 2013;74:240–7.
- [12] Oliveira Núñez P. Caracterización subjetiva de paisajes sonoros de Madrid. E.T.S.I y Sistemas de Telecomunicación (TFG; UPM), 2017.
- [13] Oliveira Núñez P, de la Prida D, Pedrero A, Díaz Sanchidrián C. Caracterización Subjetiva de Paisajes Sonoros de Madrid. Tec. 2017 - La Coruña, 2017.
- [14] Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- [15] Ministerio de Fomento. Ley del Ruido (Ley 37/2003 de 17 de Noviembre). n.d.
- [16] Real Decreto 1513/2005 por el que se desarrolla la Ley 37/2003 del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- [17] Real Decreto 1367/2007 por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- [18] Daumal i Domènech F, de Gortari Ludlow J. Proyecto “BARCELONA SON-ART”, Arte y paisaje sonoro contra el ruido. Tec. 2009 - Cádiz
- [19] Daumal Domènech F, Segura García J, Díaz Blanco C, Caballero Marcos IA, Casas Portet A, Giménez Pérez A, et al. 30 paisajes sonoros simultáneos de Barcelona en el 26 de abril 2017 y su geolocalización en el Mapa Barcelona + Sostenible. Tec. 2017 - La Coruña.
- [20] Fernández-González M, Barrigón-Morillas J, Atanasio-Moraga P, Montes-González D. Caracterización del paisaje sonoro rural en la comarca de Campo Arañuelo. Tec. 2014 , Murcia.
- [21] Llorca J, Alba J, Mendoza H, Redondo E. Un acercamiento a los paisajes sonoros de la Ciutat Vella de Barcelona. Tec. 2017 - La Coruña.
- [22] Pascual M, Congreso IS-T 2017: 48º, 2017 undefined. Dimensiones del paisaje sonoro en un entorno urbano tranquilo. Dialnet.unirioja.es.
- [23] Torrija A, Ruiz D, Análisis de la percepción de los diferentes paisajes sonoros presentes en los entornos urbanos. Tec 2009 - Cádiz.
- [24] Ruiz García P. Clasificación y análisis de paisajes sonoros de calles de Valladolid. Trabajo de Fin de Grado - Universidad de Valladolid, 2018.