

RELACIONES ENTRE PERCEPCIÓN PSICOACÚSTICA E INFORMACIÓN MUSICAL EN PAISAJES SONOROS

PACS: 43.50 Qp, 43.50 Ls, 43.50 Rq

Segura Garcia, J.(1); Daumal Domènech, F. (3); Felici Castell, S. (1); Cobos Serrano, M. (1); Pérez Solano, J.J. (1); García Pineda, M. (1); Torres Aranda, A.M.(2); Giménez Pérez, A. (4); Cibrián Ortiz de Anda, R. (5); Arana Burgui, M. (6)

- 1) Dpt Informàtica - ETSE – Universitat de València. Avda de la Universitat s/n – 46100 Burjassot (València) – Spain. E-mail: jsegura@uv.es, felici@uv.es, macose2@uv.es, migarpi@uv.es
- 2) Dpto Ing. Eléctrica, Electrónica, Automática y Comunicaciones – EPC – Universidad de Castilla-La Mancha Campus Universitario. 16071 - Cuenca – Spain. E-mail: ana.torres@uclm.es
- 3) Dpt de Tecnologia de l'Arquitectura – ETSAB – Universitat Politècnica de Catalunya – Campus Diag. Sud, Edif. A – Avda Diagonal, 649. 08028 – Barcelona – Spain. E-mail: francesc.daumal@upc.edu
- 4) Dpt de Física Aplicada – ETSII – Universitat Politècnica de València. Camí de Vera s/n – 46022 València – Spain. Email: agimenez@fis.upv.es
- 5) Dpt Fisiologia – Universitat de València. Avda de la Universitat s/n – 46100 Burjassot (València) – Spain. E-mail: rosa.m.cibrian@uv.es
- 6) Dpto de Física – Universidad Pública de Navarra – Campus Arrosadia Pamplona-Iruña – 31006 – Pamplona - Spain. E-mail: marana@unavarra.es

Palabras Clave: Paisaje Sonoro; Psicoacústica; Recuperación de Información Musical

ABSTRACT.

The study of soundscape needs subjective and objective analysis. As defined in ISO12913-1:2014, soundscape is the acoustical environment as perceived, and/or understood by any person or group in a context. Between the different aspects concerning the description of the soundscape are included: the context, the sound sources, the acoustic environment, the interpretation of the auditory sensation, answers and results.

In this work, different acoustical environments are studied, by collecting information obtained from recordings and processing the psychoacoustical parameters and other parameter obtained from music information retrieval (MIR) techniques. This information is correlated to obtain new models oriented to explain the perception of auditory sensation in every soundscape.

RESUMEN.

El estudio del paisaje sonoro o "soundscape" requiere de análisis subjetivos y objetivos. Tal como se define en la ISO12913-1:2014, es el entorno acústico como se percibe o experimenta y/o entiende por una persona o grupo en un contexto. Entre los diferentes aspectos que conciernen la descripción del paisaje sonoro se incluyen: el contexto, las fuentes sonoras, el entorno acústico, la interpretación de la sensación auditiva, respuestas y resultados.

En este trabajo se estudian diferentes entornos sonoros recogiendo información obtenida de los registros a partir de la obtención de parámetros psicoacústicos y obtenidos a partir de técnicas de recuperación de información musical (MIR). Esta información se correlaciona para tratar de obtener nuevos modelos que motiven percepción de la sensación auditiva de cada paisaje sonoro.

1. INTRODUCCIÓN

El concepto de paisaje sonoro o “soundscape” fue introducido por R. Murray Schafer [1] en el ámbito de la composición musical. Este concepto ha evolucionado, de manera que después de la acción COST TD0804 (“Soundscape”), se promovió la promulgación de la norma ISO12913. La primera parte de este estándar define el “soundscape” como, “el entorno acústico como se percibe o se experimenta y/o entiende por una persona o grupo en contexto”, es decir que se define como la forma en que la gente percibe, experimenta o entiende el entorno acústico en una localización física [2]. Esta concepción contrasta con la que establece la regulación actual, que incide más en los niveles sonoros acumulados en relación con la molestia percibida en vez tener en cuenta también la estructura espectral de los ambientes sonoros, o los aspectos positivos que pueda tener un determinado ambiente o paisaje sonoro.

Por otra parte, han sido muchos los estudios sobre el paisaje sonoro desde los inicios de la acústica ambiental orientados al estudio de los niveles de presión sonora. Estos estudios demuestran que el paisaje sonoro juega un papel importante en el diseño de ambientes arquitectónicos en espacios públicos [3][4].

Si tenemos en cuenta la relación entre cada individuo y su entorno, se disparan una serie de mecanismos psicológicos y fisiológicos que nos permiten entender los efectos sobre la salud de las personas que, por ejemplo, disfruta de un ambiente y recoger la información sobre ese entorno. Las sensaciones recibidas están integradas en las unidades de contenido y significación que nos permite reconocer, comparar o explorar el entorno. Experimentamos sensaciones y emociones y actuamos en consecuencia al integrar motivaciones e intereses personales [5].

En la actualidad, muchos investigadores han reorientado este tipo de estudios a un análisis más profundo en relación a la composición de sus fuentes y el estudio del contenido espectral mediante el uso de parámetros como *loudness*, *sharpness*, *roughness*, etc o el análisis de la información musical que se puede extraer de los registros realizados. Todo ello orientado a poder establecer modelos perceptivos más claros y categorizaciones efectivas de diferentes tipos de paisajes sonoros [6].

Además, dada la naturaleza multidimensional acústica de cada paisaje sonoro, y la complejidad que conlleva una clasificación automática de éstos en base a un conjunto mayor de parámetros de los que comúnmente se concibe, consideramos que se debe tener en cuenta además diferentes procesos de registro y procesado de señal, como los que puede comprender las redes de sensores inalámbricas acústicas (WASN) o técnicas de clasificación automáticas basadas en inteligencia artificial.

En este trabajo realizamos una primera aproximación al estudio del paisaje sonoro en el contexto del proyecto URBAURAMON, el cual está orientado a diseñar e implementar herramientas inteligentes para la gestión y control del paisaje sonoro urbano, además de definir protocolos de monitorización y auralización, orientándose al patrimonio sonoro, aunque no exclusivamente.

2. METODOLOGÍA

Para nuestro estudio hemos registrado diferentes paisajes sonoros (10) en la ciudad de Barcelona dentro de la actividad que organizó el Ayuntamiento (con la coordinación del Profesor F. Daumal) en la Jornada Internacional de Concienciación contra el Ruido [7]. Para la recogida de estas muestras se utilizaron diferentes grabadoras digitales con $f_s=44100\text{Hz}$ y 16bits de resolución. Se realizaron registros de 3 a 5 minutos por localización, estableciendo en cada localización un registro general (que engloba el ambiente general) y un registro específico (que se centra en una determinada ubicación característica). Además, se registró el SPL en cada ubicación con sonómetros de clase C-2. En la figura 1 se recogen las ubicaciones de los paisajes sonoros seleccionados en Barcelona.

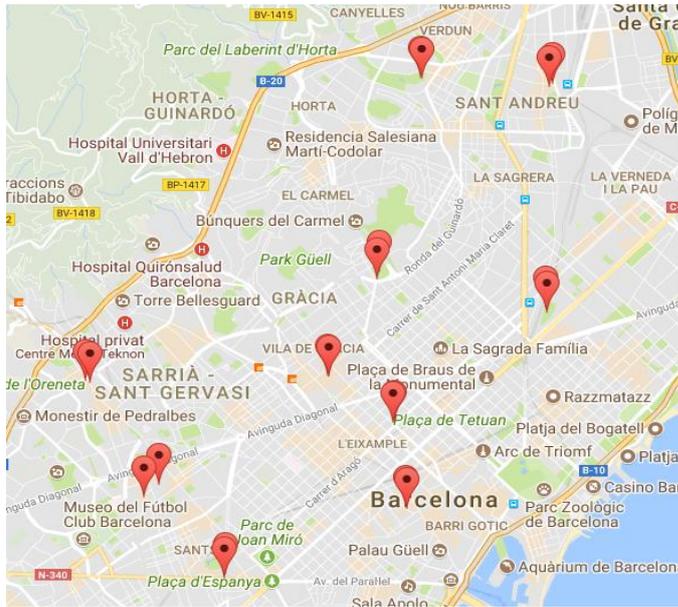


Figura 1: Localizaciones de los registros de diferentes paisajes sonoros en Barcelona

Para la extracción de características a partir de los audios se utilizaron las librerías PsySound, para la extracción de parámetros psicoacústicos, y MIRToolbox para la extracción de características musicales.

PsySound3 [8] es una plataforma basada en Matlab que implementa diferentes modelos psicoacústicos. Esta versión de la plataforma creada por Densil Cabrera se basa en un sistema modular que incorpora bancos de filtros, diversos tipos de analizadores, y funciones que permiten determinar diferentes parámetros psicoacústicos de acuerdo con sus definiciones.

MIRToolbox es un conjunto de funciones escritas para la extracción de características musicales a partir de ficheros de audio en Matlab [9]. El diseño está basado en un entorno modular: los diversos algoritmos están descompuestos en etapas, formalizadas usando un conjunto mínimo de mecanismos elementales que integran las variantes propuestas mediante aproximaciones alternativas que los usuarios pueden seleccionar y parametrizar. El propósito principal del estudio con MIRToolbox es descubrir qué parámetros musicales pueden estar relacionados con la inducción de determinadas emociones en el oyente de un determinado paisaje sonoro. La función de las características MIR de MIRToolbox con la opción Stat proporciona una serie de parámetros estadísticos de audio y características musicales. La MIRToolbox incluye alrededor de 50 extractores de características de audio y música. Estas características están organizadas en cinco dimensiones musicales principales:

- (1) campo dinámico, relacionado con los cambios energéticos temporales
- (2) campo rítmico, visto desde el punto de vista musical
- (3) campo tímbrico, en referencia al espectro que se calcula y analiza mediante modelos auditivos
- (4) campo de pitch, relacionado con la frecuencia fundamental y la armonicidad
- (5) campo tonal, calcula las características relacionadas con la energía y su evolución temporal cuando se asocia con claves musicales

En el manual de MIRToolbox [10] podemos encontrar una descripción detallada de todas las características de audio. Estas características que proporciona la librería están relacionadas generalmente con el espectro y las variaciones temporales en el fichero de audio.

Para realizar este estudio hemos seleccionado diferentes parámetros acústicos y de audio (musicales), todos ellos en valor promedio para poder tener un valor estadístico de referencia. Entre

ellos: SPL, energía RMS, flujo espectral, centroide espectral, *roughness*, *tempo*, claridad de pulso, *pitch*, *loudness*, y *sharpness*.

A continuación estudiaremos las relaciones entre los diferentes parámetros y las agrupaciones que se establecen mediante un algoritmo usado en campos como la inteligencia artificial o la minería de datos. Este método es K-means.

El algoritmo k-means es un método de agrupamiento que trata de, a partir un conjunto de observaciones, establecer un número de agrupaciones en las que las observaciones de cada grupo son las más próximas a su valor promedio correspondiente. La agrupación del conjunto de datos puede ilustrarse en una partición del espacio de datos en celdas de Voronoid. A diferencia de algoritmos como *expectation-maximization*, este procedimiento tiende a encontrar grupos de extensión comparable. Este procedimiento establece primeramente un determinado número de centroides de datos (1), seguidamente establece las celdas de Voronoid asociadas a las particiones de cada subespacio de datos (2), recalculando el centroide de cada grupo en función de los grupos (3). Los pasos (2) y (3) se repiten hasta la convergencia.

En nuestro estudio, hemos usado este procedimiento para tratar de categorizar los promedios de los parámetros de los diferentes entornos estudiados en base a estos parámetros. Además hemos usado el entorno de programación estadística RStudio y el lenguaje R [11].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En relación a la correlación entre las diferentes variables seleccionadas para caracterizar los diferentes paisajes sonoros, hemos realizado un estudio de correlación y ANOVA.

La tabla 1 muestra las correlaciones de Pearson bilaterales, utilizando un método de ajuste “holm” para el nivel de significación, y el nivel de significación entre las variables consideradas.

	SPL	Loudn	Sharpn	Erms	Spectflux	SpectCentr	Roughn	Tempo	PulsClar
Loudn	0.73**								
Sharpn	0.22	0.70**							
Erms	0.87**	0.78**	0.21						
Spectflux	-0.15	0.12	0.30	-0.28					
SpectCentr	-0.26	0.24	0.85**	-0.27	0.35				
Roughns	0.79**	0.69**	0.15	0.97**	-0.30	-0.28			
Tempo	0.21	0.37	0.08	0.40	-0.21	-0.12	0.37		
PulsClar	-0.16	0.13	0.25	-0.13	0.56**	0.27	-0.17	-0.01	
Pitch	-0.60**	-0.47**	0.01	-0.62**	-0.06	0.32	-0.60**	-0.23	0.02

** p<0.05
 * p<0.01

Tabla 1: Tabla de correlación entre variables

De estas correlaciones se desprende que en este conjunto de espacios:

- 1) existe relación entre el SPL, el *Loudness*, la energía RMS, el *Roughness* y el *Pitch*, lo cual indica que una relación entre el contenido energético (a través del *loudness* y la energía RMS) y la tonalidad (recogida en el *pitch*) en todos los espacios, así como las diferencias de frecuencias que se recogen en el *roughness*,
- 2) existe una fuerte relación entre el *Sharpness* y el *Loudness*, además del centroide espectral, que se explican a través de su definición,
- 3) existe relación entre el flujo espectral y la claridad de pulso en todos los espacios estudiados,
- 4) existe cierta relación entre el *loudness* y el *pitch*, pero es una relación muy débil ya que el IC95% casi engloba el cero (ver tabla 2, p=0.04),

- 5) no existe ninguna relación entre el centroide espectral y los diferentes parámetros analizados, igualmente ocurre con el tiempo.

Para las parejas de variables con índice de correlación significativo ($p > 0,05$) se ha determinado el IC95% de dicho coeficiente correlación para valorar el interés del mismo. La tabla 2 recoge los intervalos de confianza para los pares de relaciones significativos.

Relaciones	IC (>95%)
SPL-Ldnss	(0.43, 0.89)
SPL-Erms	(0.70, 0.95)
SPL-Rghns	(0.53, 0.91)
SPL-Pitch	(-0.82, -0.21)
Ldnss-Shrpn	(0.38, 0.87)
Ldnss-Erms	(0.51, 0.91)
Ldnss-Rghns	(0.36, 0.87)
Ldnss-Pitch	(-0.75, -0.03)
Shrpn-SpctC	(0.66, 0.94)
Erms-Rghns	(0.93, 0.99)
Erms-Pitch	(-0.83, -0.24)
Spctf-PlsCl	(0.16, 0.81)
Rghns-Pitch	(-0.82, -0.21)

Tabla 2: Tabla de intervalos de confianza al 95% o mayor de correlación entre variables

El análisis de tendencia de agrupaciones podemos realizarlo determinando cuál es la relación de suma de valores cuadráticos intragrupos respecto al número de agrupaciones/clústers mediante el algoritmo de k-means. La figura 2 muestra esta tendencia, observándose que a partir de 4 agrupaciones el valor anterior se mantendrá aproximadamente constante.

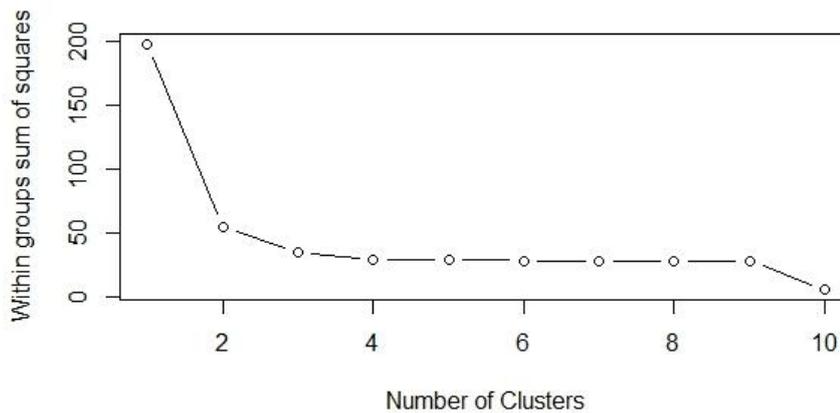


Figura 2: Análisis de tendencia de agrupaciones de variables para de los registros de diferentes paisajes sonoros en Barcelona

Podemos especificar el análisis de agrupaciones mediante el algoritmo de k-means para 4 clústers/categorías produce un conjunto grupos de valores de tamaños, 5, 4, 1 y 10 respectivamente. Además, la suma de valores cuadrados intergrupos dividido entre la intragrupos tiene un valor del 89%.

La figura 3 resume las agrupaciones de valores entre cada par de variables, siendo los puntos rojos los valores de la categoría 1, los negros los valores de la categoría 2, el azul el valor de la categoría 3 y los verdes los de la categoría 4. Observamos que los más claramente separables son los de la fila correspondiente al centroide espectral.

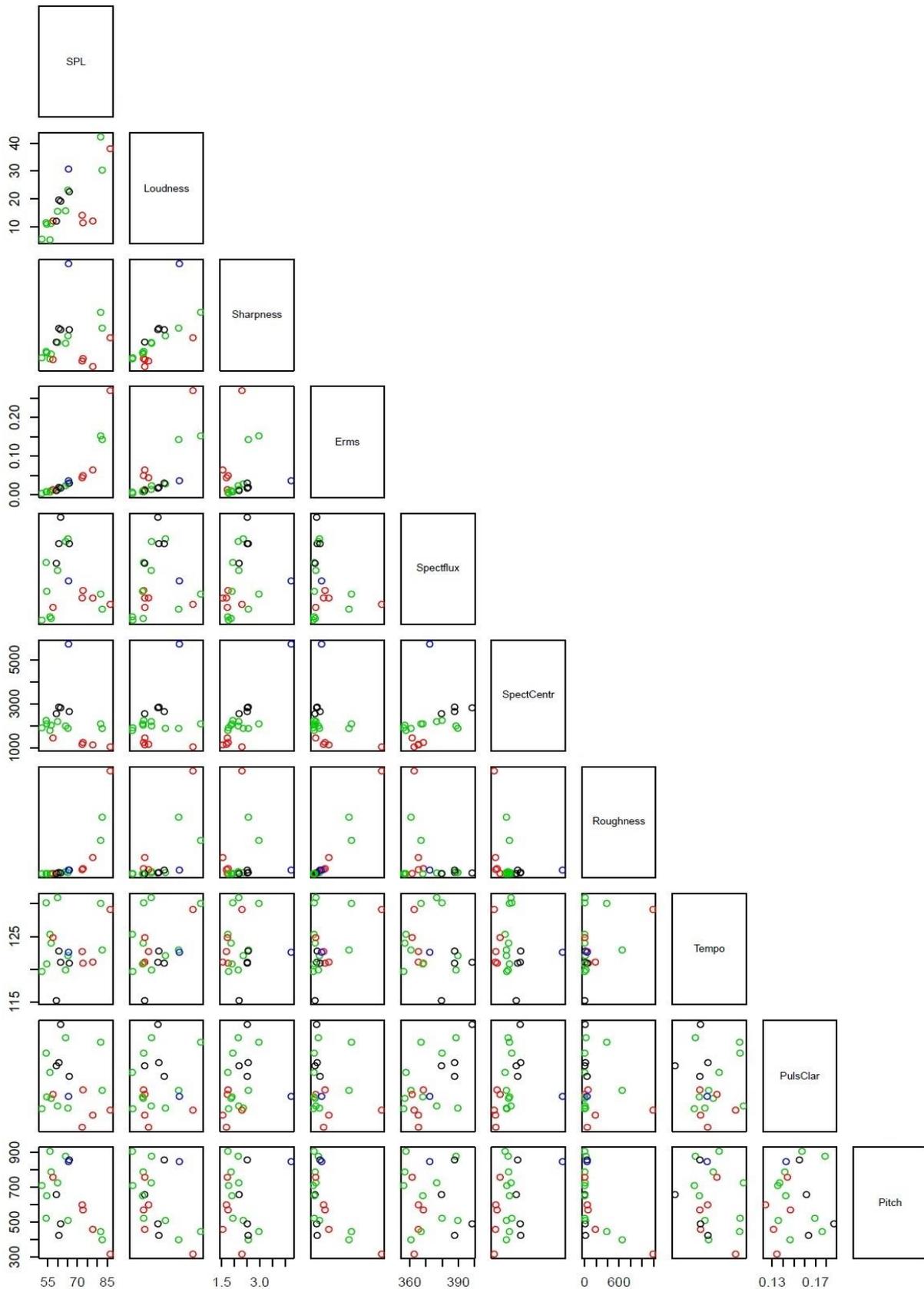


Figura 3: Resumen de agrupaciones de valores de variables para de los registros de diferentes paisajes sonoros en Barcelona

4. CONCLUSIONES

En este trabajo hemos estudiado las relaciones entre variables de percepción psicoacústica y variables de información musical relativas a diferentes paisajes sonoros registrados en la ciudad de Barcelona en la Jornada Internacional de Concienciación contra el Ruido.

El análisis de correlaciones determina que existe relación entre el SPL, el loudness, la energía RMS, el roughness y el pitch, por lo que una relación entre el contenido energético y la tonalidad (recogida en el pitch) en todos los espacios, así como las diferencias de frecuencias que se recogen en el roughness. También se observa una fuerte relación entre el sharpness y el loudness, y con el centroide espectral. Además, se observa que existe relación entre el flujo espectral y la claridad de pulso en todos los espacios estudiados. Por otra parte, podemos observar que no existe ninguna relación entre el centroide espectral y los diferentes parámetros analizados (excepto el sharpness). Igualmente ocurre con el tiempo.

El estudio de agrupaciones de valores promedios descubre que un número de 4 grupos es suficiente para centrar el conjunto completo de valores para todas las variables. Se plantea para trabajos futuros una descripción más detallada de estas categorías en relación a las diferentes variables.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a l'Ajuntament de Barcelona, a la Fàbrica del Sol y al grupo de participantes en la Jornada de Concienciación contra el Ruido celebrada en Barcelona en abril de 2017, la cesión de los audios que han sido usados para la realización del análisis de los paisajes sonoros. Este trabajo es parte del trabajo realizado en el proyecto de investigación I+D+i con referencia BIA2016-76957-C3-1-R y ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad a través de este proyecto de investigación.

6. REFERENCIAS

- [1] Murray Schafer, R. *The tuning of the world*. Random House, 1977.
- [2] ISO 12913:1:2014 *Acoustics—Soundscape—Part 1: Definition and Conceptual Framework*; International Association for Standardization: Geneva, Switzerland, 2014.
- [3] Davies WJ, Adams MD, Bruce NS, Cain R, Carlyle A, Cusack P, et al. "Perception of soundscapes: An interdisciplinary approach". *Applied Acoustics*. 74(2):224-31, 2013. PubMed PMID: 82428783.
- [4] Yang W, Kang J. "Soundscape and Sound Preferences in Urban Squares: A Case Study in Sheffield". *Journal of Urban Design*. 10(1):61-80, 2005
- [5] Herranz-Pascual, K; Garcia I.; Aspuru, I. "Soundscape pleasantness in urban places: dimensions and relation with health aspects". En *Proceedings del 12th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem*, June 18-22, Zurich, 2017.
- [6] Rychtáriková M, Vermeir G. "Soundscape categorization on the basis of objective acoustical parameters". *Applied Acoustics*; 74(2):240-247. 2013
- [7] Daumal i Domènech, F., Segura García, J., et al, "30 paisajes sonoros simultáneos de Barcelona en el 26 de abril de 2017 (Día Internacional de Concienciación sobre el Ruido) y su geolocalización en el mapa Barcelona+Sostenible". *Tecnia Acústica 2017, A Coruña*.
- [8] D. Cabrera; S. Ferguson; E. Schubert. "PsySound3: Software for Acoustical and Psychoacoustical Analysis of Sound Recordings". In *Proceedings of the 13th International Conference on Auditory Display*, Montréal, Canada, June 26-29, 2007
- [9] Lartillot, O., Toiviainen, P., and Eerola, T., "A MATLAB Toolbox for Music Information Retrieval," *Data Analysis, Machine Learning and Applications (Studies in Classification, Data Analysis, and Knowledge Organization)*, C. Preisach, H. Burkhardt, L. Schmidt-Thieme, and R. Decker, eds., Springer, Berlin/Heidelberg, pp. 261–268. , 2008.
- [10] Lartillot, O., "MIRtoolbox 1.6.1 software," Finnish Centre of Excellence in Interdisciplinary Music Research, University of Jyväskylä, Finland, 2014.
<https://www.jyu.fi/hum/laitokset/musiikki/en/research/coe/materials/mirtoolbox>
- [11] Web de R. URL: <http://www.r-project.org/> (accedida el 3 de agosto de 2017).