



# INFLUENCIA DE LOS SONIDOS ANTROPOGÉNICOS SOBRE PAISAJES SONOROS AGRADABLES

Germán Pérez-Martínez<sup>1</sup>, Francisco A. García<sup>1</sup>, Antonio J. Torija<sup>2</sup>, Diego P. Ruiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Applied Physics Department, Faculty of Sciences, University of Granada, Spain.  
(gperez@ugr.es, druiz@ugr.es, pgchecha@ugr.es)

<sup>2</sup>ISVR, University of Southampton, Highfield Campus, SO17 1BJ Southampton, UK  
ajtorija@ugr.es

## Resumen

En lugares considerados como tranquilos y agradables, generalmente zonas naturales o semi-naturales, la interferencia de sonidos antropogénicos pueden alterar negativamente la percepción del paisaje sonoro. En este trabajo se pretende valorar este efecto sobre la agradabilidad del paisaje sonoro. Para este estudio, se han realizado diferentes test en laboratorio a un gran número de voluntarios mediante auriculares audiométricos con diferentes combinaciones de sonidos. Los sujetos mostraron su valoración subjetiva a través de cuestionarios en los diferentes ambientes que escuchaban. Los resultados muestran que el incremento de los sonidos antropogénicos sobre un paisaje sonoro percibido como tranquilo provoca un empeoramiento significativo en la agradabilidad del paisaje sonoro, llegando a producirse grandes penalizaciones por los participantes, obteniéndose valores umbrales en los que este efecto es notorio.

**Palabras-clave:** paisaje sonoro, sonidos antropogénicos, agradabilidad, test de escucha.

## Abstract

In places considered as quiet and pleasant ones, generally natural or semi-natural areas, anthropogenic interference sounds can negatively alter the perception of the soundscape. This paper is intended to assess the effect on the pleasantness of the soundscape. For this study, there have been performed different laboratory tests to a large number of volunteers by audiometric headphones with different combinations of sounds. Subjects showed their subjective evaluation through questionnaires in different listening environments. The results show that the increase of anthropogenic sounds on a quiet soundscape causes a significant worsening in the pleasantness of the soundscape with large penalties on the score by the participants, obtaining in this paper threshold values in which this effect is noticeable.

**Keywords:** soundscape, sounds anthropogenic, pleasantness, listening test.

**PACS:** 43.50.Rq 43.50.Sr, 43.50. Qp

## 1 Introducción

Amenudo los entornos sonoros agradables de nuestras ciudades son deteriorados por sonidos molestos, los cuales impiden disfrutar de entornos sonoros potencialmente restauradores [1,2] e incluso provocan efectos adversos en la salud [3]. Como consecuencia se ha generado un interés común entre



investigadores, urbanistas, arquitectos e ingenieros en diseñar, mejorar o conservar los aspectos positivos de los entornos sonoros, sobre todo en parques, zonas verdes o áreas naturales.

El paisaje sonoro, en la línea de [4], se plantea con un enfoque holístico que considera tanto los aspectos positivos como los negativos de un entorno sonoro. Cada vez más se opta por enfoques más amplios, donde los entornos sonoros se evalúan, analizan y clasifican como una composición de fuentes sonoras del medio ambiente, las cuales son entendidas y evaluadas por los seres humanos de diferentes formas en función de múltiples factores. Aunque comúnmente las investigaciones se centran en cómo mitigar el sonido de tráfico [5,6], pues es considerado el sonido molesto que describe el entorno de nuestras ciudades [7], también existen otro tipo de sonidos que alteran de forma considerable el paisaje sonoro agradable, como es el caso de los sonidos humanos (conversaciones, pasos, voces, gritos). Así pues, mientras que en los paisajes sonoros cotidianos, como el de lugares de ocio, el ruido humano es más tolerable y ayuda a experimentar un paisaje sonoro excitante y lleno de acontecimientos [8], esto no ocurre en zonas naturales o semi-naturales donde se espera un ambiente tranquilo, relajante y reparador [9,10], el cual se convierte en un sonido intrusivo que enmascara el paisaje sonoro agradable.

Dumyahn [11] sugiere que los paisajes sonoros culturales y representativos son dignos de ser protegidos ante las amenazas del aumento de la antropofonía y de la pérdida de los sonidos propios del lugar. Muchos recintos monumentales de nuestros países son un ejemplo de paisajes sonoros con valores culturales, históricos y estéticos definidos. Por lo general, los recintos monumentales representativos son lugares que acogen a multitudes de visitantes cada día, y en donde se producen grandes concentraciones de personas que pueden alterar los valores del paisaje sonoro. Estudios previos realizados en el recinto monumental más visitado de España (la Alhambra de Granada) mostraron que, debido a las aglomeraciones de personas, los sonidos humanos fueron identificados por los visitantes con mayor frecuencia que los sonidos más representativos del lugar, tales como el agua o las aves, obteniéndose como resultado el empeoramiento de la calidad del paisaje sonoro y como consecuencia una disminución del disfrute de la visita. No obstante, se han hecho pocos estudios detallados sobre los efectos de los sonidos antropogénicos sobre un paisaje sonoro cultural representativo, y es en estas cuestiones donde se centra este trabajo.

Partiendo de la hipótesis de que lugares culturales y representativos con entornos sonoros potencialmente tranquilos y agradables son muy sensibles al deterioro de su paisaje sonoro debido a los sonidos antropogénicos, este trabajo pretende valorar el efecto de dichos sonidos mediante experimentos controlados en laboratorio. Se diseñó un experimento en el que un grupo de participantes evaluó la agradabilidad de varios sonidos individuales (sonidos de personas, de tráfico y agua) y de la combinación de ellos a distintos niveles de presión sonora (NPS). Se investigó el efecto sinérgico entre los sonidos antropogénicos más comunes y el sonido agradable del agua en función del NPS. El contexto elegido para los test de escucha fue el recinto monumental de la Alhambra de Granada, pues es un ejemplo de un lugar representativo con un paisaje sonoro natural potencialmente agradable y tranquilo (en ausencia de la masificación turística).

## 2 Metodología

### 2.1 Grabación y selección de los estímulos sonoros

Se realizó un registro de grabaciones binaurales en diversas ubicaciones de la Alhambra y en la propia ciudad de Granada. De la Alhambra se obtuvieron las grabaciones de los sonidos del agua y los sonidos de gente, y de la ciudad de Granada se obtuvieron los sonidos de tráfico rodado. Tras una revisión exhaustiva de todas las grabaciones realizadas, se eligieron varias porciones de sonidos representativos de 20 segundos de duración: 12 de fuentes de agua, 4 de sonidos humanos y 4 de



sonidos de tráfico. Se procuró que estos sonidos individuales no estuviesen contaminados por otro tipo de sonidos ajenos al estudio y que además fuesen estables y constantes en dicho periodo de tiempo. Para el sonido de gente, ya que se caracterizó por su inestabilidad en el tiempo, se recurrió a porciones de grabaciones donde éste estuviese presente en forma de tumulto, por ser su forma más estable. Además se procuró que el sonido de las conversaciones fuese ininteligible para evitar el desvío de atención de los participantes y así evitar distracciones. Por ello, a lo largo de este trabajo los sonidos de gente deben entenderse como sonidos de agrupaciones de personas (tumulto) donde se escuchan pasos, murmullo y conversaciones ininteligibles con un NPS estable.

## 2.2 Diseño experimental

Ya que este trabajo pretende valorar la influencia de los sonidos antropogénicos más comunes sobre un paisaje sonoro agradable y tranquilo, el experimento de laboratorio se dividió en 3 etapas ordenadas cronológicas. La tabla 1 muestra las tres etapas en que se dividió el experimento, los tipos de estímulos utilizados, el  $L_{Aeq,20s}$  al que se presentó a los participantes y el nº de estímulos totales presentados a cada participante. En la primera etapa se evalúan 12 tipos de fuentes de agua, 4 sonidos de gente y 4 sonidos de tráfico, todos ellos a un mismo  $L_{Aeq,20s} = 55$  dBA. En la segunda etapa, y tras seleccionar los sonidos individuales más representativos, éstos se evaluaron en función del  $L_{Aeq,20s}$ , que varió de 40 dBA a 90 dBA en intervalos de 5 dBA. Y en la tercera etapa, se recrearon paisajes sonoros tranquilos y agradables que son alterados por los sonidos antropogénicos mediante la combinación de sonidos a distintos  $L_{Aeq,20s}$ . El sonido del agua (considerado como agradable) se fijó en los valores de 45 dBA y 55 dBA, mientras que los sonidos antropogénicos (sonidos de personas y de tráfico) variaron en 3 dBA relativos a dichos niveles en un rango de -9 dBA a 24 dBA.

Los estímulos se obtuvieron mediante el ajuste de su amplitud con el software de edición de audio digital Audacity, sin afectar su patrón de distribución espectral relativa. El  $L_{Aeq,20s}$  (dBA) de los estímulos se obtuvo mediante la combinación y promediado de canales, realizado con el software Artemis de Head Acoustics. La cadena de reproducción se sometió a una calibración utilizando una señal de ruido rosa que se midió en una cabeza artificial de Head Acoustic HSU III.2, aplicando una ecualización de campo libre.

Tabla 1 – Tipos de estímulos presentados a los participantes (W = Agua, T = Tráfico, P = Personas, WP = Agua + Personas, WT = Agua + Tráfico),  $L_{Aeq,20s}$  (dBA) al que se les presenta cada tipo de sonido y el nº de estímulos totales para cada una de las 3 etapas en que se dividió el experimento. (x12 significa doce tipos de sonidos).

	Tipo de sonido	$L_{Aeq,20s}$ (dBA)	Nº de Estímulos
Etapa 1	W (x12), T (x4), P (x4)	55	20
Etapa 2	W, T, P	40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90	33
Etapa 3	WP, WT	45 + (-9, -6, ..., +18, +24)	48
		55 + (-9, -6, ..., +18, +24)	

## 2.3 Procedimiento de evaluación

Un total de 96 participantes se sometieron al experimento auditivo (43 mujeres y 53 hombres con un promedio de 21.5 años). 29 de ellos participaron en la primera etapa, y 67 participaron en la segunda y tercera etapa (ver tabla 1). Todos tenían umbrales de audición por debajo de 20 dB en las frecuencias de 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz y 8 kHz según la prueba de audiometría (Sibelmed AS5-AOM).



Los sujetos fueron instruidos sobre el tipo de experimento al que serían sometidos, la duración de éste y el contexto. Se decidió contextualizar a los participantes en un ambiente turístico (Alhambra de Granada), ya que sus características son las más apropiadas y además todos los participantes la conocían y la habían visitado al menos una vez, así que tenían formado en su mente el lugar, lo que favoreció el experimento. Con el mismo propósito, y previamente a la evaluación, se les presentó estímulos audio-visuales de diversos paisajes sonoros grabados en la Alhambra.

Se les explicó que escucharían varios sonidos ambientales de 20 segundos de duración cada uno, los cuales pertenecían a distintas situaciones reales que pudieran darse durante una visita a un recinto monumental, y que tendrían que evaluar. Los participantes se sentaron en una sala acústicamente aislada, donde se les reprodujo los estímulos sonoros mediante auriculares (Sennheiser HD600) y los calificaron en una escala de agrado de 11 puntos, donde 0 correspondía a "nada agradable" y 10 a "muy agradable". Se les pidió que durante todo el experimento imaginaran estar visitando la Alhambra de Granada, donde el propósito de la visita fuese el de pasear y contemplar el lugar.

### 3 Resultados y Discusión

#### 3.1 Etapa 1: selección de los sonidos individuales

Con el objetivo de seleccionar un sonido agradable que sirviera como base para la recreación de un paisaje sonoro agradable y tranquilo, los participantes evaluaron la agradabilidad de 12 tipos de fuentes de agua a un mismo  $L_{Aeq,20s}$  (55 dBA). Escucharon todos los sonidos de agua varias veces antes de comenzar a responder, lo que permitió que cada uno ordenara en su mente la preferencia hacia cada sonido. Los resultados muestran diferencias estadísticamente significativas en la evaluación del agrado de los 12 tipos de fuentes (prueba de Friedman, p-valor < 0.001). Finalmente se seleccionó el sonido de agua que tuvo la puntuación promedio más alta. Se trata de una fuente de lluvia, donde el agua se desborda del recipiente superior cayendo en forma de gotas a otro recipiente inferior lleno de agua, generando un sonido parecido a la lluvia. En la figura 1 se muestra el espectro en tercios de octava de la fuente seleccionada (en negro) y de las demás fuentes de aguas de agua (en gris). Se observa una composición espectral distinta para las 12 fuentes de agua, especialmente se aprecia una variabilidad importante de  $L_p$  a partir de los 500Hz. El sonido de agua seleccionado presenta el  $L_p$  más bajo en frecuencias inferiores a 400 Hz.

De la misma forma, los participantes evaluaron el agrado hacia 4 grabaciones de sonidos de tráfico y 4 de sonidos de gente, todos ellos con un  $L_{Aeq,20s} = 55$  dBA. El objetivo fue el de seleccionar los sonidos antropogénicos más representativos para la posterior combinación con el paisaje sonoro agradable (sonido de agua seleccionado anteriormente). No se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las evaluaciones de los 4 sonidos de tráfico (prueba de Friedman, p-valor > 0.05) ni de los 4 sonidos de personas (prueba de Friedman, p-valor > 0.05), lo que indica que los participantes los consideraron con un valor semántico similar. Por lo tanto se seleccionaron los sonidos antropogénicos con el espectro más representativo y con una variabilidad temporal baja durante los 20 s de duración. En la figura 2 se muestra el espectro en tercios de octava de los sonidos antropogénicos seleccionados (en negro) y de las demás sonidos antropogénicos (en gris). En los sonidos de gente existe poca variabilidad de  $L_p$ , especialmente entre la banda de 500 Hz y la de 4000 Hz, no superándose los  $\pm 3$  dB de diferencia entre los 4 tipos de sonidos. Las bandas de tercios de octava con mayor  $L_p$  fueron las comprendidas entre 315 Hz y 1000 Hz para el sonido de gente y entre 63 Hz y 315 para el sonido del tráfico.

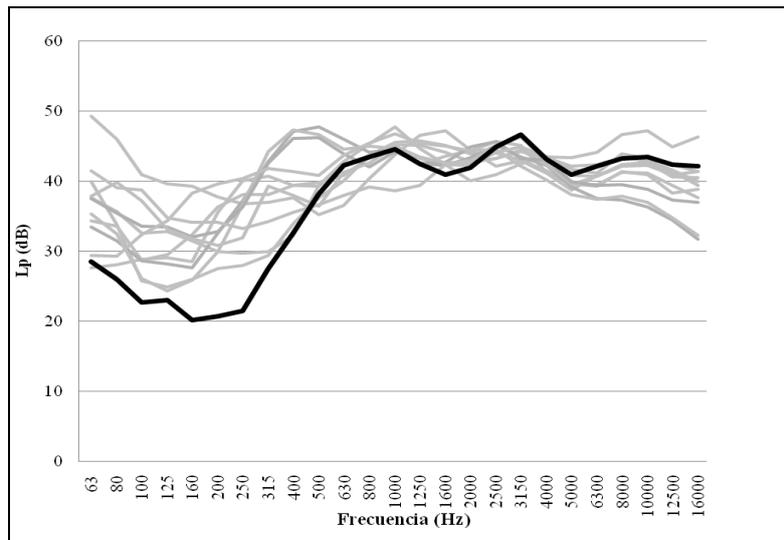


Figura 1 – Espectro en tercios de octava de las fuentes de agua evaluadas. En negro el espectro de la fuente de agua seleccionada para la segunda etapa y en gris el espectro de las demás fuentes.



Figura 2 – Espectro en tercios de octava de los sonidos antropogénicos del sonido de gente (P) y del sonido de tráfico (T). En negro el espectro de los sonidos seleccionados para la segunda etapa y en gris el espectro de las demás sonidos.

### 3.2 Etapa 2: evaluación de los sonidos seleccionados en función de $L_{Aeq,20s}$ (dBA)

Una vez seleccionados los sonidos individuales más representativos, éstos se evaluaron en función del  $L_{Aeq,20s}$  en intervalos de 5 dBA, desde 40 dBA a 90 dBA. La figura 3 muestra la evaluación de la agradabilidad de los sonidos individuales en función del  $L_{Aeq,20s}$  para los sonidos del agua, de la gente, y del tráfico. El sonido natural del agua se ajustó mejor a una función polinómica de segundo grado (parábola), mientras que los sonidos considerados como no agradables (gente y tráfico) se ajustaron mejor a una función lineal, todos ellos con un  $R^2$  muy elevado.

Como se esperaba, la percepción de la agradabilidad hacia los distintos sonidos disminuye con el aumento del  $L_{Aeq,20s}$ , sin embargo se puede apreciar cómo para el sonido del agua la percepción de agradado se mantiene por encima de la puntuación de 5 aún a niveles elevados (75 dBA), y manteniéndose prácticamente inalterado en el rango de 40 dBA a 60 dBA. En cuanto a los sonidos antropogénicos (gente y tráfico) muestran una caída más abrupta y se puntuaron como agradables (puntuaciones superiores a 5) en un rango más reducido, entre 40 dBA y 55 dBA. Entre los 55 dBA y 65 dBA se encontró la mayor diferencia entre la evaluación de los sonidos antropogénicos y el sonido natural del agua, lo que sugiere que a estos  $L_{Aeq,20s}$  dominó el factor semántico de forma más notable. No se encontraron diferencias significativas entre la evaluación del sonido de tráfico y el sonido de personas (prueba por pares de Wilcoxon  $p$ -valor  $> 0.05$ ), lo que sugiere que ambos sonidos se entendieron con similar valor semántico.

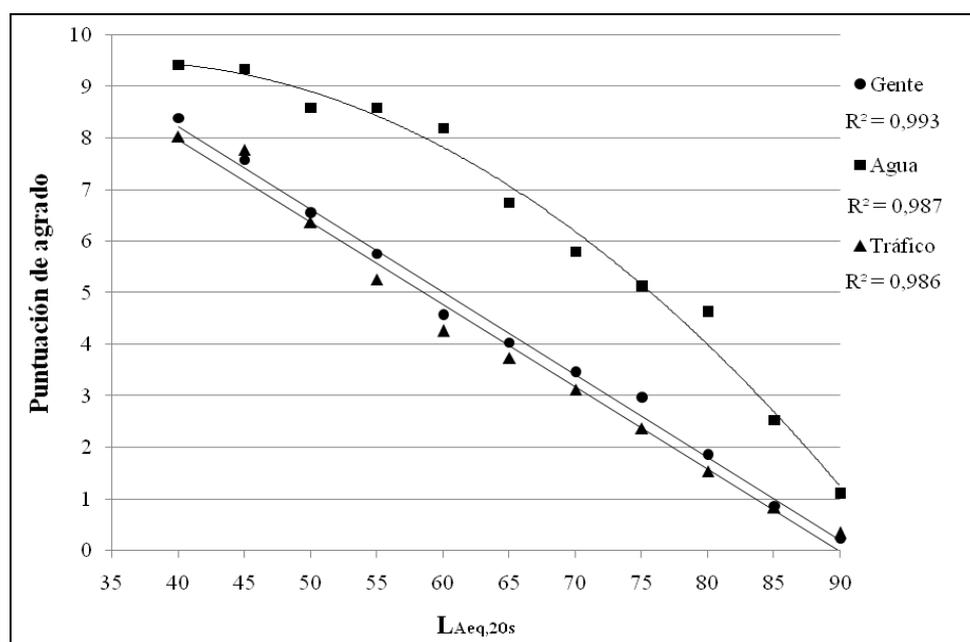


Figura 3 – Evaluación de la agradabilidad de los sonidos individuales (gente, agua y tráfico) en función del  $L_{Aeq,20s}$ .

### 3.3 Etapa 2: evaluación de los sonidos combinados en función del $L_{Aeq,20s}$

La figura 4 muestra la evaluación promedio de los participantes cuando el paisaje sonoro agradable (W) fue alterado por los sonidos antropogénicos (P y T) en niveles relativos de 3 dBA. Se observa que la degradación del paisaje sonoro es independiente del tipo de sonido antropogénico utilizado. Tanto el sonido de personas como el sonido de tráfico deterioraron la agradabilidad del paisaje sonoro de igual forma. Cuando el  $L_{Aeq,20s}$  de W se fijó a 45 dBA se obtuvo una mejor puntuación que cuando se fijó a 55 dBA, debido a que, además del  $L_{Aeq,20s}$  relativo de los sonidos antropogénicos, influyó el  $L_{Aeq,20s}$  global al que fueron expuestos los participantes. Por ello, también se presenta en la figura 5 el efecto sinérgico sobre la agradabilidad en función del nivel global para la combinación WP, que además será comparado con la evaluación hacia el sonido individual P.

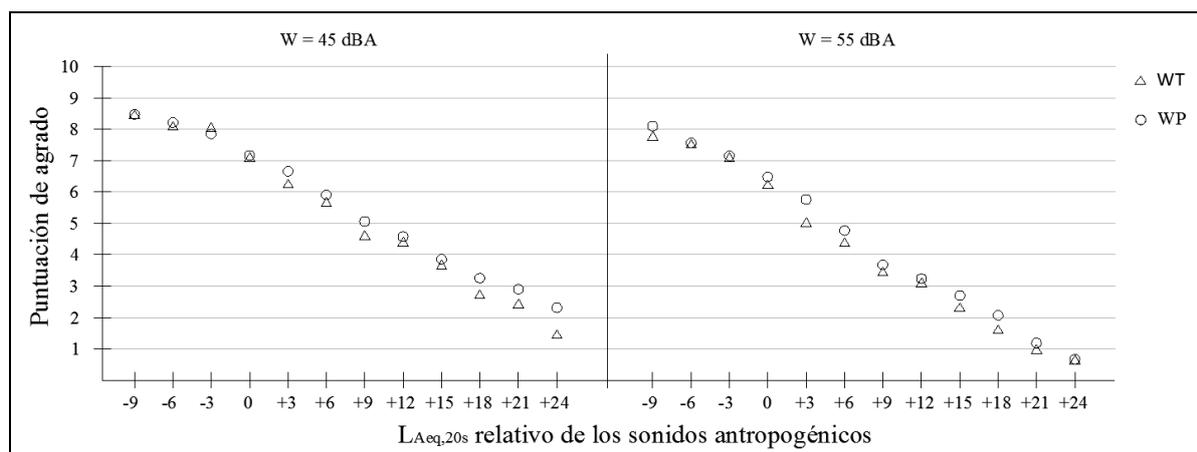


Figura 4 – Efecto de los sonidos antropogénicos sobre un paisaje sonoro agradable y tranquilo. WP es el resultado de la combinación de sonidos W y P, donde W se fijó en 45 dBA y 55 dBA, y donde P fue variando en niveles relativos de 3 dBA, desde -9 dBA a 24 dBA. Así mismo, WT es el resultado de la combinación de sonidos W y T, donde W se fijó en 45 dBA y 55 dBA, y P fue variando en niveles relativos de 3 dBA, desde -9 dBA a 24 dBA.

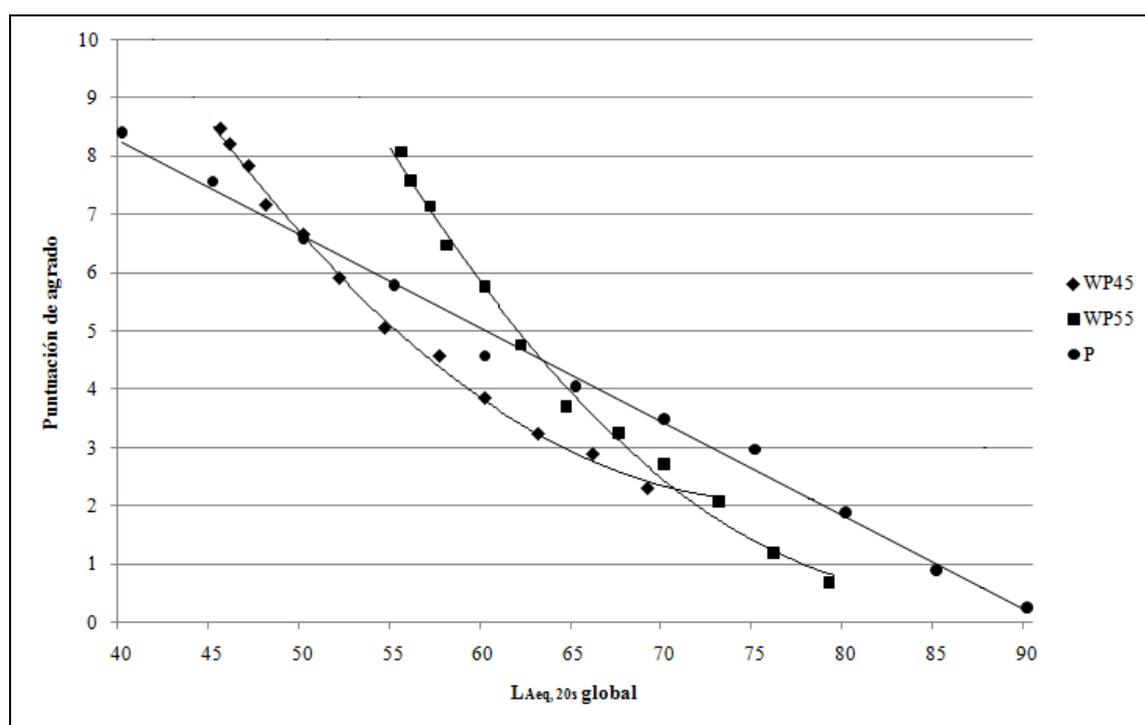


Figura 5 – Efecto sinérgico sobre la agradabilidad en función del  $L_{Aeq,20s}$  global para la combinación WP. WP45 y WP55 significa agua fijada a 45 dBA o 55 dBA respectivamente y sonido de personas variable en intervalos de 3 dBA (de -9dBA a +24dBA).

En la figura 5 se observa que cuando la combinación de WP45 o WP55 tienen niveles bajos de gente, las puntuaciones de agradabilidad mejoran con respecto al sonido individual P. Sin embargo, esto no ocurre cuando tienen niveles altos de gente, donde se produce un empeoramiento notable del paisaje sonoro, llegando a obtenerse puntuaciones inferiores al propio sonido P. Hubiera sido esperable que



todas las puntuaciones de WP45 y WP55 se mantuvieran por encima del sonido individual de la gente o cerca de él, pues el agua no debería empeorar el paisaje sonoro, y sí mejorarlo debido a las cualidades positivas de ésta, tal y como es reconocido por muchos autores, por ejemplo en [12,13].

Los resultados de la figura 5 y un análisis cualitativo de los comentarios de los participantes, que se mostraron muy negativos ante la degradación del paisaje sonoro agradable debido al aumento del nivel del sonido de gente sobre el sonido agradable del agua, inducen a afirmar la hipótesis de partida: en lugares cuyo paisaje sonoro primario es eminentemente tranquilo y agradable, éste es altamente penalizado cuando los sonidos antropogénicos interfieren de forma notable sobre los sonidos placenteros.

## 4 Conclusiones

Sobre el contexto de un paisaje sonoro cultural y representativo (la Alhambra de Granada) un numeroso grupo de participantes evaluaron su agrado hacia diferentes estímulos sonoros. Primeramente se evaluaron distintos tipos de sonidos de agua, de gente y de tráfico con el propósito de seleccionar los sonidos más representativos para el experimento, después se evaluaron los sonidos seleccionados de forma individual en función del  $L_{Aeq,20s}$  y finalmente se evaluó el efecto sinérgico de la combinación de los sonidos agua-gente y agua-tráfico en función del  $L_{Aeq,20s}$  para obtener así resultados sobre el efecto de los sonidos antropogénicos sobre el paisaje sonoro agradable.

En la evaluación de los sonidos individuales dominó el factor semántico. La evaluación media del sonido del agua en función del  $L_{Aeq,20s}$  se consideró como agradable aún a niveles elevados (hasta 75 dBA), manteniéndose prácticamente inalterado en el rango de 40 dBA a 60 dBA, sin embargo los sonidos antropogénicos fueron considerados como agradables en un rango más reducido (de 40 dBA a 55 dBA). En este sentido, no se obtuvieron diferencias entre la evaluación de los dos sonidos antropogénicos analizados (gente y tráfico).

En cuanto a la combinación de los sonidos, tanto el sonido de gente como el sonido de tráfico afectaron al paisaje sonoro agradable de igual forma, produciendo un empeoramiento significativo a medida que aumentó el  $L_{Aeq,20s}$  relativo del sonido antropogénico. Cuando el nivel de la gente superó el nivel de agua se produjo una degradación notable en la evaluación del paisaje sonoro, llegando a obtenerse puntuaciones incluso inferiores al propio sonido individual de la gente. Esto sugiere que en lugares eminentemente agradables y relajantes, donde el oyente tiene la expectativa de escuchar sonidos placenteros y experimentar un estado de bienestar, el paisaje sonoro puede ser penalizado subjetivamente cuando los sonidos antropogénicos interfieren de forma notable sobre el paisaje sonoro tranquilo y agradable.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el "Ministerio de Economía y Competitividad" de España a través de los proyectos TEC2012-38883-C02-02 y TIN2015-64776-C3-1-R y por el Campus de Excelencia Internacional CEI BIOTIC Granada a través del proyecto de referencia P\_CP\_27. Se agradece también el apoyo del Ministerio de Educación a través de la beca FPU concedida a Germán Pérez Martínez.



## Referencias

- [1] O. Medvedev, D. Shepherd, M.J. Hautus, The restorative potential of soundscapes: A physiological investigation, *Appl. Acoust.* 96 (2015) 20–26.
- [2] R. Kaplan, S. Kaplan, *The Experience of Nature. A Psychological Perspective*, 1989.
- [3] World Health Organization (WHO), Guidelines for Community noise, *World Health Organization (WHO)*, 2000.
- [4] R.M. Schafer, *The tuning of the world: Toward a theory of soundscape design*, 1977.
- [5] J. You, P.J. Lee, J.Y. Jeon, Evaluating water sounds to improve the soundscape of urban areas affected by traffic noise, *Noise Control Eng. J.* 58 (2010) 477–483.
- [6] Ö. Axelsson, M.E. Nilsson, B. Hellström, P. Lundén, A field experiment on the impact of sounds from a jet-and-basin fountain on soundscape quality in an urban park, *Landsc. Urban Plan.* 123 (2014) 49–60.
- [7] M. Raimbault, D. Dubois, Urban soundscapes: Experiences and knowledge, *Cities.* 22 (2005) 339–350.
- [8] Ö. Axelsson, M.E. Nilsson, B. Berglund, A principal components model of soundscape perception., *J. Acoust. Soc. Am.* 128 (2010) 2836–2846.
- [9] S. Kaplan, The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework, *J. Environ. Psychol.* 15 (1995) 169–182.
- [10] R.S. Ulrich, R.F. Simons, B.D. Losito, E. Fiorito, M.A. Miles, M. Zelson, Stress recovery during exposure to natural and urban environments, *J. Environ. Psychol.* 11 (1991) 201–230.
- [11] S.L. Dumyahn, B.C. Pijanowski, Soundscape conservation, *Landsc. Ecol.* 26 (2011) 1327–1344.
- [12] S. Burmil, T.C. Daniel, J.D. Hetherington, Human values and perceptions of water in arid landscapes, *Landsc. Urban Plan.* 44 (1999) 99–109.
- [13] J.Y. Jeon, P.J. Lee, J. You, J. Kang, Perceptual assessment of quality of urban soundscapes with combined noise sources and water sounds., *J. Acoust. Soc. Am.* 127 (2010) 1357–1366.