

Accésit SECF 2016 en el apartado Proyecto o Trabajo Fin de Carrera o de Grado

Caracterización de la variabilidad acústica del parque de “El Retiro” (Madrid): zonificación y percepción por parte de la población

Calleja, A.^{1*}, Díaz Balteiro, L.^{1,2}, Iglesias-Merchán, C.^{1,3}, Soliño, M.^{2,4}

¹ Grupo de Investigación: “Economía y Sostenibilidad del Medio Natural”,
Universidad Politécnica de Madrid, España.

² iuFOR, “Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible”,
Universidad de Valladolid y INIA, España.

³ CENERIC Research Centre, España.

⁴ Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria,
Centro de Investigación Forestal (CIFOR), Ctra. de La Coruña km.7.5, 28040 Madrid, España

*Autor para correspondencia: a.calleja.huerta@gmail.com

Resumen

La contaminación acústica en las ciudades es uno de los elementos principales que deben tenerse en cuenta a la hora de valorar la calidad de vida de sus habitantes, ya que influye directamente en su estado de salud y productividad. Los parques urbanos, ofrecen un refugio y ayudan a combatir este tipo de contaminación. Sin embargo, dependiendo de su localización, estos espacios pueden estar muy expuestos y ver su funcionalidad disminuida. El parque de ‘El Retiro’ se encuentra ubicado en el centro de la ciudad de Madrid y rodeado por importantes calles con mucho tráfico. El objetivo de este trabajo es caracterizar la contaminación acústica de este parque e identificar los diferentes tipos de paisajes sonoros que se encuentran en él. Para ello, se han tomado mediciones de sonido y audio en 14 puntos del parque en 4 periodos del día distintos a lo largo de la semana, y a partir de las cuales se han calculado distintos indicadores acústicos. Además, se ha realizado un estudio para evaluar la percepción acústica del parque por parte de los visitantes. Los resultados muestran como los niveles de ruido y paisajes sonoros varían en función de los distintos periodos del día, que están influenciados por la actividad laboral de los ciudadanos y de la afluencia de visitantes en el parque.

Palabras clave: indicador acústico, mapa de ruido, paisaje sonoro, percepción acústica.

1. Introducción

La caracterización acústica de distintos ambientes urbanos es una disciplina objeto de estudio desde hace décadas. Uno de los principales motivos es la creciente preocupación por el aumento de la contaminación acústica en las ciudades y sus consecuencias para la población. Estas consecuencias pueden ser muy graves y tener un grandísimo impacto en la salud de los ciudadanos, pudiendo causar desde leves trastornos de sueño o aumentos de la presión sanguínea; hasta pérdidas de audición y trastornos cardiovasculares (WHO, 2011). El detrimento de la calidad acústica de las ciudades y de la calidad de vida de sus habitantes, se traduce en una menor productividad en el entorno laboral y en un menor rendimiento académico, repercutiendo también en la economía.

Por estos motivos, los parques urbanos desempeñan un papel fundamental para suavizar o combatir este tipo de contaminación. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, en inglés WHO), aquellas ciudades con multitud de espacios verdes tienen a tener una población más sana (Bolund and Hunhammar, 1999; WHO, 2016). Los servicios que ofrecen estas zonas verdes son muy numerosos, abarcando desde la ya mencionada mejora de salud de las personas o la mejora de la calidad ambiental, hasta el incremento del valor de las viviendas cercanas a dichos espacios (Weigher and Zerbst, 1973), convirtiéndolo en herramientas de planeamiento urbanístico muy útiles incluso para el beneficio económico.

En el año 2014, la Agencia Europea de Medio Ambiente (en inglés, European Environmental Agency, EEA) publica la “Guía de buenas prácticas en zonas tranquilas” poniendo de manifiesto una vez más la importancia de estas zonas en las ciudades. Además, propone que estas zonas se caractericen no solo acústicamente sino también de forma funcional, y social mediante la percepción/apreciación de la calidad sonora en estas zonas por parte de sus usuarios (EEA, 2014). Por último, en esta guía también se propone proteger y mejorar aquellas zonas verdes que sin ser tranquilas por diversos motivos, deberían funcionar de ese modo por todos los beneficios anteriormente mencionados. Este es el caso del parque de ‘El Retiro’ que, teniendo unos valores de ruido relativamente elevados para ser considerado como una zona tranquila (Ayuntamiento de Madrid, 2011) es utilizado como tal, por muchos ciudadanos y turistas a diario.

El objetivo principal de este trabajo es, por tanto, caracterizar la contaminación acústica y los paisajes sonoros de un espacio verde urbano emblemático, como es ‘El Retiro’, así como estudiar su variabilidad en distintos periodos del día y de la semana. Además, se caracterizará la percepción de los distintos sonidos y niveles de ruido por parte de los visitantes y usuarios del parque.

2. Material y métodos

2.1 Área de estudio

El Parque de El Retiro (Madrid), posee una superficie aproximada de 120 ha, representa una de las mayores zonas verdes de la capital de España y cuenta con

aproximadamente 19.000 árboles de más de 150 especies distintas (del Álamo Jiménez *et al.*, 2014). Además, es un lugar histórico y emblemático de la ciudad de Madrid, protegido como bien de interés cultural desde el año 1935. En su interior concentra un estanque, palacios y algunos edificios también declarados bienes de interés cultural desde antiguo, monumentos, fuentes, instalaciones deportivas, de paseo, etc. y se ofrecen distintas actividades de ocio y turismo que hacen que resulte un espacio utilizado y disfrutado a diario por miles de visitantes y ciudadanos madrileños que encuentran un lugar donde relajarse, hacer deporte, pasear a las mascotas, etc.

Originariamente se ubicaba en una zona de huertas de la villa de Madrid, pero, en la actualidad, es un emplazamiento completamente céntrico, y se encuentra delimitado por conocidas y renombradas calles y avenidas de la ciudad (las calles de Alcalá, O'Donnell, Menéndez Pelayo, Alfonso XII, etc.) que, según el tramo considerado, soportan cargas de tráfico de entre 30.000 y 115.000 vehículos por día

Tabla 1. Descripción de las zonas en las que se ha dividido el parque de El Retiro para este trabajo, y sus fuentes de sonidos predominantes.

Zona	Descripción	Fuentes de sonido dominantes
ZONA 1	Zona periférica. Zona de entrada/salida por la estación de metro "Retiro" y Puerta de Alcalá. Muchos visitantes.	Vehículos motorizados de Calle Alcalá y Calle O'Donnell. Sonidos procedentes del C1
ZONA 2	Zona periférica/interior. Poca afluencia de personas. Mayor vegetación.	Vehículos que transitan la calle Alfonso XII. Sonidos procedentes de C1
ZONA 3	Zona interior. Alberga el Estanque Grande y el Monumento a Alfonso XII. Poca afluencia de personas salvo en el monumento.	Sonidos procedentes de los propios visitantes. Sonidos naturales (fuentes, viento, aves, etc)
ZONA 4	Zona periférica. Abundancia de parques infantiles. Mucha presencia de familias y deportistas.	Vehículos que transitan la Avda. Menéndez Pelayo. Ambulancias Hospital "Niño Jesús". Voces y gritos de niños jugando. Sonidos procedentes de C2
ZONA 5	Zona interior. Alberga el Palacio de Velázquez y el Palacio de Cristal. Frecuentes exposiciones artísticas. Gran cantidad de turistas.	Sonidos procedentes de los propios visitantes. Sonidos naturales. Músicos.
ZONA 6	Zona periférica/interior. Zona con menor afluencia de visitantes. Zona con mayor cobertura arbórea. Polideportivo. Monumento "Bosque del Recuerdo".	Sonidos naturales. Sonidos procedentes de los propios visitantes. Sonidos procedentes de C1
ZONA 7	Zona periférica. C2 la atraviesa. Alberga las cocheras de los vehículos de mantenimiento del parque, y un área canina. Mucha afluencia de visitantes. Patinadores.	Maquinaria de mantenimiento. Patinadores y deportistas de C2. Sonidos procedentes de los propios visitantes.
C1	Bordea el Estanque Grande. Numerosos espectáculos, músicos, vendedores, etc. Lugar con mayor afluencia de visitantes.	Sonidos procedentes de los propios visitantes. Músicos. Vehículos.
C2	Paseo más ancho del parque. Deporte, uso dominante. En ocasiones alberga exposiciones de gran tamaño. Gran afluencia de deportistas.	Sonidos procedentes de los propios visitantes. Vehículos que transitan la Avda. Menéndez Pelayo. Músicos.

(Ayuntamiento de Madrid, 2013). Esto convierte el tráfico rodado en una de las principales fuentes de ruido en el interior del parque, influenciando considerablemente los niveles de ruido en las distintas zonas.

Para la realización de este trabajo, el parque se ha dividido, de forma práctica, en 7 zonas homogéneas teniendo en cuenta los distintos usos y la geometría del lugar, atendiendo principalmente a la separación física que establecen algunas vías y caminos del interior del propio parque. Las características de las distintas zonas se encuentran brevemente resumidas en la *Tabla 1*.

Posteriormente, cuando ha sido necesario, las 7 zonas principales se han dividido nuevamente para situar los puntos de muestreo sobre el terreno de la forma que mejor representen los ambientes de la periferia y del interior del parque. También se añadieron puntos de muestreo en los lugares singulares, como los caminos principales del parque “C1” y “C2”, ya que suelen concentrar la actividad de músicos, pequeñas tiendas, espectáculos, y ser las principales vías de tránsito de personas y vehículos. En total, se distribuyeron 14 puntos de muestreo que responden a la zonificación ilustrada en la *Figura 1*. A efectos de visualización de resultados se ha considerado que cada subzona queda caracterizada acústicamente por los índices y métricas que se obtengan a partir de los datos recogidos en el punto de muestreo correspondiente.

2.2 Caracterización acústica del parque mediante mediciones de sonido

Para la caracterización físico-acústica del parque se ha optado por una combinación de mediciones de sonido con sonómetro y grabaciones de audio. Estos métodos se utilizan con frecuencia en estudios de sonido en parques urbanos (Brambilla *et al.*, 2013b; Hong *et al.*, 2010; Jeon and Hong, 2015), ya que permiten conocer los niveles sonoros en un punto determinado en un momento determinado, y además escuchar las fuentes de sonido que pudieran estar produciéndolos. Una vez obtenidos estos registros, se calcularon distintos indicadores acústicos en cada punto de muestreo.

La instrumentación utilizada para realizar las mediciones fue: un sonómetro de “clase 2”, un calibrador acústico de “clase 2” y una grabadora de sonido digital. Conforme a la Norma UNE-ISO 1966-2, se realizó una calibración del sonómetro inmediatamente antes de cada medición y se situó el sonómetro a una altura de 1.5 ± 0.1 metros sobre el nivel del suelo (*Figura 2*). Las grabaciones de audio fueron tomadas simultáneamente junto con las mediciones del sonómetro.

El tiempo de las mediciones se estableció en 30 minutos continuos. No existe una metodología o pauta común para este tipo de estudios (Sueur and Farina, 2015). Así, en algunas ocasiones se emplean tiempos de menos de 10 minutos (Brambilla *et al.*, 2013a; Torija *et al.*, 2013), mientras que en otras se mide durante días de forma continua (Ambrose and Burson, 2004). Los datos del sonómetro fueron recogidos en modo “SLOW”, registrando un nivel de presión sonora por segundo, y con la ponderación de dB(A). Las grabaciones de audio fueron grabadas con una calidad de 1411 kbps y en formato .WAV. En cada uno de los 14 puntos de muestreo se realizaron 4

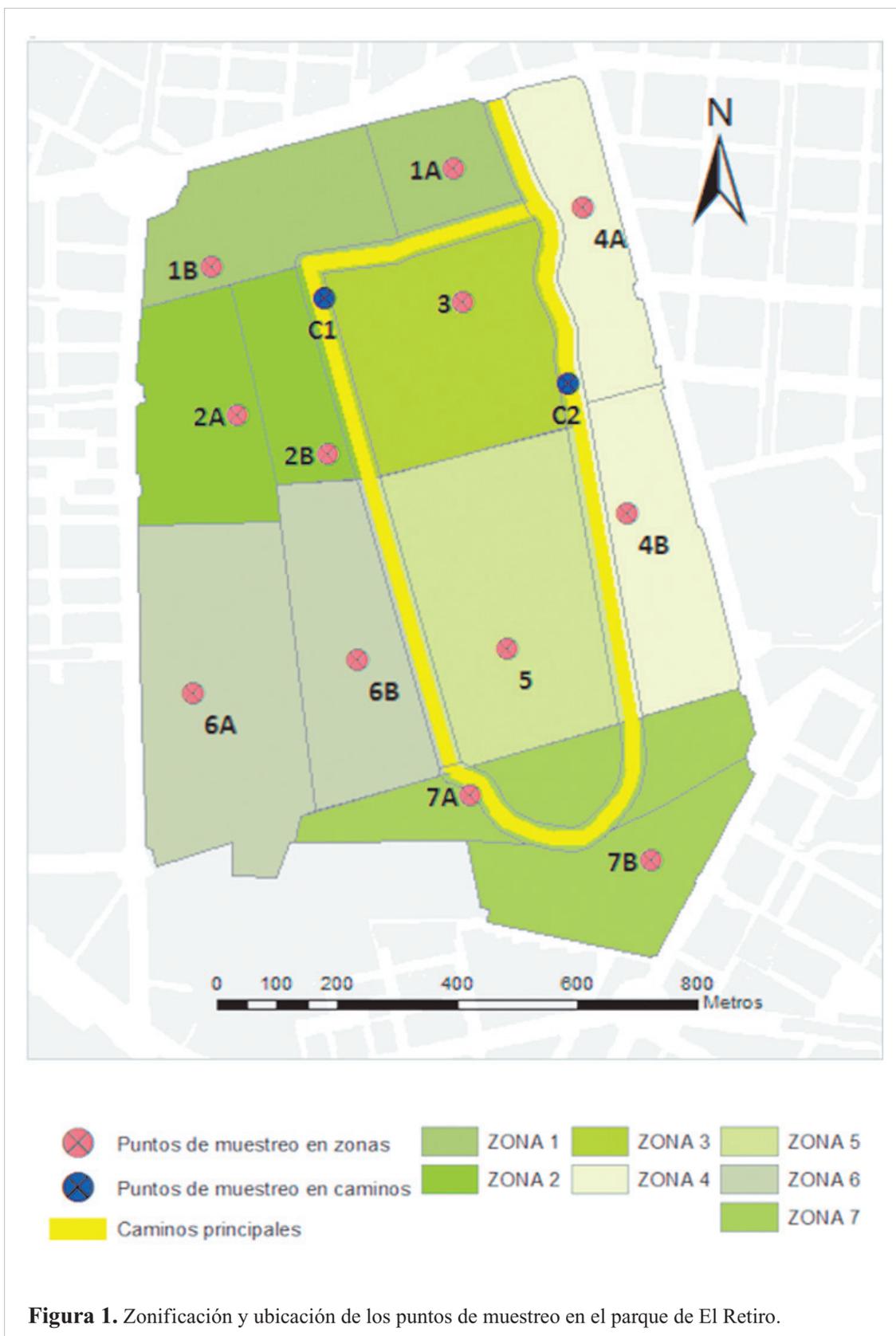


Tabla 2. Descripción de los indicadores de ruido calculados para este trabajo.

	Indicador	Definición
Indicadores calculados a partir de los datos del sonómetro (expresados en dBA)	$L_{Aeq,T}^*$	Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado en dBA en un tiempo determinado T. Representa el nivel de ruido en dBA de un sonido continuo con una duración T cuya energía es igual a un sonido variable de duración T.
	$L_{máx}$	Nivel de presión sonora máximo.
	$L_{mín}^*$	Nivel de presión sonora mínimo.
	SEL	Nivel de exposición sonora. Representa un nivel de ruido en dBA que para un segundo de duración tiene la misma energía que un evento sonoro de una duración T.
	CF^*	Factor Cresta. Mide la impulsividad de los sonidos de una muestra.
	L_N : L_{90} , L_{1}^*	Niveles de presión sonora que se superan durante un N% del tiempo
Indicadores calculados a partir de las grabaciones de audio. (expresados en dB)	L_{f25}^* , $L_{f31.5}^*$, L_{f125}^* , L_{f500}^* , L_{f10000}^* , L_{f16000}^*	Niveles de energía sonora medios en las bandas de frecuencia de: 25, 31.5, 125, 500, 10000 y 16000 Hz.

*Indicadores utilizados para el análisis de conglomerados jerárquicos

mediciones: dos en día laborable, una por la mañana (entre las 9:00 h y las 14:00 h) y otra por la tarde (entre las 14:00 h y las 21:00 h); y dos en fin de semana o festivo, una por la mañana y otra por la tarde. Todas las mediciones fueron tomadas en la segunda mitad de agosto de 2015.

Mediante el tratamiento de los archivos obtenidos con el sonómetro y la grabadora, se han calculado una serie de indicadores acústicos frecuentemente utilizados en la literatura (Brambilla *et al.*, 2013b; Iglesias Merchan *et al.*, 2014; Sakieh *et al.*, 2017; Szeremeta and Zannin, 2009) como son: el nivel de presión sonora equivalente, $L_{Aeq, T}$, nivel de presión sonora máximo, $L_{máx}$, nivel de presión sonora mínimo, $L_{mín}$, niveles de presión sonora que superan durante un N% del tiempo, L_N , factor cresta (Torija *et al.*, 2013), CF , y algunos de los niveles de energía sonora de las bandas de frecuencia de 25, 31.5, 125, 500, 10000 y 16000 Hz. Todos estos indicadores y su definición se encuentran resumidos en la *Tabla 2*. A partir de los indicadores calculados se ha realizado un análisis de conglomerados jerárquico, aplicando el método de Ward como criterio de aglomeración y la distancia euclídea para medir la distancia entre indicadores de distintos puntos. Mediante este método se puede identificar zonas acústicamente similares o paisajes sonoros en función de los valores de los indicadores anteriormente mencionados. (Torija *et al.*, 2013)

2.3 Caracterización acústica a partir de la percepción de los usuarios

Para evaluar los sonidos y ruidos que perciben los usuarios del parque se ha utilizado un cuestionario con preguntas de distintas categorías: ubicación y localización del usuario en el parque, percepción visual del parque, percepción de los sonidos y



Figura 2. Ejemplos de colocación del sonómetro en distintos puntos de El Retiro.

contaminación acústica dentro del parque; y por último preguntas personales para que de forma anónima se pudiera realizar un perfil estadístico del encuestado.

Para este trabajo 240 personas fueron contactadas durante los meses de agosto, septiembre, octubre y principios de noviembre del año 2015. Un 19.2% (46) de las personas contactadas no se prestaron a responder el cuestionario y 3 encuestas más fueron descartadas por no ser representativas de la población objeto de estudio al tratarse de personas extranjeras. Finalmente se obtuvieron 191 encuestas válidas, que se distribuyeron de forma equitativa por las zonas del parque anteriormente mencionadas.

En relación al método de encuesta, se abordó a los usuarios de forma aleatoria, intentando obtener representación de todos los grupos de edad y sexo. Las personas que se encontraban realizando una actividad física intensa, utilizando auriculares, menores de edad y trabajadores del parque fueron excluidos de la encuesta.

3. Resultados y Discusión

3.1 Análisis de los indicadores acústicos

De entre todos los indicadores acústicos, se ha realizado un análisis más exhaustivo sobre el indicador L_{Aeq} , ya que es el más estudiado y representativo de una situación media en cada una de las zonas del parque. Como se puede observar en la *Figura 3*, existen varias similitudes y patrones entre los distintos periodos del día y de la semana. Las zonas del parque 4A, 4B, y los caminos principales C1 y C2, son las que tienen unos niveles de presión sonora más elevados independientemente del periodo de tiempo en que se muestree. Estas zonas son las que más afluencia de visitantes tienen en todo momento, y además en el caso de las zonas 4A y 4B, se encuentran muy próximas a la Av. de Menéndez Pelayo y están ocupadas en su mayor parte por parques infantiles. Por estos motivos, no solo tienen los niveles L_{Aeq} , sino que también

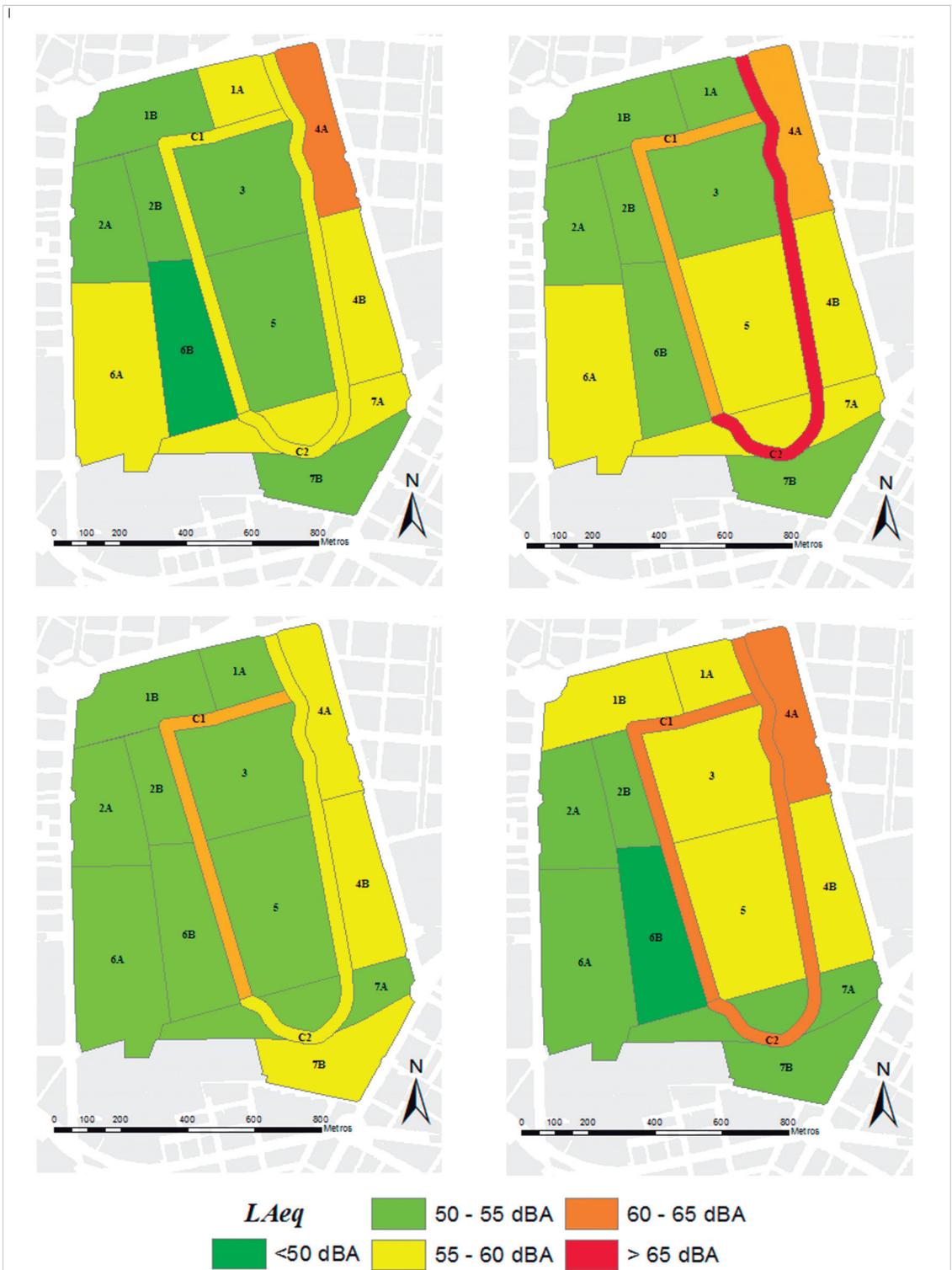


Figura 3. Mapas del indicador L_{Aeq} para los distintos periodos de muestreo. Arriba izquierda: día laborable por la mañana, arriba derecha: día laborable por la tarde. Abajo izquierda: día festivo por la mañana. Abajo derecha: día festivo por la tarde.

L_{\max} , L_{\min} y L_{90} son mayores en estas zonas, en todos los periodos, tal y como se puede apreciar en la *Tabla 3*. Por otro lado, la zona con un nivel de contaminación acústica más bajo es, sobre todo la zona 6B que se caracteriza por tener una abundante vegetación y estrechos senderos.

El resto de zonas tienen unos niveles de ruido variables en función de los distintos periodos del día y de la semana. Se puede apreciar como las zonas 5 y 3, las más interiores del parque y con grandes atracciones turísticas como son el Palacio de Cristal y el Palacio de Velázquez, son más ruidosas en periodos de tarde que en periodos de mañana debido a la afluencia de visitantes. Por el contrario, las zonas periféricas como son 1A, 1B, 2A, 6A y la zona 7A se ven más afectadas por la diferencia entre días laborables y días no laborables.

En cuanto al valor de los niveles sonoros de este parque en comparación con los niveles recomendados para áreas tranquilas según la EEA (EEA, 2014), el parque de El Retiro, se encuentra por encima de los 45-55 dB(A) medidos con el indicador L_{day} , que mide el L_{Aeq} durante un periodo diurno de 12 horas. No obstante, considerando la afluencia de visitantes, los usos, y localización de este parque urbano, los niveles de ruido no son lo suficientemente altos como para tomar medidas directas contra esta forma de contaminación en el interior del parque. Además, estos niveles medios se encuentran por debajo del límite que marca la legislación española para este tipo de áreas, $L_{day} = 65$ dB(A) (BOE, 2003).

En comparación con otros parques urbanos de distintas partes del mundo citados en la literatura, el Parque de El Retiro tiene sus niveles medios de L_{Aeq} entre 50 – 65 dBA y en su mayoría entre 55 – 60 dBA; estos valores no difieren mucho de los medidos en parques situados en grandes ciudades como por ejemplo en Roma (Brambilla *et al.*, 2013b), y son ligeramente más bajos que algunos parques de Seúl o Tel-Aviv (Cohen *et al.*, 2014; Jeon and Hong, 2015).

3.2 Zonificación basada en paisajes sonoros

Por medio del análisis de conglomerados jerárquicos se han identificado al menos 6 paisajes sonoros distintos en cada uno de los periodos de muestreo. En la *Figura 4*, se puede observar la zonificación del parque en función de las distintas áreas con características acústicas similares. Cabe mencionar que los paisajes sonoros identificados son exclusivos de cada periodo de muestreo, a pesar de tener el mismo color en la figura.

Por otro lado, son destacables algunos de los patrones de agrupación que resultan de este análisis de conglomerados como, por ejemplo, la unicidad acústica de la zona 6B y del camino C1, que forman paisajes sonoros únicos en 3 de los 4 periodos de muestreo. También se puede observar como algunas zonas aparentemente alejadas, comparten agrupación como puede ser la 1A y la 7A o la 4A y 6A en un día laborable por la mañana. Esto puede deberse a que pese a estar separadas, las fuentes de ruido que las afectan pueden ser las mismas, como es el caso del tráfico rodado. Previsiblemente, en muchas ocasiones las zonas más próximas entre sí comparten paisaje sonoro, como se puede observar en todos los periodos de muestreo.

Tabla 3. Resumen de los valores de los indicadores más fácilmente interpretables en los distintos puntos y periodos de muestreo

Índices	1A	1B	2A	2B	3	4A	4B	5	6A	6B	7A	7B	CI	C2	
Laborable mañana (9-14h)	<i>L_{Aeq}</i>	57.79	53.39	54.53	53.28	54.13	59.12	52.32	57.13	48.47	59.69	53.89	58.67	59.45	
	<i>L_{max}</i>	77.20	62.40	64.80	63.20	74.40	82.70	66.70	72.80	62.20	78.00	70.00	78.00	78.00	
	<i>L_{min}</i>	49.30	48.90	48.00	49.00	46.20	53.40	47.30	47.80	44.00	48.10	45.60	45.60	52.50	48.40
	L₉₀	51.20	50.90	50.90	50.80	48.40	56.10	49.90	48.40	52.20	45.80	49.70	49.90	54.60	51.90
Laborable tarde (14-21h)	<i>L_{Aeq}</i>	53.69	53.83	52.61	54.21	53.14	58.84	56.15	55.59	51.85	57.41	52.17	64.79	65.29	
	<i>L_{max}</i>	68.70	75.70	64.00	66.20	67.20	88.60	78.80	71.00	64.60	74.10	74.60	86.00	87.80	
	<i>L_{min}</i>	46.70	48.00	48.40	50.30	48.80	53.40	52.60	47.20	45.50	49.50	43.60	56.90	55.60	
	L₉₀	48.89	50.20	50.30	51.70	50.70	56.50	55.30	49.00	50.70	47.80	51.30	46.30	59.40	59.10
Festivo mañana (9-14h)	<i>L_{Aeq}</i>	51.08	53.01	53.09	53.46	50.35	57.82	54.08	53.54	53.39	53.52	56.87	64.24	58.16	
	<i>L_{max}</i>	64.40	65.80	65.00	68.70	64.40	79.20	81.20	67.80	81.10	68.70	71.80	82.50	73.00	
	<i>L_{min}</i>	45.00	47.10	47.20	48.40	45.50	47.00	46.40	44.90	41.60	47.30	46.50	56.60	51.70	
	L₉₀	47.80	49.90	49.70	50.50	47.90	50.39	49.80	48.50	48.20	43.60	50.29	49.80	59.30	53.99
Festivo tarde (9-14h)	<i>L_{Aeq}</i>	55.74	58.13	52.49	54.18	55.84	60.48	57.59	51.31	47.29	53.81	50.36	63.29	61.90	
	<i>L_{max}</i>	68.20	69.90	69.00	68.50	75.60	76.80	81.00	66.70	63.60	71.70	66.70	78.70	81.40	
	<i>L_{min}</i>	49.10	52.80	47.30	49.50	49.30	51.90	51.30	43.70	40.50	45.10	40.20	56.80	53.00	
	L₉₀	52.40	54.80	49.40	51.40	51.20	54.80	54.80	52.70	46.40	42.40	47.40	43.50	59.30	56.40

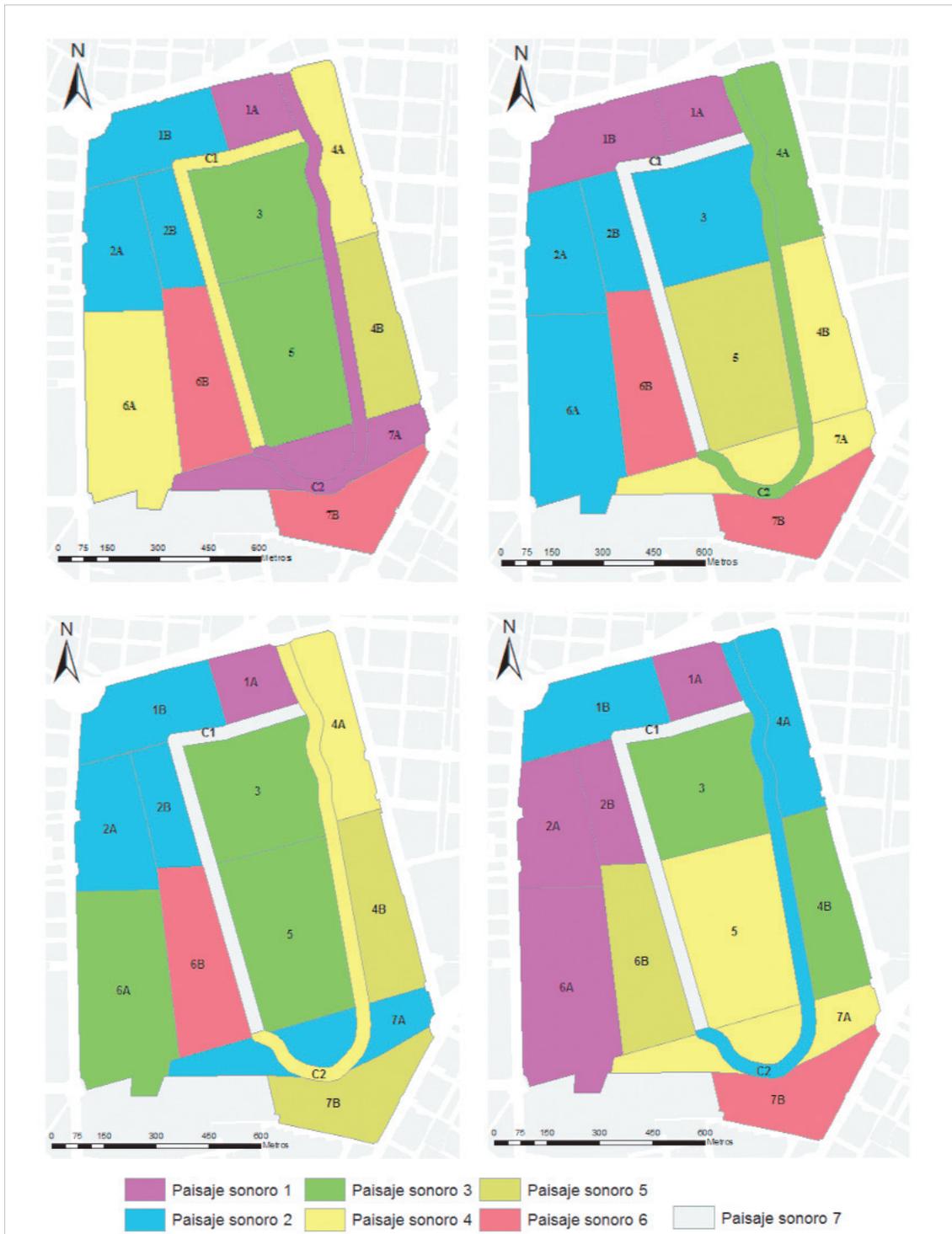


Figura 4. Representación de los paisajes sonoros en cada periodo de muestreo. Arriba a la izquierda: laborable por la mañana. Arriba a la derecha: día laborable por la tarde. Abajo a la izquierda: día festivo por la mañana. Abajo a la derecha: día festivo por la mañana. Los paisajes sonoros son independientes en cada periodo de muestreo, es decir, los paisajes sonoros 1 en distintos periodos, son diferentes entre sí, etc.

Las agrupaciones en paisajes sonoros de las distintas zonas también se ven afectadas por la variabilidad temporal y no solo espacial del parque. Por ejemplo, las zonas 3 y 5, en principio muy turísticas, comparten paisaje sonoro en periodos de mañana cuando la afluencia es menor, y en periodos de tarde sus características acústicas cambian lo suficiente como para clasificarse en distintos grupos.

3.3 Percepción del sonido por parte de los usuarios

Por último, por medio de encuestas se entrevistó a 94 hombres y 97 mujeres de entre 18 y 84 años, de los cuales solamente un 6.28% viven fuera de la Comunidad de Madrid. Tal y como muestra la *Figura 5*, más de un 70% de los encuestados son personas menores de 45 años. Tan solo un 4% no tiene estudios, un 23% poseen un título de bachillerato o Formación Profesional, y un 66% tiene estudios universitarios o superiores. Con respecto a la renta mensual de los entrevistados, un 38,42% recibe menos de 1000 euros netos al mes, con un 17.8% del total sin recibir ningún tipo de ingreso (en su mayoría estudiantes). Por otro lado, un 51% de los encuestados tiene una renta neta mensual entre 1000 y 2500 €.

Con respecto a la priorización de los servicios ambientales ofrecidos en el parque, los resultados de la encuesta indican que la tranquilidad sonora es el segundo atributo más valorado, solamente por detrás de la reducción de contaminación atmosférica y muy cerca de la biodiversidad y el valor del parque como lugar para hacer deporte (*Tabla 4*).

En cuanto a la valoración de la contaminación acústica del parque y los diferentes sonidos escuchables en su interior, la *Figura 6* muestra que los sonidos naturales

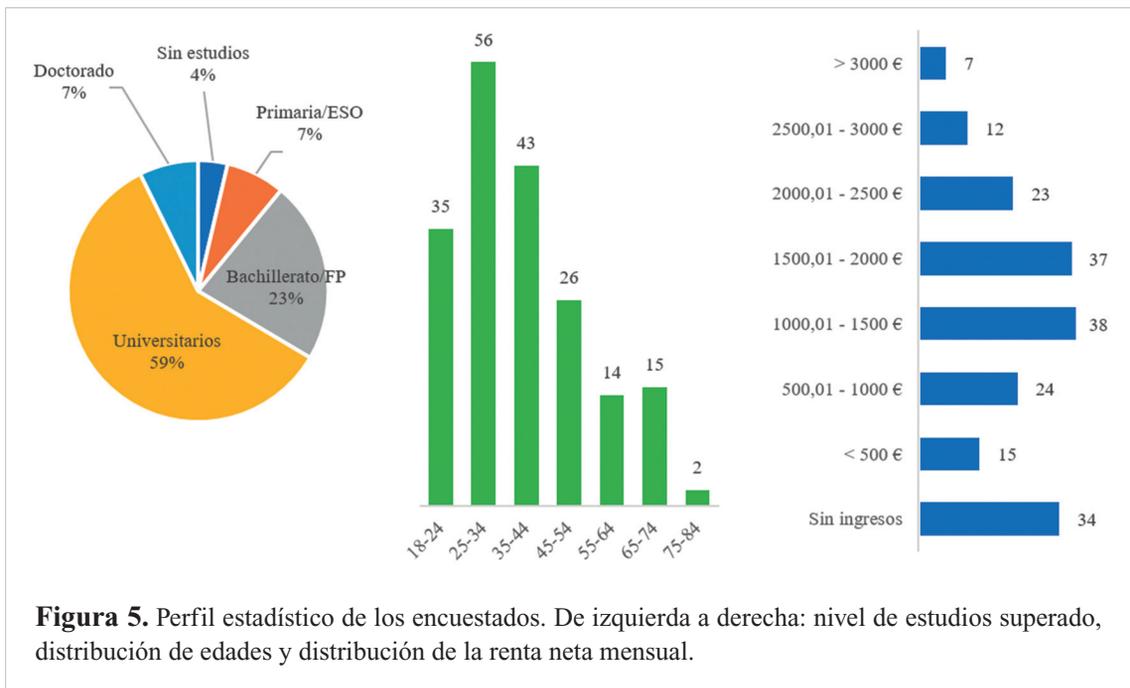
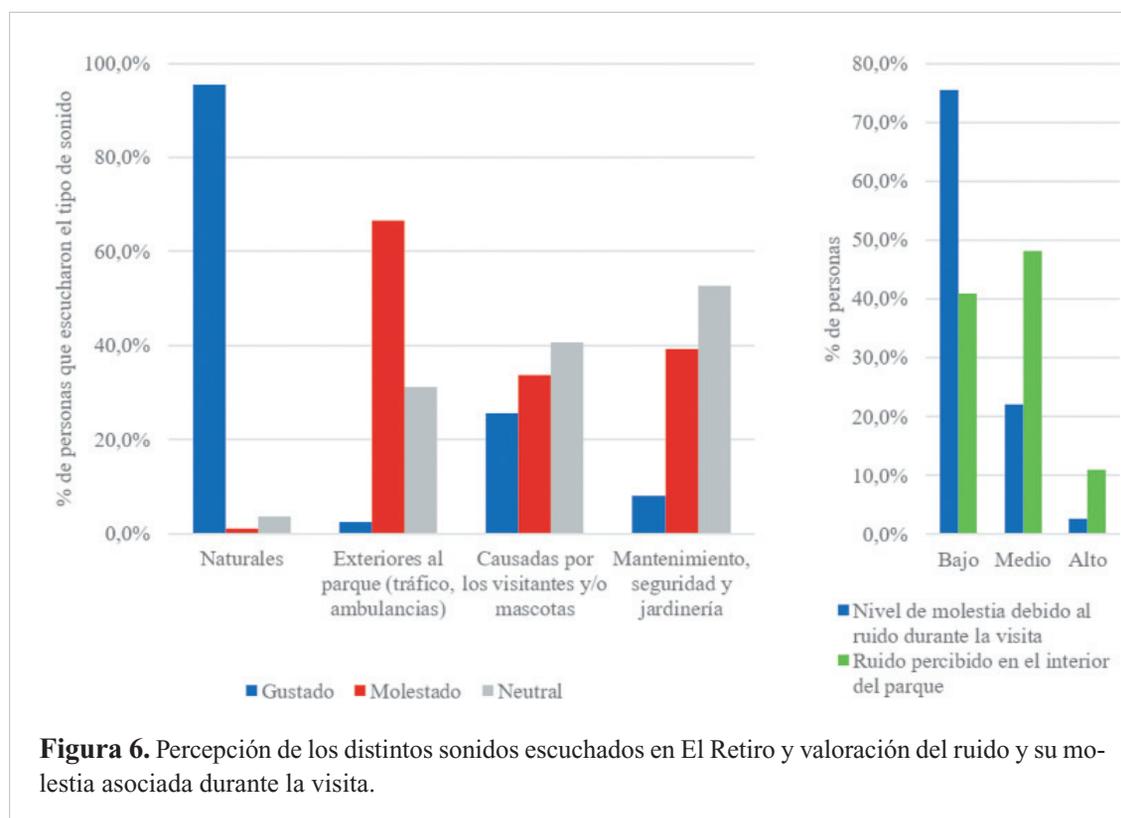


Tabla 4. Priorización media de los distintos servicios ambientales del parque por parte de los usuarios.

Servicio ambiental	Valor medio
Tranquilidad	8.75
Sonora	8.31
Paisaje	7.4
Recreo	7.46
Valores culturales	8.6
Ejercicio	8.82
Reducción de contaminación atmosférica	8.7
Biodiversidad	

resultan agradables para la gran mayoría de los visitantes que los escuchan (más del 96%), mientras que los sonidos exteriores al parque son considerados como molestos en más de un 60% de los casos. Otros tipos de sonido causan más controversia, como son los causados por los propios visitantes, músicos, etc. Ahí se puede decir que no existe una diferencia clara, siendo para más del 40% de los encuestados sonidos neutrales, que les son indiferentes o que bien, son considerados como necesarios y, por lo tanto, no molestos. Los vehículos de mantenimiento, seguridad y maquinaria utilizada en jardinería, fueron considerados por la mayor parte de los encuestados como neutrales o molestos, una vez más haciendo referencia a que a pesar de ser ruidosos, son necesarios para una buena conservación de El Retiro. La preferencia de los sonidos naturales sobre los artificiales o antropogénicos, se ha estudiado abundan-

**Figura 6.** Percepción de los distintos sonidos escuchados en El Retiro y valoración del ruido y su molestia asociada durante la visita.

temente en la literatura y existen abundantes ejemplos en línea con los resultados obtenidos de este trabajo (Brambilla *et al.*, 2013a; Iglesias Merchan *et al.*, 2014; Yang and Kang, 2005).

Finalmente, los usuarios de El Retiro consideraron que el nivel de molestia debido al ruido durante la visita fue bajo en más del 75% de los casos. Además, el nivel de contaminación acústica del parque es bajo para un 40% de los encuestados y medio para casi el 50%. Esto concuerda con lo expuesto anteriormente en relación a las medidas encaminadas a mitigar la contaminación acústica dentro del parque, ya que, si la percepción del ruido por parte de los usuarios es baja o los niveles no son molestos y permanecen por debajo de los límites establecidos por la legislación, las medidas necesarias son mínimas o en muchos casos no necesarias.

4. Conclusiones

La combinación de mediciones de sonido con sonómetro y grabadoras de audio ofrece la posibilidad de calcular una gran variedad de indicadores acústicos que, junto con la percepción de los usuarios de un parque urbano, permiten, como se ha comprobado en el caso de estudio, una caracterización acústica completa. Sin embargo, este método puede resultar difícil de aplicar si los recursos son limitados.

A partir de esta caracterización se han observado claras diferencias en los niveles de ruido del parque en función de los distintos periodos de muestreo, siendo éstos muy dependientes del ritmo de vida de los ciudadanos madrileños. Las zonas con niveles de presión sonora más altos han sido encontradas próximas a la Avda. Menéndez Pelayo, donde el sonido del tráfico rodado se suma a la de los múltiples infantiles; y en los caminos principales del parque donde tienen lugar distintos eventos y la afluencia de gente es mayor. Las zonas con niveles menores de presión sonora coinciden con aquellas con menos afluencia de visitantes y más vegetación. Por otro lado, la utilización del análisis de conglomerados jerárquicos permitió la identificación de paisajes sonoros en el parque, así como de establecer una zonificación en función de los mismos. Se ha observado que estos paisajes sonoros también son variables y dependen del periodo de muestreo.

Los usuarios de El Retiro, como era esperado y acorde con la literatura, mostraron una preferencia por los sonidos naturales frente a los artificiales. Además, se han caracterizado otro tipo de sonidos que generan controversia debido a que son causados por una actividad útil o necesaria, como son los sonidos procedentes de músicos o de vehículos propios del parque o de mantenimiento.

5. Agradecimientos

El trabajo de Luis Díaz Balteiro y Carlos Iglesias Merchán ha sido financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España bajo el proyecto AGL2015-68657-R. Los autores agradecen al Ayuntamiento de Madrid por

otorgar el permiso para realizar mediciones y encuestas a los usuarios en el Parque de El Retiro, y a todos los visitantes que amablemente se prestaron a colaborar en el trabajo.

8. Bibliografía

- Ambrose, S., Burson, S., 2004. Soundscape Studies in National Parks. *George Wright Forum* 21, 29–38.
- Ayuntamiento de Madrid, 2013. Tráfico: Información de intensidad media diaria (estudios anuales) 2012 y 2013 - Portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid [WWW Document]. URL <http://datos.madrid.es/portal/site/egob/menuitem.c05c1f754a33a9fbe4b2e4b284f1a5a0/?vgnnextoid=4a2e4207bb864410VgnVCM1000000b205a0aRCRD&vgnextchannel=374512b9ace9f310VgnVCM100000171f5a0aRCRD> (accessed 9.1.17).
- Ayuntamiento de Madrid, 2011. Mapa Estratégico de Ruido de Madrid (MER 2011).
- BOE, 2003. Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido., *Boletín Oficial del Estado*.
- Bolund, P., Hunhammar, S., 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecol. Econ.* 29, 293–301. doi:10.1016/S0921-8009(99)00013-0
- Brambilla, G., Gallo, V., Zambon, G., 2013a. The soundscape quality in some urban parks in Milan, Italy. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 10, 2348–2369. doi:10.3390/ijerph10062348
- Brambilla, G., Gallo, V., Asdrubali, F., D'Alessandro, F., 2013b. The perceived quality of soundscape in three urban parks in Rome. *J. Acoust. Soc. Am.* 134, 832–9. doi:10.1121/1.4807811
- Cohen, P., Potchter, O., Schnell, I., 2014. The impact of an urban park on air pollution and noise levels in the Mediterranean city of Tel-Aviv, Israel. *Environ. Pollut.* 195, 73–83. doi:10.1016/j.envpol.2014.08.015
- Del Álamo Jiménez, C., López Lillo, A., Prieto Rodríguez, A., Saiz de Omeñaca, J.A., Muñoz Rodríguez, Á., Mendiburu, L., Alonso Anchuelo, M., Soria Carreras, S., 2014. Primer informe del grupo de expertos del arbolado del Parque del Buen Retiro. Madrid.
- EEA, 2014. Good practice guide on quiet areas. Luxembourg. doi:10.2800/12611
- Hong, J.J.Y., Lee, P.J.P., Jeon, J.Y., 2010. Evaluation of urban soundscape using soundwalking. *20th Int. Congr. Acoust.* 2–5.
- Iglesias Merchan, C., Diaz-Balteiro, L., Soliño, M., 2014. Noise pollution in national parks: Soundscape and economic valuation. *Landsc. Urban Plan.* 123, 1–9. doi:10.1016/j.landurbplan.2013.11.006
- Jeon, J.Y., Hong, J.Y., 2015. Classification of urban park soundscapes through perceptions of the acoustical environments. *Landsc. Urban Plan.* 141, 100–111. doi:10.1016/j.landurbplan.2015.05.005
- Sakieh, Y., Jaafari, S., Ahmadi, M., Danekar, A., 2017. Green and calm: Modeling the relationships between noise pollution propagation and spatial patterns of urban structures and green covers. *Urban For. Urban Green.* 24, 195–211. doi:10.1016/j.ufug.2017.04.008
- Sueur, J., Farina, A., 2015. Ecoacoustics: the Ecological Investigation and Interpretation of Environmental Sound. *Biosemiotics* 8, 493–502. doi:10.1007/s12304-015-9248-x
- Szeremeta, B., Zannin, P.H.T., 2009. Analysis and evaluation of soundscapes in public parks

- through interviews and measurement of noise. *Sci. Total Environ.* 407, 6143–6149. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.08.039
- Toriya, A.J., Ruiz, D.P., Ramos-Ridao, a F., 2013. Application of a methodology for categorizing and differentiating urban soundscapes using acoustical descriptors and semantic-differential attributes. *J. Acoust. Soc. Am.* 134, 791–802. doi:10.1121/1.4807804
- Weigher, J.C., Zerbst, R.H., 1973. The Externalities of Neighborhood Parks: An Empirical Investigation. *Land Econ.* 49, 99–105. doi:10.2307/3145337
- WHO, 2016. No Title [WWW Document]. URL <http://www.who.int/sustainable-development/cities/health-risks/urban-green-space/en>
- WHO, 2011. Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- Yang, W., Kang, J., 2005. Soundscape and Sound Preferences in Urban Squares: A Case Study in Sheffield. *J. Urban Des.* 10, 61–80. doi:10.1080/13574800500062395