

Evaluación del impacto de la Contaminación Acústica en el rango de vocalización de Paseriformes basado en el SIL-“Speech Interference Level”¹



S. Mendes^a, K.V. Cavalcante^b, V.J. Colino-Rabana^a, S.J. Peris^a

^aFacultad de Biología, Universidad de Salamanca
solangemendes@usal.es

^bLaboratório de acústica e vibração, Belo Horizonte, Brasil.
krisdany@metronacustica.com.br

PACS: 43.80.ND; 43.50.Q; 43.64.T

Resumen

Los niveles sonoros en ambientes urbanos normalmente se estudian a través de la determinación del nivel sonoro equivalente ponderado en “A”, donde el criterio de evaluación está orientado a la protección a la salud y al bienestar del ser humano. El impacto acústico ambiental del ruido antropogénico sobre distintas especies de aves silvestres se debe evaluar de manera diferente, abarcando aquellas bandas de frecuencias que interfieren con sus señales de comunicación. Se realizó una evaluación del nivel de ruido en tres distintos ambientes a lo largo de un gradiente (Urbano, Periurbano y Rural) donde se grabó el canto de dos especies de aves silvestres, Mirlo (*Turdus merula*) y Chochín (*Troglodytes troglodytes*) y se emplearon descriptores acústicos que expresan los niveles sonoros dentro del rango de vocalización de las Paseriformes. Este método resulta más apropiado para evaluar el impacto acústico ambiental sobre la avifauna, ya que representa la posibilidad real de la interferencia entre la vocalización y el ruido ambiental.

Abstract

The noise level in urban environments is usually measured using an equivalent A-weighted sound pressure level, where the evaluation criterion is specially directed to health protection and human welfare. Nevertheless, the impact of noise on birds should be evaluated considering only the range of frequencies that interferes with their communication signals: the “speech interference level”. We made an assessment of the noise level in three areas along an urban gradient (urban, periurban and rural) where two bird species were recorded: the common blackbird (*Turdus merula*) and the wren (*Troglodytes troglodytes*). The acoustic descriptors used in this research express the noise level within the range of frequencies of bird vocalizations. It is suggested that this method could be more suitable to assess the acoustic impact on birds because it represents the actual interference between anthropogenic noise and bird songs.

¹ Este artículo contiene parte de la Tesis Doctoral presentada por Solange Mendes en la Universidad de Salamanca-ES - 2010

1. Introducción

Los niveles sonoros en ambientes urbanos se realizan de forma rutinaria a través de mediciones directas, predicción y elaboración de mapas de ruido urbano. Estos procedimientos se basan en la determinación del nivel medio equivalente ponderado en “A” en donde el criterio de evaluación presenta como objetivo la protección de la salud y el bienestar del hombre. Los primeros estudios sobre la percepción auditiva humana fueron desarrollados por Kingsbury (1927)^[1] y Fletcher & Munson (1933)^[2]. Sin embargo, fueron los estudios de Robinson & Dadson (1956)^[3] que ganaron notoriedad y reconocimiento al adoptarse las normas internacionales ISO 226:1961^[4] e ISO 7029:1984^[5]. Los parámetros vigentes en audibilidad humana fueron obtenidos por un grupo de investigación coordinado por el Dr. Y. Suzuki de la Universidad de Tohoku (Japón). En dicho proyecto se elaboró un nuevo conjunto de curvas, las que mejor presentaban la percepción auditiva humana (fig.1). Aprobadas por la ISO, estas nuevas curvas se han definido como el estándar normalizado de acuerdo a la revisión de la ISO 226, publicada en agosto de 2003^[6].

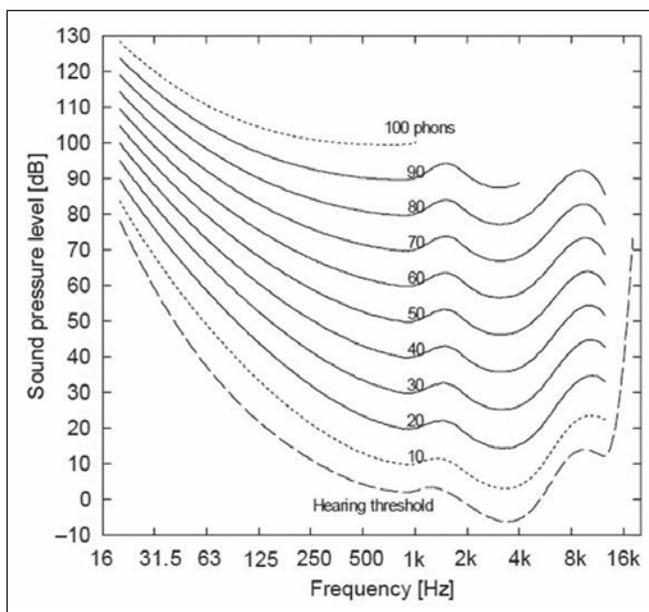


Figura 1 – Curvas de mismo nivel de audibilidad para tonos puros normalizadas por la ISO 226, 2003.

En la evaluación de ruido ambiental se suele utilizar frecuentemente la ponderación “A” (A-weighting) en frecuencia medida en banda-ancha. Esta ponderación es equivalente a la curva de 40 phons propuesta por Robinson & Dadson^[3] (1956). En esta curva “A” las frecuencias sonoras inferiores a 800Hz son exponencialmente atenuadas, mientras las altas frecuencias del rango de 1.25kHz a 5kHz son realzadas. Las frecuencias superiores a los 6.3kHz vuelven a sufrir atenuación exponencial⁷.

Las distintas especies de fauna presentan sistemas auditivos con considerables diferencias fisiológicas. Este hecho

explica la capacidad de percibir sonidos en rangos de frecuencia distintos al de nuestra especie. Ciertas especies de mamíferos, como el perro o los quirópteros, son capaces de oír frecuencias ultra-sónicas, mientras que otras especies de gran tamaño, como elefantes y jirafas, oyen frecuencias infra-sónicas [7].

El canto de las aves desempeña importantes funciones sociales mediante la producción de diferentes tipos de mensajes que permiten la identificación de las especies, el sexo o los individuos [9]. Esta capacidad de comunicación es todavía más importante por permitir el reconocimiento, la elección y la localización de parejas [10]. También los polluelos se comunican con sus padres, y machos se enfrentan sin necesidad de conflictos directos por medio de la comunicación acústica [11].

La alteración del campo acústico en los hábitats, como consecuencia de las acciones del hombre, puede producir el enmascaramiento de nichos espectrales, afectando a la comunicación de los animales. Si no pueden transmitirse las vocalizaciones o éstas no son oídas pueden resultar en la reducción del número de individuos o hasta mismo en la extinción de especies [12]. Se sabe que la interferencia en la comunicación sonora puede resultar en la alteración de los límites territoriales, perjudicar la comunicación para la defensa y protección contra depredadores, así como el apareamiento y reproducción de algunas especies, [13]; [14]; [15]; [16]. Estudios recientes de la *Royal Society for the Protection of Birds* (RSPB) sugieren que en aquellas especies de aves que viven próximas a las carreteras, los individuos no pueden oírse unos a los otros, lo que genera dificultades de aprendizaje de los cantos y problemas de comunicación con posibles parejas [17]. Otros estudios muestran evidencia de una disminución tanto del número de especies como del número de individuos debido al aumento de niveles de ruido ambiental causado por el tráfico por carretera, [18];[19];[20];[21]. Con el propósito de adaptarse a las alteraciones del campo acústico natural y tratando de mitigar el enmascaramiento del ruido ambiente, los machos del Ruiseñor (*Luscinia megarhynchos*) aumentaron la amplitud de vocalización [22] En consecuencia, se supone un mayor gasto de energía para vocalización y la delimitación de un menor espacio territorial.

Una de las dificultades en el estudio acústico del espacio implica la forma correcta de caracterizar los niveles de las señales complejas que varían de acuerdo con la duración o con la amplitud en el tiempo. Los medidores de niveles de presión sonora están preparados para utilizar siempre la ponderación de la señal acústica por el sistema auditivo humano, expresados por la “Curva A”. Pero a pesar de que las aves y los mamíferos muestren un sistema auditivo similar en todas las constantes de tiempo, no hay garantía de que este método de cálculo del nivel de señal sea adecuado para las aves. Así, faltarían ponderaciones ajustadas a la fauna silvestre, basándose la mayoría de los estudios en mediciones de contaminación

acústica por medio de este parámetro [23];[24]. En este contexto, intentamos realizar una evaluación acústica ambiental, basada en metodologías de ingeniería acústica y análisis acústicos con registros de los niveles sonoros en 1/3 de octavas, dentro de los diferentes tipos de hábitat de la Provincia de Salamanca, en las que se grabaron las especies estudiadas en este trabajo. Estos hábitats fueron clasificados en función del grado de urbanización con el siguiente orden: Urbano, Periurbano y Rural. En todos ellos la principal contribución de ruido antropogénico estuvo asociada al ruido de tráfico.

En este trabajo se presenta la metodología adoptada, los resultados, la propuesta y la discusión de un nuevo descriptor acústico específico que pueda ser empleado en evaluaciones de impacto acústico ambiental en aves.

2. Material y métodos

2.1 Área de estudio y especies

Salamanca es una provincia española, situada en el sudoeste de la Comunidad Autónoma de Castilla y León. Actualmente (INE 2009), la provincia cuenta con 354.236 habitantes, de los cuales 155.740 (un 44%) vive en la capital. Constituye un área metropolitana con doce unidades urbanas independientes y varias zonas residenciales, ofreciendo un gradiente de aumento de intensidad en la ocupación territorial: las zonas rurales, donde los cultivos de cría en seco y el bosque son predominantes; área periurbana tranquila con viviendas, y el centro de la ciudad con los edificios más grandes y volúmenes de tráfico más altos.

Se seleccionaron zonas verdes dentro de centros urbanos con elevado impacto sonoro (55 a 90 dBA), áreas periurbanas residenciales, y zonas rurales distantes hasta 100 km de la ciudad. Se recogieron grabaciones de dos especies ubiquestas, el Mirlo común (*Turdus merula*) y el Chochín (*Troglodytes troglodytes*) especies de amplia distribución en toda Europa [25]. Las fechas de muestreo fueron definidas en función de la estación reproductora de la especie, de marzo a junio de 2008 y 2009.

2.2 Grabación de cantos

Para las grabaciones se empleó un micrófono unidireccional Sennheiser ME66, con un adaptador K6 Sennheiser, un protector de viento MZW 415 y un auricular Sennheiser para comprobar la entrada de señales de audio. Se grabaron con una grabadora digital Marantz PMD 671, configurada para el tipo PCM-48kHz-24bits con el fin de obtener una señal de audio de alta calidad profesional. Dicha grabadora fue elegida por tener una especificación técnica del rango dinámico de 94dB, superior al rango dinámico del medidor de nivel sonoro utilizado (80dB); baja distorsión armónica total (THD), apenas 0,03% de pérdida por entrada del micrófono XLR, grabación en formato de audio digital 24bits.

Se analizaron los espectros sonoros del canto de 36 Chochines y 36 Mirlos para obtener la banda de frecuencias relativas al rango de sus vocalizaciones.

2.3 Sonómetro y micrófono

Las evaluaciones acústicas de cada ambiente fueron realizadas con un sonómetro Clase I, modelo Brüel & Kjaer 2238, dotado de filtros de 1/1 y 1/3 de octavas. También fueron utilizados un trípode y medidor de temperatura. El sonómetro está dotado de un micrófono capacitivo de campo libre modelo B&K 4188, que tiene curva de respuesta en frecuencia plana para el intervalo del rango de frecuencias de 20Hz a 12,5kHz, juntamente con un protector de viento. Todo el sistema de medición sonora fue debidamente calibrado, en conformidad con las normativas internacionales IEC 60651:1979.

En su *firmware* analizador de frecuencia, el sonómetro B&K 2238 tiene dos circuitos paralelos de medición. El detector 1 mide el nivel de presión sonora equivalente (L_{eq}) y los niveles máximos (L_{max}) y mínimos (L_{min}) para cada banda de 1/3 de octava, en ponderación lineal. Simultáneamente en el detector 2 en banda ancha se mide el nivel equivalente, el nivel máximo y mínimo, en ponderación “A” o “C” o Lineal “L”. Para las mediciones de ruido ambiental realizadas en este trabajo se utilizó el analizador de tercio de octavas en el detector 1 entre los rangos de 20Hz a 12,5kHz. Los resultados son presentados en graficas en función del nivel de L_{eq} de cada 1/3 octava.

Para el ajuste del medidor en campo, se utilizó un calibrador acústico modelo B&K 4231 de clase 1, capaz de producir una señal de 1000Hz a 94dB con exactitud de $\pm 0,2$ dB. Este fue utilizado para el ajuste del sonómetro antes y después de cada ciclo de medición y no se encontró ninguna diferencia de más de 0,1dB de ajuste.

2.4 Método de análisis del ruido

Las mediciones del nivel sonoro para evaluación de impacto acústico ambiental comúnmente son realizadas en función de la percepción auditiva humana, expresada a través del L_{Aeq} , en dB(A). Otro método consiste en medir los niveles sonoros en 1/1 octavas en el rango de vocalización humana (500Hz a 4kHz). En este caso esta evaluación permite determinar el nivel de interferencia del habla. La medida del grado en que el ruido de fondo puede enmascarar el discurso (*SIL Speech Interference level*).

En este estudio, por no conocer la curva auditiva de las especies de *Turdus merula* y *T. troglodytes*, y, considerando que la ocurrencia de ruidos antrópicos pueden interferir en la comunicación sonora de paseriformes a través del enmascaramiento de la señal sonora de su vocalización, se adoptó una metodología como criterio el análisis de los niveles sonoros

La nueva generación de sonómetros

No es solo una novedad. Es la nueva generación de sonómetros, una nueva presencia en el mundo del ruido ambiental y las vibraciones.

Sin complejidades, está diseñado para hacer la vida más fácil; sin exigencias, trabaja para usted; y además, se adapta a cualquier idioma.

Hecho a su medida

Con más de 60 años como pioneros dentro del mundo del sonido y la vibración, Brüel & Kjær presenta su 4ª generación innovadora de instrumentos manuales para la medida de vibraciones y sonido.

El desarrollo de esta última generación -centrada en el Tipo 2250 - está inspirado completamente en las exigencias de usuarios que participan en seminarios y reuniones en todo el mundo. El hardware ha sido diseñado para cumplir las exigencias específicas ergonómicas de los usuarios, y el software de aplicación abarca todo sobre ruido ambiental, resolución de problemas, salud laboral y control de calidad.

Los paquetes de programas de software se pueden adquirir de forma separada, por lo que usted conseguirá lo que necesita justo cuando lo necesite y además será más fácil adaptarnos a sus exigencias si éstas cambian. De esta forma, la plataforma le asegura su inversión ahora y en el futuro.

Creado, construido y hecho para usted personalmente, verá como el 2250 marca una gran diferencia en su trabajo y en todas sus tareas de medición.

¡Consúltenos!

Para más información, contacte con Brüel & Kjær Ibérica, S.A.

Sede social:

Teide, 5 28700 San Sebastián de los Reyes (Madrid)
Tel.: 91 6590820 Fax: 91 6590824

Delegación:

Valencia, 84-86 interior 08015 Barcelona
Tel.: 93 2264284 Fax: 932269090

www.bksves.com email: bruelkjaer@bksv.com

Tipo 2250

Brüel & Kjær 



PULSE *multi-analizadores*



Tipo 2260

Las nuevas unidades de adquisición 3560-L y 3560-B se añaden a la familia PULSE haciendo posible elegir el modelo exacto que usted necesita.

Desde la medida más sencilla, de un solo canal, hasta las tareas de holografía acústica más complejas en tiempo real multicanal, todas las aplicaciones de acústica y vibraciones están cubiertas con PULSE, un sistema abierto, flexible y 100% compatible con otras aplicaciones.

Con más de 5.000 sistemas vendidos (cifras de abril 2004), PULSE se ha convertido en la plataforma de análisis de ruido y vibraciones de más éxito y mayor crecimiento en el mercado.

2260 Observer es un sonómetro y analizador portátil capaz de realizar todas las medidas y análisis que normalmente se utilizan en la evaluación de ruido en comunidades y entornos de trabajo. 2260 Observer cumple la nueva norma sobre sonómetros IEC 61672, así como las normas IEC anteriores (60651 y 60804) y las normas ANSI más recientes, además de tener la aprobación de modelo.

Todos los parámetros de banda ancha y valores estadísticos se miden en paralelo, de forma que no se pierde ningún detalle: todos los parámetros están ahí, y sólo hay que elegir qué es lo que se desea examinar, ahora o más tarde.

2260 *investigator*

comprendidos en el rango de vocalización de cada una de las especies analizadas.

A partir del análisis de los cantos en sus diferentes hábitats se extrajo la mayor y la menor frecuencia de la vocalización. Con la identificación de estos límites, se analizó los resultados de las mediciones del nivel sonoro medidas en bandas de 1/3 de octavas, considerando las bandas donde las señales de vocalización están inseridas. Estos resultados fueron expresados a través de dos descriptores acústicos: L_{Tx} e L_{eqTx} [26]:

$$L_{Tx} = 10 \cdot \log \left[10^{\frac{Leq(N1)}{10}} + 10^{\frac{Leq(N2)}{10}} + \dots + 10^{\frac{Leq(Nn)}{10}} \right]$$

$$L_{eq(Tx)} = 10 \cdot \log \left\{ \frac{1}{n} \cdot \left[10^{\frac{Leq(N1)}{10}} + 10^{\frac{Leq(N2)}{10}} + \dots + 10^{\frac{Leq(Nn)}{10}} \right] \right\}$$

- L_{Tx} indica el nivel de presión sonora en el rango de vocalización de un determinado grupo homogéneo de individuos y es construido a partir de la suma logarítmica de los niveles sonoros en 1/3 de octavas comprendidas por el espectro de vocalización.
- L_{eqTx} indica el nivel medio equivalente en el rango de vocalización, cuya media fue calculada en función del número de bandas de 1/3 de octavas comprendidas entre las frecuencias más alta y más baja de la vocalización.
- Tx será sustituido por las letras iniciales del nombre científico de cada especie, donde: Tm=*T. merula* y Tt=*T. troglodytes*.
- N indica cada banda de 1/3 de octava, donde n es el número de bandas abarcadas por el espectro de vocalización de una dada especie.

De esta manera es posible conocer y expresar por medio de indicadores, la vulnerabilidad de cada especie al ruido presente en su hábitat de grabación.

2.5 Análisis bioacústico y estadístico

Se empleó el software Avisoft-SASLab Pro versión 4.40 [27], para el análisis bioacústica configurado para un FFT de 1024bits en ventana Hamming, con señal de 24 bits de resolución y tasa de muestreo de 48kHz.

Se efectuaron cálculos de la media, mediana, sesgo, desviación estándar, rango máximo y mínimo de los datos de las mediciones efectuadas en los puntos de grabación de cada especie. Los datos de los niveles de presión sonora entre los distintos tipos de hábitat fueron comparados con ANOVA de un factor, que compara más de un conjunto de medios [28], y pruebas post-hoc mediante tests de Scheffé [29]. El software utilizado para los análisis estadísticos fue el SPSS 17.0.

3. Resultados

El análisis de las vocalizaciones de los mirlos grabados en las tres áreas del gradiente urbano presentó unos límites espectrales comprendidos entre 1.5kHz y 5kHz. Los chochines presentaron límites entre 3kHz y 8.4kHz (fig. 2). Así, L_{Tm} será equivalente a la suma logarítmica de los valores medidos de L_{eq} para las bandas de 1/3 de octavas comprendidas entre 1.6kHz y 5kHz y L_{Tt} será equivalente a la suma logarítmica de los valores medidos de L_{eq} para las bandas de 1/3 de octavas comprendidas entre 3,15kHz e 8kHz.

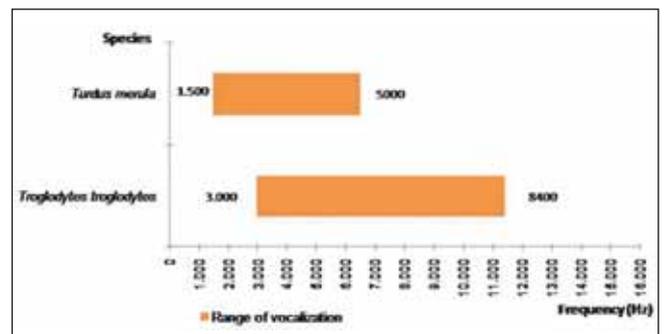


Figura 2– Límites espectrales de vocalización del Mirlo (*T. merula*) y Chochín (*T. troglodytes*)

La fig. 3, ilustra los resultados de los niveles sonoros globales medidos en los hábitats del mirlo y del chochín. En ella son presentados los niveles equivalentes de presión sonora ponderados en “A”, tradicionalmente utilizados en evaluación de impacto acústico sobre el hombre y también los niveles equivalentes de presión sonora lineales. En todos los hábitats el gradiente $L_{Leq} - L_{Aeq}$ se sitúa en torno a 10dB (Tab. 1).

Tabla I – Gradiente $L_{Leq} - L_{Aeq}$ por clase de hábitat y especie

Clase de hábitat	$L_{Leq} - L_{Aeq}$	
	<i>T. merula</i>	<i>T. troglodytes</i>
Urbano	11 dB	9 dB
Periurbano	9 dB	10 dB
Rural	9 dB	11 dB

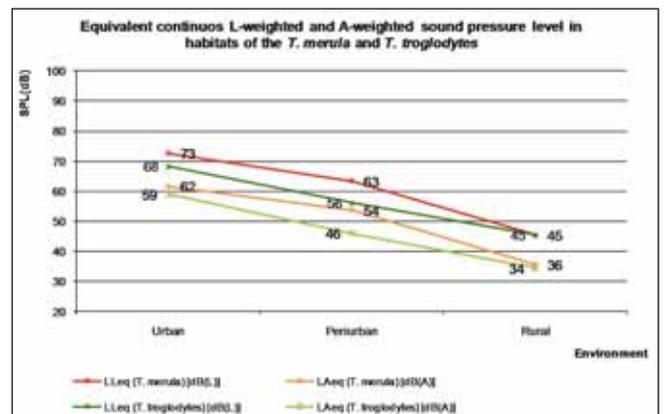


Figura 3 – Niveles de presión sonora L_{Leq} y L_{Aeq} en los hábitats del Mirlo (*T. merula*) y Chochín (*T. troglodytes*)

La fig. 4, muestra que los niveles sonoros, medidos en las diferentes hábitats del gradiente urbano, descienden unos 10 dB(L) en el nivel de presión sonora global lineal (L_{Leq}) del ambiente urbano al periurbano y superior a 15 dB(L) del periurbano al rural. El nivel de presión sonora en el rango de vocalización (L_{Tm}) descendió en 8 dB del ambiente urbano al periurbano y de 14 dB del periurbano al rural.

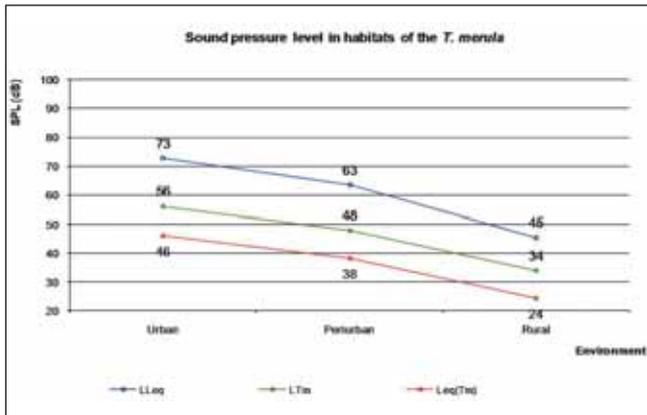


Figura 4 – Niveles de presión sonora en los hábitats del Mirlo (*T. merula*)

La presión sonora en el rango de vocalización del *Turdus merula* (L_{Tm}) en los tres tipos de hábitats (Urbano, Periurbano y Rural) presenta diferencias significativas entre ellas ($F_{2,35} = 108,18$; $P = 0,0001$). Un análisis post-hoc de Sheffé constata que estas diferencias son estadísticamente significativas entre las 3 zonas.

La fig. 5, muestra los niveles sonoros medidos en las distintas áreas del gradiente urbano del chochín, donde se observa un descenso del orden de 12 dB(L) en el nivel de presión sonora global lineal (L_{Leq}) del ambiente urbano al periurbano y superior a 11dB(L) del periurbano al rural. El nivel de presión sonora en el rango de vocalización (L_{Tt}) desciende en 5 dB del ambiente urbano al periurbano y en 8 dB del periurbano al rural.

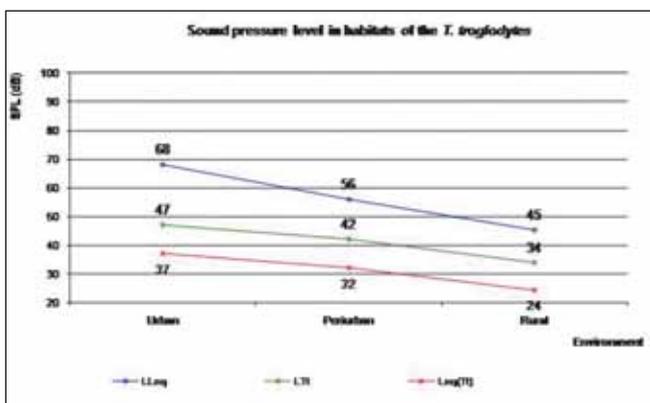


Figura 5 – Niveles de presión sonora en los hábitats del Chochín (*T. troglodytes*)

La presión sonora en el rango de vocalización del *T. troglodytes* (L_{Tt}) en las áreas del gradiente urbano presentan diferencias significativas entre ellas ($F_{2,35} = 54,07$; $P < 0,0001$). Un análisis post-hoc de Sheffé constata que estas diferencias se encuentran entre las zonas urbanas-periurbanas y periurbanas-rurales.

La comparación de los niveles sonoros entre los hábitats del mirlo y del chochín, puede observarse en la fig. 6, donde se comparará la equivalencia entre los niveles sonoros globales en los diferentes hábitats de grabación. Los hábitats urbanos y periurbanos del mirlo son más ruidosos que los hábitats del chochín. Este aspecto se destaca aun más, cuando se realiza el análisis en el rango de vocalización de ambas especies. Así, se aprecia que, como el canto del mirlo tiene un rango de frecuencias más bajo, el nivel de interferencia sonora en el hábitat urbano es proporcionalmente mayor que para el chochín. Esto es, a mismo nivel de ruido ambiental las especies con rango de frecuencias más bajas presentan un mayor nivel de interferencia sonora.

Con la comparación del nivel medio de presión sonora en el rango de vocalización (L_{eqTm} e L_{eqTt}) se ha podido verificar que en el ambiente urbano, la presión sonora media en el rango de vocalización del *T. merula* (L_{eqTm}) fue significativamente mayor que la presión sonora media en el rango de vocalización del *T. troglodytes* (L_{eqTt}). Esta diferencia es del orden de 10 dB; mientras que la comparación entre la presión sonora global (L_{Leq}) entre los hábitats urbanos de estas especies, esta diferencia fue bastante menor, en torno a 5dB(L).

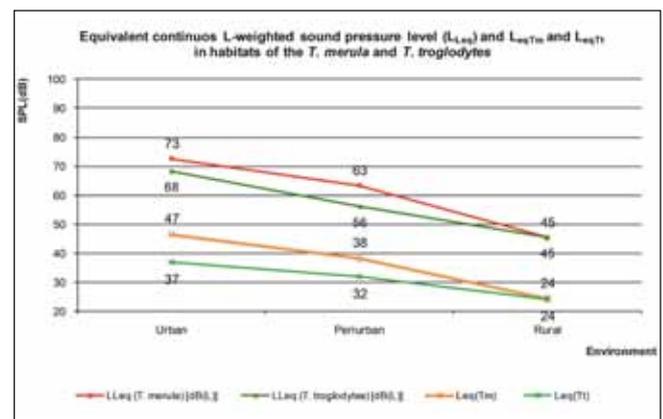


Figura 6 – Niveles de presión sonora L_{Leq} - L_{eqTm} - L_{eqTt} en hábitats del Mirlo (*T. merula*) y Chochín (*T. troglodytes*).

4. Discusión

Las diferentes especies de aves presentan rangos de vocalización que los hacen ser más o menos vulnerables al ruido antropogénico. Para las dos especies estudiadas en este trabajo, el chochín presentó una tonalidad de vocalización más aguda y mayor anchura espectral de vocalización que el mirlo.

Tras los resultados, se verifica que los individuos de *T. merula* cantan en ambientes urbanos más ruidosos, sobre todo en su rango de vocalización, que los individuos de *T. troglodytes*. Por lo tanto se podría concluir que su capacidad de comunicación se encuentra más limitada por las interferencias sonoras. Los chochines, sin embargo, se verían menos afectados por los ruidos de baja frecuencia puesto que su rango de vocalización se sitúa por encima. Especies que utilizan frecuencias dominantes más altas se adaptan mejor a ambientes donde predominan ruidos de bajas frecuencias mientras las especies que vocalizan en frecuencias más bajas están más sujetas al enmascaramiento por el ruido de estas zonas [30].

Sin embargo, existen mecanismos que permiten a las aves evitar, al menos en parte, el enmascaramiento de sus cantos por el ruido ambiental. Una respuesta primaria es la elevación de la intensidad de canto, pero también pueden variar otros parámetros. Así, el mirlo es capaz de elevar sus frecuencias de canto para sobrepasar el rango de frecuencias del ruido antropogénico. Puede haber diferencias en cuanto a la variabilidad del canto, en la duración de las notas o en la energía empleada en cada rango de frecuencias. Además hay cambios temporales, constatándose en algunas ciudades que determinadas especies intensifican sus cantos en aquellos momentos del día con menores niveles de ruido. Por tanto la plasticidad del canto y del comportamiento es esencial para tener éxito en ambientes urbanos.

Creemos que el análisis del nivel sonoro en el rango de vocalización sería un método más apropiado para el estudio de impacto acústico ambiental sobre la avifauna ya que el comportamiento del campo acústico restringido al rango de vocalización de cada especie puede no tener similitud con la variación de la presión sonora total que es la tradicionalmente utilizada.

5. Agradecimientos

Al Dr.Raimund Specht, por la donación del Software Avisoft para los análisis bioacústicos.

Al Prof.Dr. Enrique Poveda del departamento de Neurociencias de la Universidad de Salamanca por su ayuda en las mediciones y préstamo del equipo de medición de ruido.

6. Referencias

- [1] Kingsbury, B.A. (1927) A direct comparison of the loudness of pure tones. *Physical Review* 29: 588-600.
- [2] Fletcher, H. & Munson, W.A. (1933) Loudness – its definition, measurement and calculation. *Journal Acoustic Society American* 5: 82-108.
- [3] Robinson, D. & Dadson, R.S. (1956) A re-determination of the equal-loudness relations for pure tones, *British Journal of Applied Psychology* 7: 166-181.
- [4] ISO 226 (1961) Normal equal-loudness contours for pure tones and normal threshold of hearing under free field listening conditions.
- [5] ISO 7029 (1984) Acoustics – Threshold of hearing by air conduction as a function of age and sex for otologically normal persons.
- [6] ISO 226 (2003) Acoustics – Normal equal-loudness level contours, 2003.
- [7] Fletcher, N. (2007) Springer Handbook of Acoustics, Cap. (17.1-PartA) - Springer New York 2007.
- [8] Thielcke, G. (1970) Lernen von Gesang als möglicher Schrittmacher der Evolution. *Z. Zool. Syst. Evolutionsforsch* 8: 309–320.
- [9] Catchpole, C.K. (1979) Vocal communication in Birds. *Edward Arnold*. London.
- [10] Silva, M.L. (1995) Estereotipia e versatilidade nos cantos das aves: os padrões de canto em sabiá e outras aves. *Anais de Etologia* 13: 133-147.
- [11] Dawkins, M.S. (1989) Explicando o comportamento animal. *Ed. Manole*, São Paulo. p. 159.
- [12] Krause, B. (2008) Anatomy of the soundscape: Evolving Perspectives. *J. Audio Eng. Soc.*, Vol. 56, No.1/2.
- [13] Peris, S. J. & Pescador, M. (2004) Effects of traffic noise on passerine populations in Mediterranean wooded pastures. *Applied Acoustics* 65: 357–366.
- [14] Brumm, H. (2006) Animal communication: city birds have changed their tune. *Current Biology* 16, 1003–1004.
- [15] Brotons, L. & Herrando, S. (2001) Reduced bird occurrence in pine forest fragments associated with road proximity in a Mediterranean agricultural area. *Landscape and Urban Planning* 57: 77-89.
- [16] Van der Zande, A.N., Keurs, J. & Weijden, W.J. (1980) The impact of roads on the densities of four bird species in an open field habitat-evidence for a long distance effect. *Biological Conservation* 18: 299-321.
- [17] Barot, T. (1999) Songbirds forget their tunes in cacophony of road noise. *The Sunday Times*, January 10th.
- [18] Pescador, M. & Peris, S.J. (2007) Influence of roads on bird nest predation: An experimental study in the Iberian Peninsula / *Landscape and Urban Planning* 82: 66–71.

- [19] Reijnen, R., Foppen, R. & Veenbaas, G. (1997) Disturbance by traffic of breeding birds: evaluation of the effect and considerations in planning and managing road corridors. *Biodiversity and Conservation* 6, 567–581.
- [20] Weiserbs, A. & Jacob, J.J. (2001) Is breeding bird distribution affected by motorway traffic noise? *Alauda* 69, 483–489.
- [21] Forman, R.T.T., Reineking, B. & Hersperger, A.M. (2002) Road traffic and nearby grassland bird patterns in suburbanizing landscape. *Environmental Management*, 29, 782–800.
- [22] Brumm, H. (2004) The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *Journal of Animal Ecology* 73, 434–440.
- [23] Reijnen, R. & Foppen, R. (1994) The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. I. Evidence of reduced habitat quality for willow warblers (*Phylloscopus trochilus*) breeding close to a highway. *Journal of Applied Ecology* 31: 85-94.
- [24] Kaseloo, P.A. & Tyson, K.O. (2004) Synthesis of Noise Effects on Wildlife Populations. Federal Highway Administration Technical Report No. FHWA-HEP-06-016. *Speech-Language-Hearing Assoc.*, 632-637.
- [25] Tellería, J. L. & Potti, J. (1984) La segregación espacial de los túrdidos (*Turdidae*) en el Sistema Central. *Ardeola*, 31: 103-113.
- [26] Cavalcante, K.V. (2009) Avaliação Acústica ambiental de habitats de passeriformes expostos a ruídos antrópicos em Minas Gerais e São Paulo. *Dissertação (Mestrado em meio ambiente)* - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- [27] Specht, R. (1998) Avisoft SASLab Pro, Sound analysis and synthesis laboratory software for MS-Windows. Berlin, Germany.
- [28] Fowler, J. & Cohen, L. (1999) Estadística básica en Ornitología. 1ª ed. Español- *SEO/BirdLife*.
- [29] Sokal, R. & Rohlf, F. (1994) Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. New York: *Freeman*.
- [30] Hu, Y. & Cardoso, G.C. (2009) Are bird species that vocalize at higher frequencies preadapted to inhabit noisy urban areas? *Behavioral Ecology* 20: 1268-1273.



Laboratorio de Ensayos Centro Tecnológico Ingeniería Acústica

Somos especialistas en Ingeniería y Control de Ruidos. Ofrecemos servicios y **desarrollos tecnológicos** en el campo de la acústica aplicada, con un servicio integral de calidad en la **prevención y solución de problemas** de ruidos y vibraciones.

Personal **altamente cualificado** y con amplia experiencia en la realización de mapas de ruido, estudios y proyectos acústicos, certificaciones y auditorías acústicas. Disponemos de tecnología de última generación y sistemas de gestión, que nos permite garantizar actuaciones de gran efectividad y calidad en materia acústica **medioambiental, industrial y arquitectónica**.



Tel. 902 37 37 99
www.audiotec.es



empresa
familiarmente
responsable

